

PUUN LUJUUSVERTAILUTUTKIMUKSIA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Puutekniikka
Tuotantopainotteinen puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2007
Mika Vilppunen

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Genetrade Wood Products Oy:lle ja testit suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa syksyn 2006 ja kevään 2007 aikana.

Opinnäytetyön ohjaajana Lahden ammattikorkeakoulun puolesta toimi DI Mikko Salmi ja Genetrade Wood Products Oy:n puolesta myynti ja markkinointipäällikkö Perttu Vuorimaa.

Lahdessa 3.5.2007

Mika Vilppunen

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikka

Mika Vilppunen : Puun lujuusvertailututkimuksia

Tuotantopainotteisen puutekniikan opinnäytetyö, 70 sivua

Kevät 2007

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin puunlujuus ominaisuuksista. Testattavia puulajeja oli 10, ja mukana oli myös joidenkin puulajien lämpökäsiteltyjä kappaleita. Testit tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Testattavia lujuuksia olivat taivutus-, veto-, puristus- ja halkaisulujuudet sekä pinnan kovuus ja vanereilla lisäksi filmipinnan kulutuskestävyys. Lisäksi testattiin poppelivanerin taivutuslujuuksia ja verrattiin niitä vastaaviin suomessa valmistettuihin havu- ja koivu-vanereihin. Mukana oli myös poppelikertopuun ja havukertopuun taivutuslujuuksien vertailua.

Opinnäytetyö tehtiin Genetrade Wood Products Oy:lle, jotta he saisivat puiden ja puutuotteidensa lujuusarvoja myynti- ja markkinointityön tueksi.

Tuloksista on nähtävissä lämpökäsittelyn vaikutuksia puuaineksen lujuusominaisuuksiin ja lisäksi tuloksista pystyy vertailemaan eri puulajien ominaisuuksia. Vanerin ja kertopuun testituloksien avulla pystytään valitsemaan oikea vaihtoehto haluttuun kohteeseen.

Avainsanat: puumateriaali, lujuus, kovuus, kulutuskestävyys.

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

VILPPUNEN, MIKA: Strength properties of wood

Bachelor's thesis in wood technology, 70 pages

Spring 2007

ABSTRACT

This thesis deals with the strength properties of wood. It was made for Genetrade Wood Products Oy. The idea was to use test results in sales and marketing.

Ten different wood species were tested. Also some heat-treated wood pieces were included. The tests were carried out in the Faculty of Technology at Lahti University of Applied Sciences. The properties that were tested were bending, tensile, compressive and splitting strengths. The durability of the surface was also examined. The bending strength of poplar plywood was also tested and compared to Finnish conifers and birch plywood. In addition, the bending strengths of laminated veneer lumber made of poplar and conifers were compared.

The test results show how heat treatment affects the strength properties. They also make it possible to compare the properties of different wood species and select the right material for each application.

Key words: wood material, strength, hardness, durability.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2.1	Puun rakenne ja kasvu	2
2.2	Puuaineen ominaisuuksia	4
2.2.1	Puun tiheys	4
2.2.2	Puun lujuus	5
2.2.3	Puun kosteus	5
2.2.4	Puun vikoja	7
3	PUULAJIT	8
3.1	Havupuut	8
3.1.1	Mänty	8
3.1.2	Kuusi	10
3.1.3	Siperianlehtikuusi	11
3.1.4	Jättiläistuija	12
3.2	Lehtipuut	13
3.2.1	Koivu	13
3.2.2	Haapa	15
3.2.3	Harmaaleppä ja Tervaleppä	17
3.2.4	Poppeli	18
3.2.5	Paulownia Tomentosa	20
3.2.6	Apassi	21
4	LÄMPÖKÄSITTELY	22
5	VANERI	24
6	KERTOPUU	26
7	LUJUUSTESTAUKSET	27
7.1	Lujuustutkimuksien suorittaminen	28
7.1.1	Taivutuslujuus	28
7.1.3	Vetolujuus	30
7.1.4	Halkaisulujuus	31
7.1.5	Kovuus	31
7.1.6	Vaneri	32

7.1.7	Kertopuu	33
7.2	Tulokset	33
7.2.1	Taivutuslujuus	33
7.2.2	Puristuslujuus	40
7.2.3	Vetolujuus	45
7.2.4	Halkaisulujuus	50
7.2.5	Kovuus	54
7.2.6	Vaneri	59
7.2.7	Kertopuu	63
7.3	Johtopäätökset	64
8	YHTEENVETO	69
9	LÄHTEET	71

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli tutkia yhtiön eri puuraaka-aineiden, vanereiden ja kertopuun lujuuksia ja saada tuloksista apua myyntityöhön. Tällöin lähinnä alan ammattilaisilla olisi mahdollisuus vertailla tuloksia ja mahdollisesti niiden perusteella löytää juuri sopiva materiaali heidän kohteisiinsa. Tätä työtä lähdettiin suunnittelemaan siltä pohjalta, ettei heillä ollut varsinaisia testauksia suoritettuna tuotteistaan. Vielä kun yhtiö on laajentamassa tuotantoaan, tuli mukaan myös aivan uusia puulajeja ja puutuotteita.

Yhteistyöyrityksenä oli Genetrade Wood Products Oy. Yhtiö on suomalaisvirolainen puutavaran tuottaja ja viejä. Se on erikoistunut lähinnä Baltian lehtipuihin (haapa, leppä, koivu), mutta myös havupuut ovat yhtiön tuotannossa mukana. Genetrade Wood Products Oy:llä on myös oma puutavaran lämpökäsittelylaitos ja yhtenä tavoitteena oli saada tietoa lämpökäsittelyn vaikutuksesta puuaineen lujuusominaisuuksiin.

2 PUU

Puu on uusiutuva luonnonvara. Nykyään tunnetaan n. 1000 havupuun- ja n. 33 000 lehtipuulajia, joista kylläkin vain parilla sadalla on kaupallista merkitystä. (Alen 1998, 10). Se on monipuolinen raaka-aine, jota on suhteellisen helppoa työstää oikeilla välineillä ja ammattitaidolla. Painoon suhteutettuna puu on luja materiaali, mutta on hyvä muistaa puun lujuusominaisuuksien olevan erisuunnissa erilaisia sekä kasvuolosuhteiden ja kosteuden vaikutuksen lujuusominaisuuksiin. Puu on hyvä lämmöneriste, ja se on miellyttävän tuntuinen niin kuumassa kuin kylmässä lämpötilassa, eikä se muodosta kylmäsiltoja rakenteiden välille. Puu on ympäristöystävällinen materiaali. Ympäristöystävällisyys tulee esille puun kierrätettävyytenä, ellei puuta ole esimerkiksi suojattu kosteutta vastaan kylläste-aineella, jolloin se on käytön jälkeen ongelmajätettä. Oikeassa paikassa ja oikein käytettynä puu on hyvä ja lähes korvaamaton materiaali.

2.1 PUUN RAKENNE JA KASVU

Puu sisältää ligniiniä, selluloosaa ja hemiselluloosaa sekä pieniä määriä erilaisia uuteaineita. Selluloosa on luonnossa yleinen orgaaninen polymeeri, ja se muodostaa puiden soluseinämien systemaattisen tukirakenteen yhdessä hemiselluloosan kanssa. Puussa kasvukaudella syntyvän solun kuollessa alkaa sen primääriseinämän sisäpintaan syntyä selluloosa ja hemiselluloosa yhdisteitä. Tällöin alkaa myös soluseinämän lignifioituminen eli puutumisen. (Alen 1998, 13.) Ligniinistä johtuen voidaan puuvartiset kasvit erottaa kasvitieteessä ruohokasveista. Kun soluseinä sisältää ligniiniä, sitä sanotaan puutuneeksi ja esimerkiksi Bambu on koostaan riippumatta ruohokasvi, koska se ei sisällä ligniiniä. (Kärkkäinen 2003, 15.)

Havu- ja lehtipuusukujen rakenteet eroavat paljonkin toisistaan. Lehtipuista havupuut erottuvat paljaallakin silmällä siten ettei niissä ole lainkaan putkiloita, josta syystä havupuiden vuosilustot erottuvat puuaineessa selkeämmin. (Fagerstedt, Pellinen, Saranpää & Timonen 2004, 8.)

Havupuiden solukoissa voi olla johto- ja varastosolujen lisäksi eritesoluja, jotka ovat varsinaisten pihkatiehyiden ympärillä olevia pihkaa tuottavia tylppysoluja. Lehtipuiden puusolukko on osittain erilainen kuin havupuilla, ja niillä esiintyy useamman tyyppisiä soluja. Lisäksi lehtipuilla on varsinaisia tukisoluja. (Fagerstedt ym. 2004, 20.).

Puu kasvaa sekä primäärisesti että sekundäärisesti. Primäärinen kasvu tarkoittaa puun pituuskasvua ja sekundäärinen puun paksuuskasvua. Puun kasvuun vaikuttaa monia eri tekijöitä: maastotyyppi, maaperä, sää ja perintötekijät muokkaavat puuta ja sen kasvua. Puu kasvaa solujen jakautumisen myötä kasvukautena, jolloin syntyy vuosilusto. Yksi vuosilusto sisältää sekä kevät- että kesäpuuta. Kevätpuu on yleensä soluseinämiltään ohuempaa ja väriltään vaaleampaa kuin kesäpuu. Kevätpuu muodostuukin keväällä veden ja yhteytystuotteiden kuljetusta varten, ja kesäpuu vahvistaa puuta. Kesäpuun osuudella puussa on suuri merkitys puun tiheydelle ja sitä myöten myös lujudelle. (Salmi 2003.)

Puun rakennetta ja ominaisuuksia kuvattaessa ilmoitetaan ne leikkaussuunnissa. Yleisesti käytettyjä nimityksiä ovat poikkileikkaus, säteen suuntainen leikkaus ja tangentin suuntainen leikkaus. Puuaineen syysuunnasta puhuttaessa tarkoitetaan pitkittäisten puusolujen pääasiallista suuntaa. Suuriosa puusoluista on pitkiä ja kapeita sekä samaan suuntaan suuntautuneita, josta nimitys syysuunta. (Kärkkäinen 2003, 15–16.). Puussa on myös ydinsäteitä, jotka ovat puun syysuuntaan nähden poikittain. Näiden tarkoituksena on kuljettaa nesteitä puussa poikittain pituussuuntaan nähden.

Puuaine näyttää erilaiselta eri leikkaussuunnissa. Sen saavat aikaan kevät- ja kesäpuun väliset värierot tai mahdolliset muut paljaalla silmälläkin näkyvät lajityypilliset soluerot. Puuaine myös käyttäytyy eri tavalla eri leikkaussuunnissa. Puu kykenee vastustamaan eri voimia eri tavoin ja turpoaa sekä kutistuu eri suhteissa eri leikkaussuunnissa.

2.2 PUUAINNEEN OMINAISUUKSIA

Puu on anisotrooppinen aine, jonka lujuusominaisuudet eroavat eri leikkaussuunnissa toisistaan. Puun anisotrooppisuus johtuu puutuneiden solujen soluseinien rakenteesta, solujen muodosta ja solukon rakenteesta. Myös kevät- ja kesäpuun rakenne vaikuttaa huomattavasti puun anisotropiaan. Lisäksi puun lujuusominaisuuksiin vaikuttavat kuormitus ja puuaineen säilytysolosuhteet sekä puun omat rakenteelliset ominaisuudet ja viat. (Koponen, Huovinen & Kanerva 1998, 40.)

2.2.1 Puun tiheys

Puun lujuusominaisuuksia pystytään arvioimaan puun tiheyden perusteella. Lähes kaikilla puulajeilla soluseinän ainestiheys on sama, mutta soluseinien paksuus vaihtelee. Puulajien väliset tiheydet vaihtelevat paljon. Tiheän ja raskaan puun soluissa on paksut soluseinät ja pienet soluontelot. (Koponen ym. 1998, 52.)

Puun tiheys ei ole kauttaaltaan rungossa sama. Puun tiheyteen vaikuttaa kosteus, kesäpuun osuus, rungon ikä sekä myös kasvunopeus. Kasvupaikan vaikutus puun tiheyteen vähenee puun iän lisääntyessä, jolloin eri kasvupaikoilla kasvaneilla puilla tiheys lähenee toisiaan puiden vanhetessa. Hidaskasvuinen puu on tiheämpää kuin nopeakasvuinen. Lisäksi maantieteellisillä oloilla ja puuyksilön geneettisellä perimällä on vaikutusta puun tiheyteen sekä muihinkin ominaisuuksiin. (Kärkkäinen 2003, 156–166.) Puuaineen tiheydellä on paljon merkitystä puun lujuuksiin. Mitä tiheämpää puu on, sitä kestävämpää se myös on.

2.2.2 Puun lujuus

Puu on painoonsa nähden luja materiaali. Se on eri vahvuista eri leikkaussuunnissa, ja esimerkiksi taivutusta puu kestää syysuunnassa enemmän kuin poikkisuunnassa. Puuaineen lujuuteen vaikuttaa myös sen tiheys ja kasvunopeus. Tiheä puu kestää voimakkaampaa taivutusta niin pitkittäis- kuin poikittaissuunnassakin. Puumateriaalin tiheys ja muut ominaisuudet muuttuvat jopa saman puunrungon sisällä. Lujuuteen vaikuttavat myös puun kosteus, lämpötila sekä siihen kohdistuvan kuormituksen aika.

Oksat heikentävät puuaineen lujuutta, koska normaali syysuunta kiertää oksan kohdat. Lisäksi lujuutta heikentää puun muut viat, kuten erilaiset halkeamat, vionosyisyys ym. viat, joita eritellään tuonnempana.

Puuaineesta määritetään käyttökohteesta riippuen tiettyjä asioita. Rakenteellisissa kohteissa on otettava huomioon puun erilaisia kestävyys- ja lujuusominaisuuksia ja joissakin tapauksissa tarvitaan puun pintakovuutta, esimerkiksi puulattioiden raaka-aineita valittaessa. Näitä varten on olemassa tiettyjä standardeja, jotta voitaisiin saada vertailukelpoisia tuloksia.. Testauksissa puuaineesta määritetään esimerkiksi taivutus-, puristus-, halkaisu- ja vetolujuus sekä kovuus.

2.2.3 Puun kosteus

Puu on hygroskooppista ainetta, eli se imee ilman kosteutta itseensä. Kosteus sitoutuu aluksi soluseinämiin, kunnes vettä alkaa varastoitua soluonteloihin. Koska puu on hygroskooppista ainetta, tapahtuu puuaineessa kosteuselämistä. Tällöin puun solukoiden soluseinämät joko täyttyvät vedestä (adsorptio) tai luovuttavat vettä (desorptio). (Kärkkäinen 2003, 175.) Kosteus vaikuttaa siis olennaisesti puun painoon ja jonkin verran puun mittoihin.

Puun kosteudella tarkoitetaan puussa olevan veden painon suhdetta puun absoluuttiseen kuivapainoon. Kasvavan tuoreen puun kosteusaste on yli 30 %.

Kaadettu puu asettuu aina tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Siksi onkin tärkeää valita käyttökohteen kanssa yhdenpitävässä kosteussuhteessa olevaa puutavaraa, jotta puun kosteuseläminen ei aiheuttaisi ongelmia sen käytössä. Esimerkiksi liimapuuta valmistettaessa lamellien kosteuden on syytä olla tiettyjen arvojen sisällä, koska kosteuserojen takia liimasaumat halkeilevat helposti.

Puunsyiden kyllästymispisteellä (PSK) tarkoitetaan tilaa, jossa puu on asettautunut maksimaaliseen kosteussuhteeseen, tietyssä lämpötilassa. Puun syiden kyllästymispiste on suurempi kevätpuussa kuin kesäpuussa, lisäksi lylypuussa kyllästymispiste on alhaisempi kuin normaalipuussa. Tämä ilmeisesti johtuu lylyn korkeasta ligniinipitoisuudesta, joka alentaa keskimääräistä absorptiota. (Kärkkäinen 2003, 187.)

Puun kosteuseläminen on anisotrooppista. Kosteuden muuttuessa se kutistuu ja turpoaa eri määrän säteen, tangentin ja pituuden suunnassa. Myös puulaji ja puuaineen tiheys vaikuttavat puuaineen kutistumiseen ja turpoamiseen. Puun anisotrooppisella kosteuselämisellä on monissa sen käyttömuodoissa huomattava merkitys. Puu halkeilee helposti kuivuessaan, mikä johtuu eri suuntiin kohdistuvista erilaisista kutistumisvoimista. (Kärkkäinen 2003, 191–195.)

Puun kosteuselämistä on pyritty vähentämään monin tavoin. Pintakäsittely suojaa puuta tilapäisesti kosteuselämiseltä. Lämpökäsitellyllä puun sorptiokykyä on pystytty alentamaan huomattavasti. Toinen yleisesti käytetty tapa on puun kyllästäminen, jolloin soluseinämän vesi pyritään korvaamaan toisella aineella. Puutavaran kuivauksessa syntyviä muotovikoja voidaan vähentää oikeanlaisella sahaustavalla. (Kärkkäinen 2003, 201–205.)

2.2.4 Puun vikoja

Puun vioilla tarkoitetaan perinteisesti kaikkia niitä poikkeamia normaaliudesta, jotka vaikuttavat puun käyttökelpoisuuteen. (Kärkkäinen 2003, 247.). Tällöin viat ovat lähinnä käyttäjän asettamia vaatimuksia puulle ja sen käytölle. Joissain tapauksissa vioiksi luokiteltavat piirteet ovat puun erityisominaisuuksia, kuten visaisuus, laineisuus ja muhkurat, jotka saattavat olla myös haettuja ominaisuuksia.

Puun lujuuteen vaikuttavia vikoja ovat oksat (terve oksa, kuollut oksa, kuori oksa, laho oksa, sarvioksa, viiksi oksa, oksa ryhmä, särmä oksa, helmi oksa, lehti oksa), vinosyisyys, lyly-/reaktiopuu ja halkeamat. Muita vikoja on laho, koro, puun mutkaisuus ja lenkous, sinistymä ja vesisilo. Lisäksi puussa voi ilmetä lapevärryhtä, kuperuutta ja kieroutta, jotka johtuvat joko puun kasvujännityksistä, huonosta kuivauksesta, vääränlaisesta sahauksesta tai näiden yhteisvaikutuksista.

3 PUULAJIT

Suomi on Euroopan metsäisin maa. Metsät peittävät Suomen maa pinta-alasta 86 %. Metsiemme puustosta lähes puolet on mäntyä ja seuraavaksi yleisimmät puulajit ovat kuusi ja koivu. (Forest 2007)

Seuraavassa on esitelty lopputyössä testatut puulajit, kerrottu niiden puuaineen ominaisuuksista, laadusta sekä mainittu yleisimpiä käyttökohteita. Puulajien nimet on suomeksi sekä lisäksi on mainittu puulajin tieteellinen nimi.

Puulajit on jaoteltu havu- ja lehtipuihin. Havu- ja lehtipuut eroavat toisistaan puu-anatomialtaan ja kasvutavaltaan.

3.1 HAVUPUUT

3.1.1 Mänty

(*Pinus sylvestris*)

Mänty on kookas puu. Se voi saavuttaa 40 metrin pituuden, yli metrin paksuuden ja jopa 800 vuoden iän. (Keinänen & Tahvanainen 1995, 58.) Pintapuu ja sydänpuu erottuvat hyvin toisistaan. Männyn pintapuu on väriltään vaaleaa tai kellertävää ja sydänpuu tuoreena kellertävää tai punaruskeaa, mutta se tummenee nopeasti ilman vaikutuksesta. Vaalea pintapuu on melko paksu. Männyssä vuosilustot erottuvat muuta puuainetta tummemman kesäpuun takia selkeästi, ja syykuviointi on siten melko voimakas. (Salmi 1972, 120.)

Puuaine on kovahkoa, mutta männyn puuaineen kovuuteen vaikuttaa olennaisesti puun kasvunopeus. Puuaine on vähän liikkuvaa, vähän taipuisaa ja helposti halkeavaa. Puuaine kestää ilman kosteusvaihtelua halkeamatta melko hyvin. (Keinä-

nen & Tahvanainen 1995, 60.) Varsinkin männyn sydänpuu kestää kosteutta hyvin ja on siksi erinomainen materiaali esim. ikkunanpuitteissa.

Mänty on Suomen saha- ikkuna- ja oviteollisuuden pääraaka-aine, jonka lisäksi siitä valmistetaan sisustuskäyttöön viiluja, vaneria, listoja, paneeleja, parketteja ja lattialautoja. Hirsi- ja rakennusteollisuudessa mänty on tärkeä raaka-aine. Muita käyttökohteita ovat esimerkiksi pakkaukset ja kuormalavat sekä veneenrakennus. Mäntyä käytetään lisäksi paljon kyllästettynä.



KUVIO 1. Mänty (Puuproffa 2007)



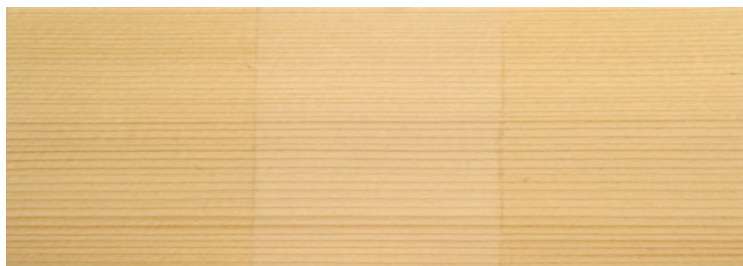
KUVIO 2. Lämpökäsitelty mänty

3.1.2 Kuusi

(*Picea abies*)

Kuusi on suora puu, joka voi saavuttaa yli 50 metrin pituuden ja 200 cm läpimitan rinnankorkeudelta mitattuna. (Salmi 1972, 71). Kuusen puuaine on vaaleaa ja keltävää. Myös kuusella esiintyy sydänpuuta, mutta se ei erotu väriltään kovinkaan helposti. Kuusen syykuvio ei erotu niin selkeästi kuin männyllä, ja kuudessa on oksia tiheämmässä. Puuaine on kauttaaltaan suorasyistä, ulkonäöltään tasa-aineista, pehmeää, kevyttä ja vähemmän taipuisaa. Kuusi on myös suhteellisen kimmoisaa ja helposti halkaistavaa. Kasvunopeus vaikuttaa puuaineen kovuuteen ja liikkuvuuteen. Ohutlustoinen puuaine on kovempaa ja kutistuu vähemmän. (Salmi 1972, 74; Keinänen & Tahvanainen 1995, 66.)

Kuusen käyttöä puusepänteollisuudessa rajoittaa sen oksaisuus ja pihkaisuus. Toisaalta terveoksaainen kuusipaneeli on juuri oksakuvionsa takia haluttuakin tietyissä kohteissa. Kuusta on helppo työstää, ja se sopii hyvin moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Kuusisahatavara on meillä suosittu rakennusmateriaali. Kuusta käytetään myös vaneriin, paneleihin, lauteisiin ja listoihin. Pienen kosteuselämisen vuoksi kuusi toimii hyvin vanerissa. Oksaisuutensa vuoksi kuusiviiluihin syntyy helposti reikiä, mikä aiheuttaa pintaviilussa ongelmia. Hyvälaatuisesta puuainees- ta valmistetaan ikkunoita, ovia, liimalevyjä ja huonekaluja ja soittimia. Kuusta käytetään pakkauksissa ja kuormalavoissa sekä veneenrakennuksessa. Se on vaikeasti kyllästettävää, eikä niin käytettyä kyseisessä sovelluksessa. Kuusi on myös paperiteollisuuden tärkeä raaka-aine.



KUVIO 3. Kuusi (Puuproffa 2007)

3.1.3 Siperianlehtikuusi

(*Larix sibirica*)

Siperianlehtikuusi kasvaa Suomessa viljeltynä metsäpuuna. Siperianlehtikuusen pinta- ja sydänpuu erottuvat toisistaan selkeästi. Sydänpuu on punaisenruskeaa ja erottuu näin selvästi vaaleasta, ruskeaan vivahtavasta pintapuusta, myös vuosilistot erottuvat selkeästi. (Rantala & Anttila 2004, 77.)

Siperianlehtikuusen puuaine on melko kovaa, se halkeaa suhteellisen helposti ja kuivattaessa sillä on taipumusta kieroutua. Oksat ovat suuria ja lohkeavat työstettäessä helposti. Puuaineen kovuus vaikeuttaa työstöä, joten sekä naulojen että ruuvien kiinnittämistä varten kannattaa porata reiät. Lehtikuusen nopeakasvuinenkin puuaine on hyvää, kunhan se on kasvanut tasaisesti. (Keinänen & Tahvanainen 1995, 78) Lehtikuusen sydänpuu on hyvin lahonkestävää, joskin lahonkestävyydessä on kappalekohtaisia eroja.

Siperianlehtikuusta käytetään ulkorakenteissa, pihakalusteissa, terasseissa ja laitureissa. Sisällä lehtikuusi soveltuu myös hyvin puusepäntöihin, paneeleihin ja saunan kalusteisiin. Lehtikuusta käytetään myös viiluihin ja vanereihin. Aikaisemmin lehtikuusi oli hyvin tärkeä veneenveistomateriaali, jonka lisäksi sitä on käytetty purjevereen mastoihin.



KUVIO 4. Lehtikuusi

3.1.4 Jättiläistuija

(Thuja plicata)

Jättiläistuija on tärkeä metsäteollisuuden raaka-aine, sen saanti turvataan yhä lisääntyvillä istutusmäärillä. Tuija saavuttaa 45–60 m pituuden ja 1- 2,5 m rinnan- korkeusläpimitan. Runko on suora ja oksaton n. 30 m:n korkeudelle.

Pintapuu ja sydänpuu erottuvat hyvin, vaikkakaan väriero ei ole kovin jyrkkä. Pintapuu on vaaleahkoa, ja sydänpuun väri vaihtelee vaaleanruskeasta punaruskeaan. Voimakas väri vaihtelu on puulle ominaista. Puusolukossa ei ole pihkatiehyitä, mutta se on parkkihapon kyllästämää ja sen vuoksi erittäin kestävää sinistäjä- ja lahottajasieniä vastaan. Osa puuaineen sisältämistä yhdisteistä voi nopeuttaa kasvuvien rautanaulojen tai -ruuvien ruostumista, joista tulee puun pintaan ruosteuovia. Tämä voidaan välttää käyttämällä rakenteissa ja kiinnityksessä messinkiä tai ruostumatonta terästä.

Pohjois-Amerikassa tuijaa käytetään sillan- ja veneenrakennuksessa, ratapölkyiksi, mastoiksi, kimpenä, tynnyreihin, ikkunoihin ja oviin. Intiaanit ovat käyttäneet puuta toteemipaaluihin ja kanootteihin. Merkittävä tuijan käyttökohde ovat katto- ja seinäpaanut. Käytössä on jopa n. 200 vuotta vanhoja suoja-aineella käsittelemättömiä kattoja. Puun ominaisuuksia on myös hyvä säänkestävyys, pieni kosteuseläminen, helppo työstettävyys ja lisäksi siinä on erikoinen syykuviointi.

(Sarvas 1964, 456–461 ; Tillman 2007.)



KUVIO 5. Jättiläistuija (Puukeskus 2007)

3.2 LEHTIPUUT

3.2.1 Koivu

(*Betula pendula*), (*Betula pubescens*) ja (*Betula pendula* var. *carelica*)

Rauduskoivun (*Betula pendula*) ja hieskoivun (*Betula pubescens*) puuaineet eivät ulkonäöltään eroa toisistaan. Koivun pinta- ja sydänpuu ovat samanvärisiä. Puuaine on kellertävänvalkoista tai saattaa vaihdella ruskehtavan ja punertavan välillä. (Fagerstedt ym. 2004, 102.)

Koivupuun puuaine on hyvin tasa-aineista ja tiivistä. Puuaine on joustavaa, taipuisaa ja kohtalaisen kovaa. Koivu on kuivattava huolellisesti, koska se lahoaa helposti eikä siten ole kovin kosteudenkestävää kuivattunakaan. Kuivauksessa koivun puuaine kieroutuu ja halkeilee helposti, ja siihen voi syntyä värivikoja. Koivua on helppo työstää ja pintakäsitellä.

Koivua käytetään saha-, vaneri-, parketti- ja huonekaluteollisuudessa. Koivua käytetään yleisesti lisäksi mm. koriste- ja käyttöesineissä sekä soittimissa. Korkean lämpöarvonsa takia koivu on suosittu polttopuumateriaali, koska se ei räisky ja palaa tasaisesti. Koivu on myös ksylitolin raaka-aine. (Fagerstedt ym. 2004, 102-104.)

Rauduskoivun osittain periytyvä alalaji visakoivu (*Betula pendula* var. *carelica*) kasvaa luontaisena Suomessa, joskin se on hyvin harvinainen. (Keinänen & Tahvanainen 1995, 117.)

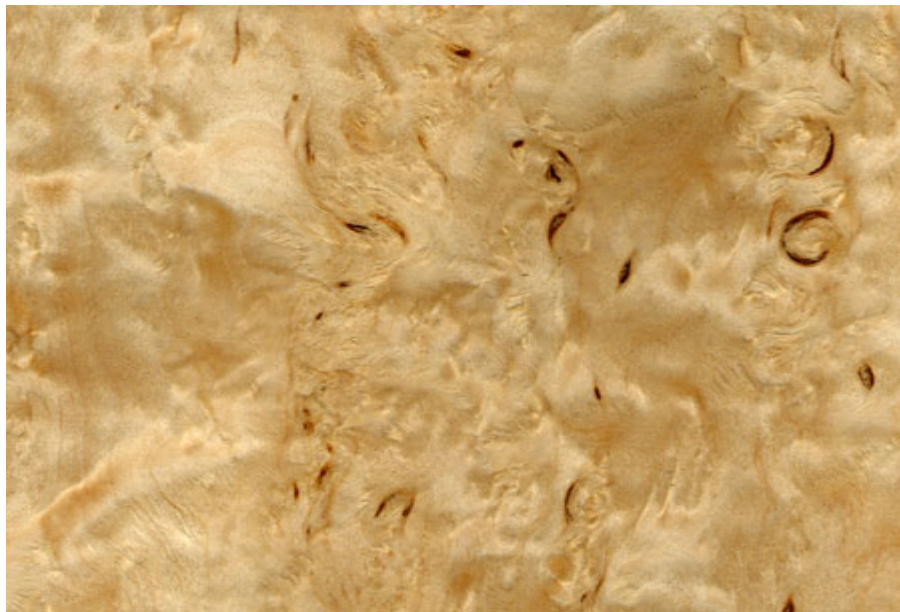
Visakoivun puuaineen solukko on poikkeuksellisesti suuntautunut ja ydinsäteet ovat poikkeuksellisen leveät sekä puuaineen sisään on jäänyt kuoren osia. Tämä näkyy puuaineessa ruskeana tähtimäisenä kuviona. (Fagerstedt ym. 2004, 108.)

Visakoivun puuaine on tummuusasteeltaan vaihtelevaa, erittäin kovaa ja painavaa. Sitä ei ole helppo halkaista, ja höylätessä syyt voivat repeillä. Sorvattaessa ja

hiottaessa pinnoista tulee sileät ja kiiltävät. Visaa käytetään arvokkaissa sisustuksissa, parketeissa, huonekaluissa, käyttö-, koriste- ja taide-esineissä. (Keinänen & Tahvanainen 1995, 119.)



KUVIO 6. Koivu (Puuproffa 2007)



KUVIO 7. Visakoivu (Puuproffa 2007)

3.2.2 Haapa

(Populus tremula)

Haapa on puuaineeltaan valkeaa tai vaaleankellertävää. Sydän ja pintapuu eivät erotu ulkonäön perusteella toisistaan. Vuosilustot ovat epäselvästi näkyvät, jolloin kevät ja kesäpuun rajaa tuskin erottaa. Puun ytimessä saattaa esiintyä ruskeaa lahon aiheuttamaa värivikaa. Haavan puuaine on tasaista, suora- ja pitkäsyistä, ulkonäöltään usein karkeahkoa ja nukkaista. Haapa on lisäksi kevyttä, kohtalaisen taipuisaa, kimmoisaa, jokseenkin lujaa ja sitkeää, muttei kestä hirveän hyvin puristusta. Vetolujuus on vähäinen. Tuoreessa puuaineessa on sille ominainen hieinan tympeä tuoksu. Haapa patinoituu ulkona kauniin harmaaksi. Haapa lahoaa tuoreena helposti, mutta kuivattuna sen säilyvyys ulkona on melko hyvä. Haapaa on helppo työstää, mutta se vaatii terävät työkalut herkän repeilevyyden ja halkeilun takia. Haapaa työstettäessä terät tylsyvät helposti, koska puuaine sisältää piitä. Lisäksi haapaa työstettäessä syntyy mahdollisesti myös staattista sähköä, joka haurastuttaa esim. sahanteriä. Höylätty pinta on nukkainen ja himmeäkiiltainen. Liimaukset samoin kuin ruuvit ja naulat pitävät hyvin ja puuhun on helppo imeyttää kemikaaleja. Pintakäsittelyt ovat vaivattomia. (Salmi 1977, 74-76.)

Haapa on saha-, selluloosa-, lastu- ja kuitulevyteollisuuden raaka-aine. Heikon lämmönjohtokykynsä vuoksi siitä höylätään esim. saunanlauteita ja -paneeleja. Aikaisemmin haapaa käytettiin tulitikkuihin ja perinteisesti kotitarvepuuna. Haavasta on myös valmistettu puukenkiä, aidaksia ja kokonaisesta rungosta koverrettuja veneitä, eli haapioita. Haapa ei myöskään anna makua, joten siitä on valmistettu astioita, hammastikkuja, pärekoreja ja sikarilaatikoita. (Fagerstedt ym. 1996.) Haapaa käytetään puusepäntuotteisiin, urheiluvälineisiin, leikkikaluihin ym. koriste- ja käyttöesineisiin, sekä hirsi ja paanurakentamiseen. (Keinänen & Tahvanainen 1995, 81-82.)



KUVIO 8. Haapa



KUVIO 9. Lämpökäsitelty haapa

3.2.3 Harmaaleppä ja Tervaleppä

(*Alnus incana*) / (*Alnus glutinosa*)

Suomessa kasvaa harmaa- ja tervaleppää. Harmaaleppän sydän- ja pintapuu ovat samanvärisiä. Puuaine on punertavanvalkoista ja hieman vaaleampaa kuin tervalepällä. Väriin vaikuttaa olennaisesti puun kaatoajankohta, kasvupaikka ja kuivatus. Tervaleppä on punertavanruskeaa. Myös tervaleppän pinta- ja sydänpuu ovat samanvärisiä ja sen vuosilustot erottuvat vain heikosti. Puun kaatoajankohta vaikuttaa tervaleppän värin voimakkuuteen. Molemmat leppälajimme lahoavat tuoreena helposti, mutta kuivattuna ne ovat kestäviä. Erityisesti tervaleppän kestävyys vedessä on hyvä. (Keinänen & Tahvanainen 1995, 84-90.)

Harmaaleppän puuaine on suorasyistä, pehmeää ja haurasta. Tervaleppän puuaine on punaruskeaa, suorasyistä ja tasalaatuista sekä pehmeää, taipuisaa ja sitkeää. Molempien leppälajien työstäminen on helppoa, ja höyläämällä niihin saadaan siileä pinta. Tervaleppää on helppo kuivata, koska se ei kieroudu ja halkeile voimakkaasti. Harmaaleppän sahatavara on mutkaisen rungon takia altis vääntyilemään. Lepän liimattavuus ja pintakäsiteltävyys on hyvä. (Fagerstedt ym., 114–120.)

Leppää käytetään sisustuksiin, paneeleihin ja huonekaluihin. Leppää käytetään myös koriste- ja käyttöesineissä sekä soitinten valmistuksessa. Se soveltuu hyvin myös saunan laudepuuksi, ja lämminsävyinen tervaleppäpaneeli on erittäin suosittu sisäverhouslauta. Tervaleppä soveltuu myös hyvin lahonkestävyyttä vaativiin vesirakenteisiin. Hapettomissa oloissa sen lahonkestävyys on tuhansia vuosia. (Keinänen & Tahvanainen 1995, 84-90.)



KUVIO 10. Tervaleppä

3.2.4 Poppeli

Poppelit on *Populus*-sukuun kuuluvia kookkaita ja nopea kasvuisia puita, joita on noin 40 lajia pääasiassa pohjoisessa viileässä ja lauhkeassa vyöhykkeessä. *Populus*-suku jakaantuu viiteen alasuukuun:

- erilaislehtiset poppelit (*Turanga*)
- valkopoppelit (*Leuce*)
 - haavat (*Trepidae*)
 - hopeapoppelit (*Albidae*)
- pilsamipoppelit (*Tacamahaca*)
- mustapoppelit (*Aigeiros*)
- isolehtiset poppelit (*Leucoides*)

Poppelit ovat runsaasti valoa vaativia puita, joiden uudistuminen tapahtuu pääasiassa vesoista. Poppelit ovat herkkiä risteytymään keskenään, jolloin on syntynyt hybridejä, jotka ovat kantalajejaan huomattavasti nopeakasvuisempia ja kasvavat näitä suuremmiksi. Poppelit ovat jo varsin nuorina erittäin alttiita saamaan lahovikoja. Suomen ainoa luonnonvarainen poppeli on haapa. Pinta- ja sydänpuu erottuvat huonosti toisistaan. Puuaines on helppoa työstää, ja sen syykuviointi on hivenen juovikasta. Poppeli soveltuu erinomaisesti vanerin valmistukseen ja sitä käytetään myös paperiteollisuuden raaka-aineena. Poppelia käytetään myös laatikoteollisuudessa ja huonekaluteollisuudessa sokkopuuna. (Salmi 1977, 67-101.)



KUVIO 11. Poppeli



KUVIO 12. Lämpökäsitelty poppeli

3.2.5 Paulownia Tomentosa (Scrophulariaceae)

Puun käyttönimiä on myös Empress tree, Princess tree ja Dragon tree, sekä Royal Paulownia.

Lohikäärme puu on erittäin kevyt (kovapuu), jonka kuutiopaino on n. 280 kg. Puun lujuus/painosuhte on yksi parhaista, jopa balsaa parempi. Vastaavasti sen lämmöneristyskyky on parempi, kuin tiheämmillä puulajeilla. Paulownia on kevyttä, pehmeää ja helposti työstettävää, mutta ei hirveän vahvaa. Väriltään se on vaaleahkoa ja hivenen harmahtavaa. Paulownia on kotoisin Itä-Aasiasta ja se kasvaa tukin mittaan 10–15 vuodessa.

Sitä käytetään (jousi)soittimissa, huonekaluissa, puukaiverruksissa, paneleissa ja siitä tehdään myös listoja. Huonekaluteollisuudessa käytettävä Paulownia tulee plantaaseilta. Vanhan kiinalaisen uskomuksen mukaan Paulowniapuu kotona tuottaa onnea kotiin. (TheWoodbook 2002, 698; Paulownia 2007; Halme, R. 2006. Thomart Oy.)



KUVIO 13. Paulownia

3.2.6 Apassi (Triplochiton scleroxylon)

Apassi on yksi Afrikan suurimpia puuta, ja se voi kasvaa jopa 60 m korkuiseksi. Apassin puuaine on kellertävän vaaleaa tai oljen väristä tummuun hiukan joutuesaan valolle alttiiksi. Puuaine on pehmeää, hyvin kevyttä, taipuisaa, elastista ja iskunkestävää, muttei kulutuksen ja sään kestävä. Apassin lujuus/painosuhte on hyvä. Se halkeaa helposti eikä sillä ole merkittävää kutistumista kuivauksessa. Apassi on nopea kuivata. Puuta on helppo työstää terävillä työkaluilla, mutta sillä on taipumusta murentua. Apassi soveltuu sahattavaksi, halkaistavaksi, höylättäväksi, viilutettavaksi ja kiillotettavaksi. Apassi soveltuu mainiosti ristivanerin ristiviiluksi. Suomessa apassia käytetään saunan laudepuuna sekä hivenen veneenrakentamisessa. Apassia käytetään myös laatikko-, auto- sekä lentokoneteollisuudessa. (Bishop 100 Woods 1999, 130–131; Salmi 1977, 8.)



KUVIO 14. Apassi (Puukeskus 2007)



KUVIO 15. Lämpökäsitelty apassi

4 LÄMPÖKÄSITTELY

Lämpökäsittelyn alkuvaiheet ajoittuvat jo viikinkien aikakauteen, jolloin puun pintaa poltettiin avotulella jotta se kestäisi paremmin ulkokäytössä. Lämpökäsittelyn tieteellinen tutkimus aloitettiin kuitenkin vasta 1930-luvulla Saksassa ja Suomessa sitä jatkettiin 1990-luvulla. (ThermoWood käsikirja 2003.) Puun lämpökäsittely on yksi tapa saada kehitettyä puun ominaisuuksia, jotta puun käyttömahdollisuudet ja kohteet lisääntyisivät.

Lämpökäsittely on eräänlainen puun modifiointiprosessi. Aluksi puut laitetaan kuivauskamariin ja kamarin lämpötila nostetaan nopeasti 100 °C:n lämmön ja höyryn avulla. Tämän jälkeen lämpötilaa nostetaan tasaisesti aina 130 °C:n, jolloin tapahtuu kuumakuivaus ja puun kosteuspitoisuus laskee lähelle nollaa. Tämän jälkeen suoritetaan varsinainen lämpökäsittely, jolloin lämpötilaa edelleen nostetaan aina 185–215 °C:n. Halutussa lämpötilassa puut pidetään 2-3 tuntia riippuen halutusta lämpökäsittely asteesta. Lopuksi aletaan laskea lämpötilaa, minkä aikana puutavaralle tehdään vielä uudelleenkestutus vesisuihkujärjestelmien avulla, jotta puun kosteuspitoisuus saadaan käytettävälle 4-7 %:n tietämille. (ThermoWood käsikirja 2003.)

Lämpökäsittelyä tehtäessä on huomioitava, että eri puulajit ja käsiteltävien puiden dimensiot vaativat omat säätöarvot. Tällöin vältetään tai ainakin vähennetään käsittelyssä mahdollisesti syntyviä halkeiluja. Lämpökäsittely sopii niin havu- kuin lehtipuille.

Lämpökäsittelyssä puun rakenne muuttuu. Korkeassa kuumuudessa monet puun fysikaaliset sekä kemialliset ominaisuudet muuttuvat pysyvästi. Tällöin tapahtuu pääasiassa puussa olevien hemiselluloosien termistä hajoamista. Puussa tapahtuvia muutoksia ovat värin tummuminen, kosteuseläminen pienenee, biologinen kestävyys paranee, puusta poistuu uuteaineita sekä pihkaa, massa pienenee, sisäiset jännitykset vähenevät, tasapainokosteus ja pH alenee sekä lämmöneristyskyky kasvaa. Tällöin myös lujuus ominaisuudet muuttuvat ja etenkin taivutuslujuus ale-

nee. Vaikka lämpökäsittelyssä puun kestävyys kosteutta ja säätä vastaan paranee, ei se siltikään ole täysin veden kestävä. Suoraa kosketusta veden kanssa on syytä välttää. Lämpökäsiteltyä puuta ulkotiloissa käytettäessä on syytä käyttää kiinnittämiseen korroosiokestäviä ruuveja ja nautoja. Käsittelyn seurauksena myös liimattavuus heikkenee. Puuntyöstö on helpompaa, koska puusta on käsittelyn seurauksena poistunut pihkaa sekä muita uuteaineita. Sisäiset jännitykset häviävät, joten sahauksen jälkeen ei ole havaittavissa kappaleiden vääntyilyä. Sahattaessa lämpökäsiteltyä puuta on syytä käyttää hengityssuojainta tai kunnollista pölynpoistojärjestelmää, koska sahanpuru on hienojakoista. Työstettäessä lämpökäsiteltyä puuta on terien oltava teräviä, jotta vältetään kappaleen turhalta repeämiseltä. (ThermoWood käsikirja 2003).

5 VANERI

Suomessa vanerin tärkeimmät raaka-aineet ovat koivu ja kuusi. Koivu on rakenteellisesti lujaa ja tasa-laatuista, joten se sopii mainiosti sorvaukseen ja liimaukseen. Kuusi taas on kevyempää ja edullisempää, joten sitä on hyvä käyttää combivanerissa sekä pelkästään havuvanerissa. Havuvaneria käytetään pääasiassa rakennusteollisuudessa, kun koivuvaneri taas on moninaisemmassa käytössä. (Vanerikäsikirja 2001, 5.)

Vaneri valmistetaan sorvaamalla ohuita viiluja ja liimaamalla ne ristiin syysuuntiin nähden. Koivuvanerin vakio viilut ovat 1,4 mm paksuja ja havuvanerilla paksuudet ovat 2,0-3,2 mm. Lisäksi on saatavilla erikoiskäyttöön tarkoitettuja vanereita, joissa sekä viilun paksuudet sekä viilujen suunnat saattavat poiketa vakiovanereista. Vanerin liimauksessa käytetään pääasiassa fenoliformaldehydiliimaa. Se on säänkestävää ja antaa näin ollen mahdollisuuden käyttää vaneri tuotteita myös ulko-olosuhteissa. Tällöin on kuitenkin muistettava, että ulkokäytössä olevat vanerit on syytä olla pinnoitettuja ja reunasuojattuja, koska koivu on suhteellisen herkkä laholle. Vanerin laatuluokka ei merkittävästi vaikuta sen lujuusominaisuuksiin. (Vanerikäsikirja 2001, 5-9.)

Vanerit voidaan myös päällystää erilaisilla pinnoitteilla, jotta vanerilevyistä saataisiin ominaisuuksiltaan oikeanlaisia asiakkaan tarvitsemiin kohteisiin. Pinnoitettuja vanereita voi päällystää fenolifilmipinnoitteella, maalauksella sekä melamiinifilmipinnoitteella. Lisäksi on saatavilla erikoistuotteita, joita ovat maalatut ja värjätyt vanerit, viilutetut vanerit, laminaattipintaiset vanerit, polypropeenikalvolla pinnoitetut vanerit, lasikuituvahvisteisella pinnoitteella päällystetyt vanerit, metalli- ja mineraaliyhdisteillä pinnoitetut vanerit sekä äänieristysvaneri. Vanerilevyjä on mahdollista myös jatkaa vakiomittoja suuremmiksi levyiksi suurimman levykoon ollessa 13000mm*3000mm. (Vanerikäsikirja 2001,14–15.)



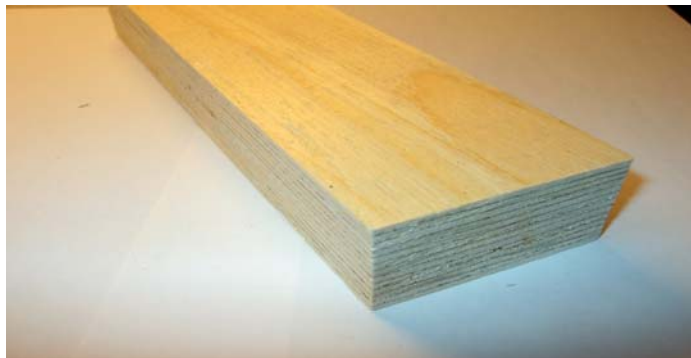
KUVIO 16. Havuvaneri



KUVIO 17. Poppelivaneri

6 KERTOPUU

Kertopuu on Suomessa pääsääntöisesti havupuusta sorvatusta viilusta liimattu palkki- ja levytuote. Kertopuu liimataan viiluista kuten vanerikin, mutta kertopuussa viilujen pääasiallinen syysuunta on pitkittäin. Kertopuu on mittatarkka ja kestävä tuote vaativiinkin käyttökohteisiin. Kertopuuta käytetään paljon rakentamisessa, se on erittäin monikäyttöinen ja sitä on helppo työstää vaikka paikan päällä. Rakentamisessa sitä voi käyttää esimerkiksi ulko- ja väliseinien runkotolppana ja ala-, ylä- ja välipohjien kannatin palkkeina. Kertopuun pystyy myös kylästämään, joten sitä voi käyttää myös ulkorakentamisessa missä tarvitaan kosteuden kestoä. (Finnforest Kerto 2006).



KUVIO 18. Havukertopuu



KUVIO 19. Poppelikertopuu

7 LUJUUSTESTAUKSET

Puun lujuustestaukset suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Lujuustesteissä testi laitteena käytettiin Alwetron testilaitetta ja vanerien filmipinnan hankaustestissä käytettiin Taber 5130 Abraser testilaitetta (kuva 25). Lujuustesteinä tehtiin taivutus-, puristus-, veto-, halkaisu- ja pinnan kovuustestit. Lisäksi koekappaleista määritettiin tiheys ja kosteusprosentti. Puukappaleet työstettiin tarvittaviin mittoihin, minkä jälkeen tehtiin kyseiset testit. Työstettäessä testikappaleita oikeisiin mittoihin saatiin samalla tuntumaa puulajin työstettävyyteen. Testikappaleet tehtiin mahdollisimman tarkasti kuvien (20,21,22,23,24) ohjeita noudattaen, mutta toisinaan oli hieman sovellettava, raaka-aineen mitoista johtuen.

Testauksissa olivat mukana havupuista mänty, kuusi, lehtikuusi ja jättiläistuija sekä lehtipuista koivu, haapa, tervaleppä, poppeli, paulownia ja apassi. Lisäksi testattavana oli poppeli-, havu- ja koivuvanerilevyjä sekä havu- ja poppeli kertopuupalkkeja. Puu kappaleet pyrittiin pitämään jonkin aikaa varastossa, jotta niiden kosteudet tasaantuisivat lähemmäs toisiaan.

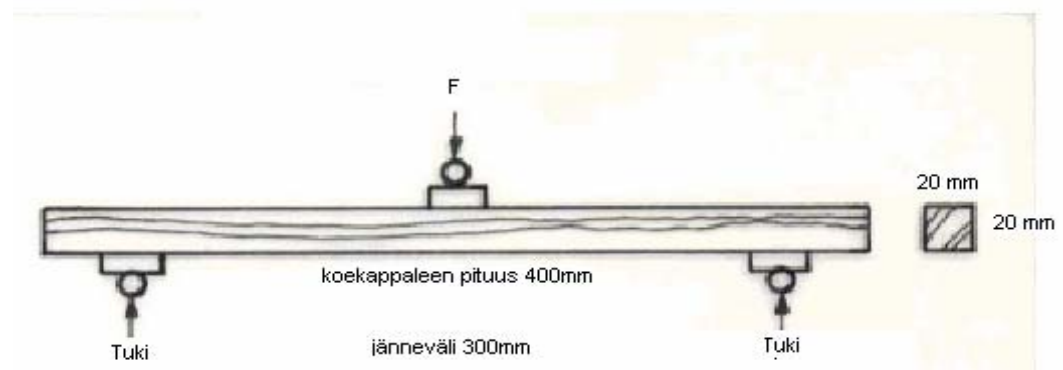
Puulajien välillä on eroavaisuuksia miten niiden puuainekset kestävät erilaisia kuormituksia, kuten taivutusta, puristusta, vetoa ja halkaisua sekä pintaan kohdistuvia rasituksia. Puu murtuu säröilemällä, taipumalla ja halkeamalla pituussuunnasta paljon ennen lopullista murtoa ja näistä puu ilmoittaa yleensä rasahtamalla tai muulla äänekkäällä tavalla. Puulajien lujuuksien tuntemus auttaa löytämään oikeanlaiset puumateriaalit vaadittaviin kohteisiin, sillä puuta käytetään lukuisissa erilaisissa kohteissa. Tämä auttaa myös siinä, ettei turhaan oteta esimerkiksi liian järeeä puutavaraa, joka on yleensä myös hinnaltaan kalliimpaa, kohteeseen, jossa voitaisiin käyttää muutakin puulajia.

7.1 LUJUUSTUTKIMUKSIEN SUORITTAMINEN

Puun ominaisuuksia testattiin siihen tarkoitettulla koneella, mikä antoi tarkat tulokset puun lujuuksista. Alwetron oli muunneltavissa eri lujuustestien vaatimiin olomuotoihin. Alwetron-testilaitte koostuu testilaitteesta ja siihen kuuluvista vaihdettavissa olevista testivälineistä sekä tietokoneyksiköstä. Testiä tehtäessä määritettiin testaustapa, asennettiin oikeat testivälineet, ja sen jälkeen syötettiin koneeseen kaikki tarvittavat arvot, jonka jälkeen kappale asetettiin laitteeseen. Tämän jälkeen laitettiin kone päälle ja odotettiin kunnes Alwetron oli testannut kappaleen. Testien jälkeen analysoitiin tulokset.

7.1.1 Taivutuslujuus

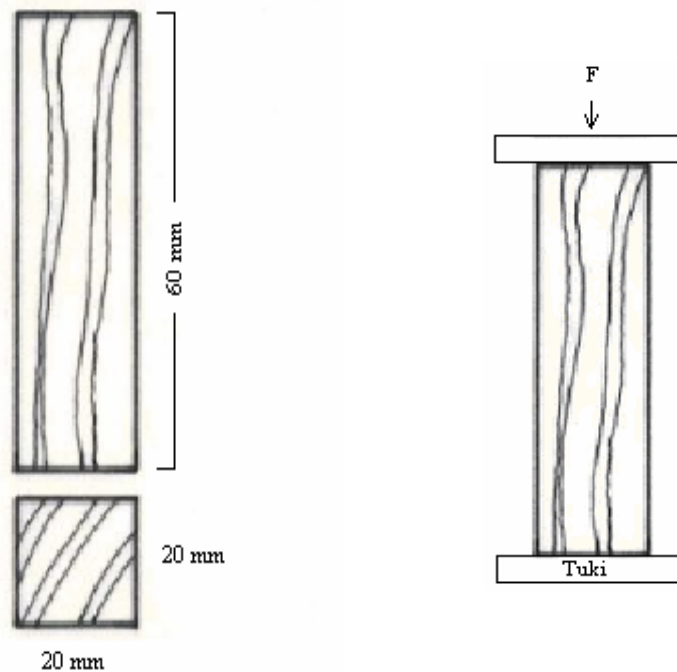
Taivutuslujuus on merkittävä lujuusominaisuus, koska puu taipuu runsaasti ennen murtumista. Taivutuslujuuteen vaikuttaa samanaikaisesti sekä veto- että puristusjännitystä. Taivutuslujuus tehtiin ISO 3133 -standardin mukaisesti. Taivutuslujuustesti suoritettiin kolmipistetaivutuksena. Koekappale asetettiin kahden tukipalkin päälle, jotka oli laitettu tietylle etäisyydelle toisistaan. Tätä etäisyyttä sanotaan jänneväliksi, ja se pyrittiin pitämään vakiona. Koekappaleet työstettiin 20*20*400 mm mittoihin (kuva 20). Testikappaletta kuormitettiin nopeudella 10 mm/min. kappaleen keskeltä ja annettiin koneen kuormittaa niin kauan, kunnes puukappale hajosi tai oli pääosin murtunut. Taivutuslujuutta heikentää pääasiassa vinosyisyys, oksat ja mahdolliset halkeamat.



KUVIO 20. Taivutuslujuuden suorittaminen kolmipiste taivutuksena

7.1.2 Puristuslujuus

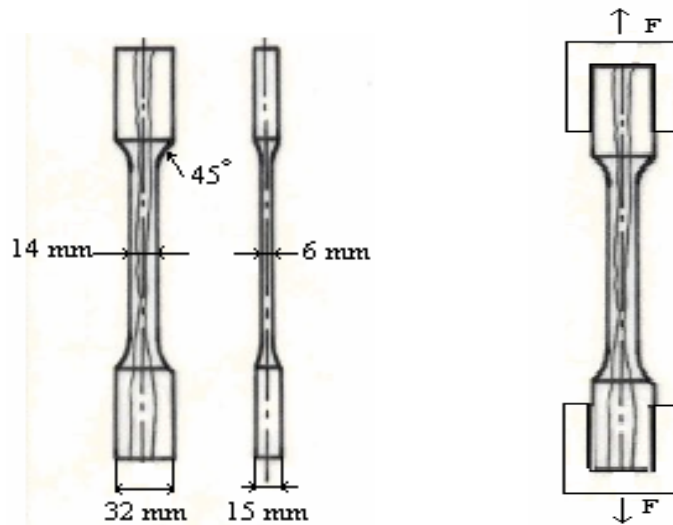
Puristuslujuutta tarvitaan esimerkiksi rakennettaessa puupilareita. Puristuskoe suoritettiin standardin ISO 3787 mukaisesti. Testitilanteessa puukappaleet olivat työstetty kuvassa 21. näkyviin mittoihin, ja koekappaletta puristettiin murtumiseen saakka nopeudella 10 mm/min.. Puu käyttäytyy puristusrasituksessa sitkeän materiaalin tavoin. Oksat ja muut viat eivät vaikuta heikentävästi puristuslujuudessa niin paljon kuin esimerkiksi taivutus- ja vetolujuudessa.



KUVIO 21. Puristuslujuuden testaus

7.1.3 Vetolujuus

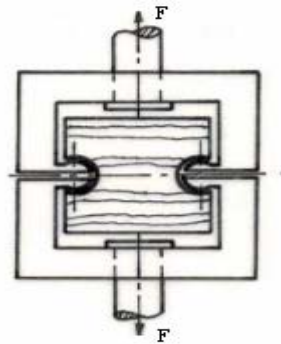
Vetolujuus testiä varten tehtiin kuvan 22. mukaisia koekappaleita. Testaus tehtiin standardin ISO 3345 mukaisesti. Koekappaleiden pituudet olivat 300 mm ja ne asetettiin Alwetronin kiinnityspäihin 32*15 mm suorakaiteen muotoisista päätykohdista. Tämän jälkeen laitettiin testilaite vetämään koekappaleita rikki 1,5 mm/min. nopeudella. Vetolujuudessa merkittävimmät puun viat, jotka heikentävät lujuutta, ovat vinosyisyys ja mahdolliset oksat.



KUVIO 22. Vetolujuuden testaaminen

7.1.4 Halkaisulujuus

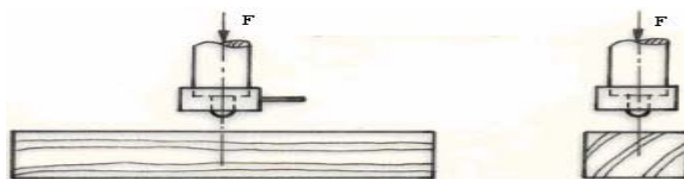
Halkaisulujuuden testaaminen suoritettiin vetotestinä, mutta veto suoritettiin syitä vastaan kohtisuorana vetona. Testattavat puut tehtiin standardin ASTM D 143.105 mukaisesti. Testikappaleet vedettiin rikki n.1.3 mm/min. nopeudella, minkä jälkeen vertailtiin hieman tuloksia. Kokeessa haettiin tietyistä puulajeista lähinnä tietoa, miten ne kestävät esimerkiksi naulausta ilman halkeamista. Kuvasta 23. näkee koekappaleen muodon työstön jälkeen sekä testaustavan.



KUVIO 23. Halkaisulujuuden testaaminen

7.1.5 Kovuus

Pinnan kovuuden testaaminen suoritettiin standardin ASTM D 143.85 mukaisesti Janka-testauksella. Tässä testissä painettiin n.1cm halkaisijaltaan olevaa metalli kuulaa sen säteen verran puuhun 6 mm/min. nopeudella. Tarvittava voima ilmaisee suoraan Janka-kovuuden (kN). Pinnan kovuutta tarvitaan lähinnä lattian raaka-aineissa sekä työtasoissa.

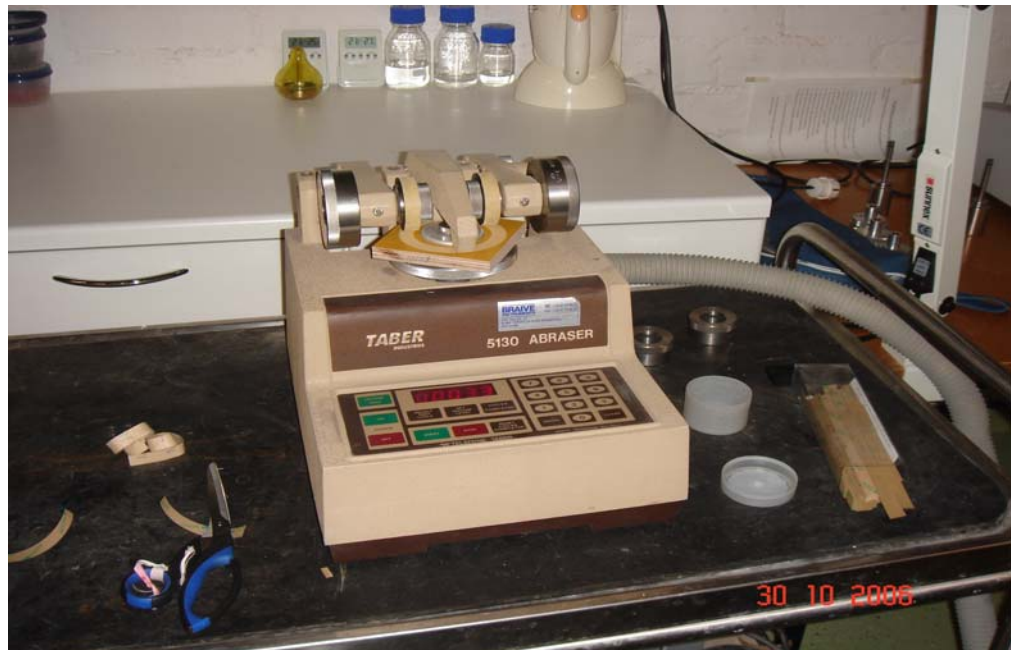


KUVIO 24. Janka-kovuuden testaaminen

7.1.6 Vaneri

Vaneri testeissä vertailtiin kiinalaisen poppelivanerin lujuuksia Suomessa valmistettavien havu- ja koivuvanereiden lujuuksiin. Perusvanereina tutkittiin havu- ja poppelivanereiden taivutuslujuuksia, standardin EN 310:1993 mukaisesti. Filmi-pinnoitettujen vanereiden osalta tutkittiin poppeli- ja koivuvanereita, joista tehtiin taivutuslujuuden määrittämisen lisäksi filmipinnan kulutuskestävyyden testaus.

Kulutuksenkestävyys testit suoritettiin Taber 5130 Abraser-laitteella (kuva 25). Testaus suoritettiin standardin EN 438-2 mukaisesti. Testissä laitettiin vaneri kiinni laitteeseen, ja vanerin pinnalle laitettiin pyörimään kaksi Taber rubber CS-0 kumitelaa (standardized abrasion test wheels). Kumiteloihin laitettiin S-42 (standardization of abrasive paper) hiomapaperit, jotta saataisiin luotettavat tulokset. Lisäksi kumiteloihin laitettiin 1000 g painoiset punnukset lisäämään kitkan vaikutusta. Vanerit laitettiin pyörimään 100–500 kierrosta, minkä jälkeen vertailtiin tuloksia.



KUVIO 25. Taber 5130 Abraser

7.1.7 Kertopuu

Kertopuun testauksena tehtiin taivutuslujuuden testaus. Testattavina olivat suomalainen havukertopuu ja kiinalainen poppelikertopuu. Kertopuun testauksessa jouduttiin pienentämään jänneväliä, poppelikertopuun raaka-aineen mittojen takia. Testauksessa tehtiin kuitenkin niin, että sekä havu- että poppelikertopuut olivat sahattu pituudeltaan samoihin mittoihin, mutta muuten kertopuut annettiin olla vakio mitoissaan.

7.2 TULOKSET

Tuloksia analysoitaessa ja laskettaessa on laskettu lujuuksien keskiarvot. Tämä siitä syystä, että päästäisiin mahdollisimman lähelle luotettavuutta ja saataisiin vertailukelpoisimpia tuloksia. Puun lujuuksiin vaikuttaa moni eri tekijä ja samankin puun rungon eriosista otetut näytteet poikkeavat niin lujouden kuin massankin suhteen paljonkin toisistaan. Lisäksi puun lujusarvoihin vaikuttavat puussa mahdollisesti esiintyvät viat, kuten erilaiset oksat ja halkeamat. Taivutuslujuutta testattaessa asetettiin kappale testattavaksi siinä suunnassa, missä se sattui käteen tulemaan. Tämä sen takia, jotta tulokset olisivat keskiarvoisia ja ne olisivat yleispäteviä. Testattavista kappaleista määritettiin lisäksi puuaineiden tiheydet ja kosteudet testaushetkellä.

7.2.1 Taivutuslujuus

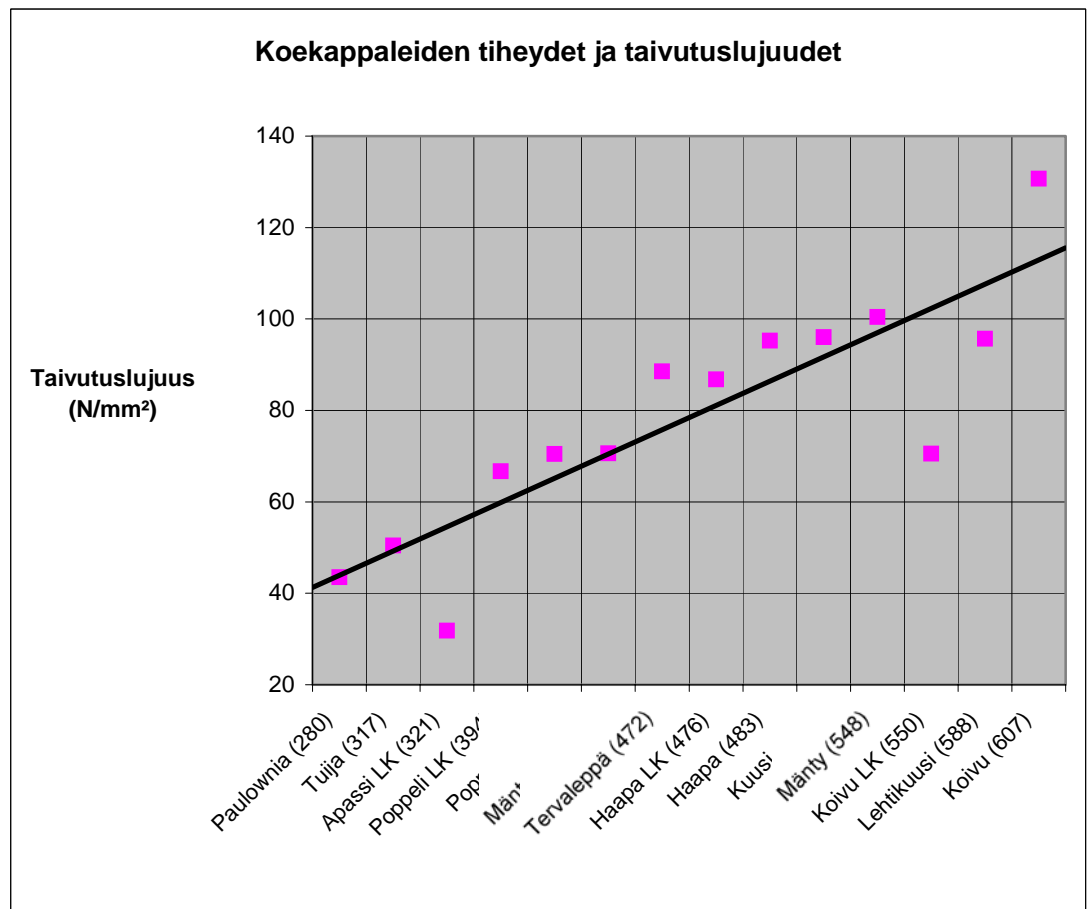
Taivutuslujuudeltaan paras puulaji oli koivu, joka oli myös tihein puulaji. Pienimmän taivutuslujuuden sai lämpökäsitelty apassi, vaikka se ei ollutkaan tiheydeltään pienin. Tämä johtuu apassin lämpökäsittelystä. Käsittelemättömistä puulajeista sai heikoimman taivutuslujuuden paulownia, joka siis myös tiheydeltään oli keveintä. Nämä tulokset jo osaltaan lujittavat sitä asiaa, että tiheyden merkitys puu aineen lujuuteen on merkittävä. Taulukosta 1 voi katsoa tiheyden vaikutusta taivutuslujuuteen, joiden välillä on havaittavissa selväkö korrelaatio.

Kertoimesta voi päätellä korrelaation olevan hyvä, koska kerroin on lähes 0,9. Kertoimen ollessa 1 olisi tulokset täysin riippuvaisia toisistaan.

Korrelaatiokerroin:

$$\frac{n \times \sum x_i \times y_i - \sum x_i \times \sum y_i}{\sqrt{n \times \sum x_i^2 - (\sum y_i)^2} \times \sqrt{n \times \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} = 0,884$$

TAULUKKO 1. Koekappaleiden tiheydet ja taivutuslujuudet

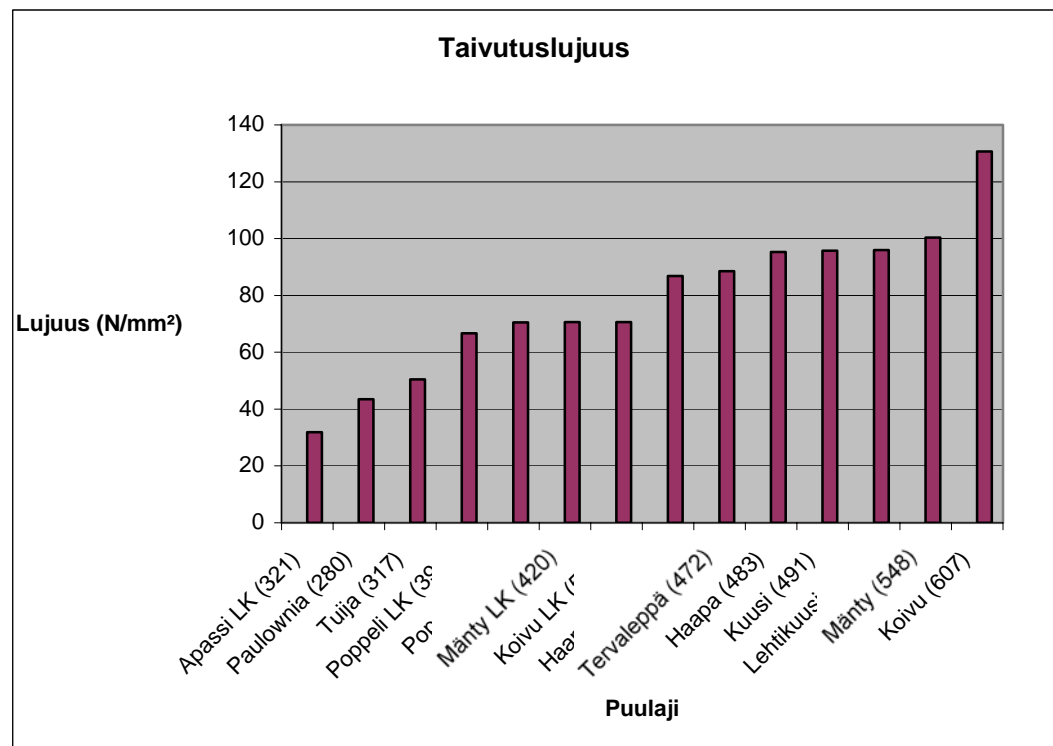


Taulukosta 1 on nähtävissä, kuinka koivun normaali- ja lämpökäsiteltypuuaines poikkeavat arvoiltaan regressiosuoralta. Normaalin puuaineksen osalta koivun taivutuslujuus on testatuissa kappaleissa ollut hivenen kestävämpää suhteessa puun tiheyteen, mutta vastaavasti lämpökäsittelyssä on koivulla tapahtunut selvä muutos taivutuslujuuteen. Tarkasteltaessa muiden lämpökäsiteltyjen puiden tiheyden suhdetta taivutuslujuuteen ei niissä ole nähtävissä saman suuruisia lujouden pie-

nenemisiä. Männyn osalta tiheys on tippunut vielä enemmän lämpökäsittelyssä kuin koivulla, mutta silti lämpökäsitellyn männyn taivutuslujuus on pysynyt suhteessa tiheyteen lähes yhtä hyvänä. Koivulla on mahdollisesti tapahtunut lämpökäsittelyssä suurempia rakenteellisia muutoksia solukoissa tai sitten koivulla on ainakin testikappaleissa ollut mahdollisia sisäisiä halkeamia. Lämpökäsitelty apassi on painoonsa nähden heikompaa verrattaessa muihin puulajeihin. Paulownia, haapa, poppeli ja tervaleppä on taulukosta 1 katsottuna painoonsa nähden lujia puuainekseltaan. Haavan ja poppelin osalta ei ole myöskään nähtävissä lämpökäsittelyn heikentävän puita taivutuslujuuden osalta kovinkaan merkittävästi. Toki on tapahtunut pientä lujuuden alenemista, mutta suurin syy taivutuslujuuden alenemiseen on tiheyden aleneminen.

Taivutuslujuutta tarkasteltaessa taulukosta 2 huomataan, kuinka koivun taivutuslujuus on merkittävästi suurempi kuin muilla testatuilla puulajeilla.

TAULUKKO 2. Taivutuslujuus



TAULUKKO 3. Taivutuslujuudet puulajeittain

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Haapa	75	469	7,2
Haapa	99	437	7,2
Haapa	101	495	7,0
Haapa	93	485	7,2
Haapa	98	476	7,1
Haapa	115	485	6,6
Haapa	82	522	4,9
Haapa	106	530	5,2
Haapa	91	481	6,5
Haapa	99	465	6,8
Haapa	89	463	6,4
Hajonta	11	35	0,8
Keskiarvo	95	483	6,0

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Haapa LK	103	478	2,4
Haapa LK	65	450	2,2
Haapa LK	80	450	1,9
Haapa LK	75	428	4,3
Haapa LK	87	479	4,1
Haapa LK	91	460	4,4
Haapa LK	102	481	4,4
Haapa LK	64	434	4,5
Haapa LK	102	585	2,6
Haapa LK	98	513	3,3
Hajonta	15	46	1,0
Keskiarvo	87	476	3,4

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Poppeli	73	394	
Poppeli	51	340	7,0
Poppeli	65	388	6,4
Poppeli	71	406	
Poppeli	62	412	
Poppeli	86	425	5,4
Poppeli	76	413	5,3
Poppeli	79	424	5,3
Poppeli	52	372	7,3
Poppeli	66	407	6,6
Poppeli	63	394	6,6
Poppeli	67	405	6,0
Poppeli	84	410	6,8
Poppeli	91	433	6,7

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Poppeli LK	72	391	4,1
Poppeli LK	65	352	3,7
Poppeli LK	67	460	3,8
Poppeli LK	77	441	3,5
Poppeli LK	67	388	4,7
Poppeli LK	70	387	3,3
Poppeli LK	49	376	4,5
Poppeli LK	78	384	3,6
Poppeli LK	73	396	4,8
Poppeli LK	46	367	3,9
Poppeli LK	70	396	3,9
Hajonta	10	31	0,5
Keskiarvo	67	394	4,0

Hajonta	12	24	0,7
Keskiarvo	70	402	6,3
Puulaji	taivutuslujuus (N/mm²)	Tiheys (kg/m³)	Kosteus (%)
Koivu	175	665	5,3
Koivu	174	747	5,6
Koivu	167	750	5,8
Koivu	119	596	5,7
Koivu	131	563	5,3
Koivu	140	612	5,6
Koivu	83	510	5,2
Koivu	85	520	5,0
Koivu	101	542	5,1
Koivu	106	575	5,2
Koivu	125	580	5,2
Koivu	162	627	5,1
Hajonta	33	79	0,3
Keskiarvo	131	607	5,3

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm²)	Tiheys (kg/m³)	Kosteus (%)
Koivu LK	88	594	3,1
Koivu LK	62	531	2,4
Koivu LK	95	508	2,1
Koivu LK	101	543	2,5
Koivu LK	51	545	3,1
Koivu LK	25	577	2,2
Koivu LK	84	560	2,3
Koivu LK	60	542	2,4
Hajonta	26	27	0,4
Keskiarvo	71	550	2,5

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm²)	Tiheys (kg/m³)	Kosteus (%)
Mänty	124	586	6,0
Mänty	111	533	5,6
Mänty	84	545	5,8
Mänty	78	550	6,1
Mänty	87	544	5,7
Mänty	100	544	5,9
Mänty	112	488	5,5
Mänty	107	594	6,1
Hajonta	16	33	0,2
Keskiarvo	100	548	5,8

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm²)	Tiheys (kg/m³)	Kosteus (%)
Mänty LK	78	453	4,2
Mänty LK	74	414	4,9
Mänty LK	69	399	4,9
Mänty LK	63	414	4,9
Hajonta	6	23	0,3
Keskiarvo	71	420	4,7

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Lehtikuusi	86	537	
Lehtikuusi	79	529	
Lehtikuusi	131	719	
Lehtikuusi	141	697	
Lehtikuusi	78	546	8
Lehtikuusi	80	559	9,9
Lehtikuusi	79	556	5,9
Lehtikuusi	103	580	5,8
Lehtikuusi	86	566	5,8
Hajonta	24	70	1,8
Keskiarvo	96	588	7,1

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Tervalep-	83	500	6,6
Tervalep-	59	375	6,3
Tervalep-	83	440	6,3
Tervalep-	91	462	6,7
Tervalep-	84	465	6,6
Tervalep-	130	587	6,2
Hajonta	23	70	0,2
Keskiarvo	88	472	6,5

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Tuija	55	327	4,5
Tuija	37	305	4,8
Tuija	37	303	4,7
Tuija	41	310	4,5
Tuija	50	321	4,9
Tuija	48	327	5,4
Tuija	64	318	5,1

Tuija 56 320 5,2

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Kuusi	65	400	6,4
Kuusi	121	575	6,2
Kuusi	95	547	6,5
Kuusi	83	428	6,6
Kuusi	92	449	6,0
Kuusi	120	544	6,1
Hajonta	22	74	0,2
Keskiarvo	96	491	6,3

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Paulownia	47	260	7,1
Paulownia	50	277	7,4
Paulownia	47	279	7,8
Paulownia	42	271	7,6
Paulownia	37	298	7,7
Paulownia	39	295	7,5
Hajonta	5	14	0,2
Keskiarvo	44	280	7,5

Puulaji	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Apassi LK	38	358	6,5
Apassi LK	34	346	6,6
Apassi LK	29	367	6,6
Apassi LK	29	268	6,3
Apassi LK	28	266	6,4
Hajonta	4	50	0,1
Keskiarvo	32	321	6,5

Tuija	48	313	5,6
Tuija	68	321	4,8
Hajonta	11	8	0,4
Keskiarvo	50	317	5,0

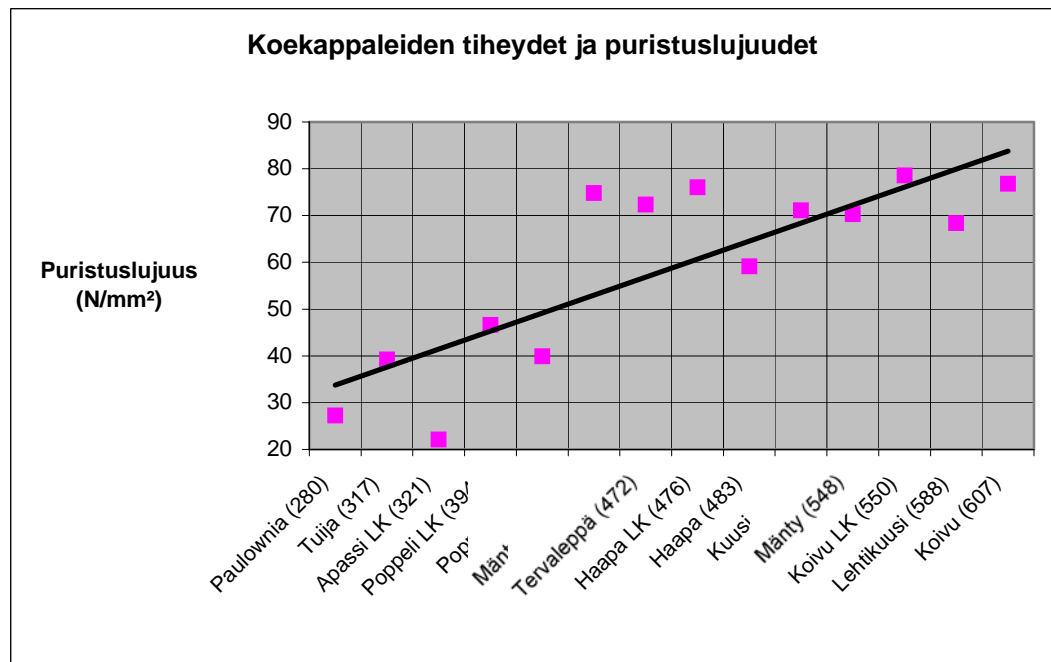
7.2.2 Puristuslujuus

Taulukosta kolme on nähtävissä hajontaa puristuslujuuden osalta. Korrelaatiokertoimeksi tuli lähes 0,9 , mikä osoittaa sen, että tiheydellä on merkittävä vaikutus puristuslujuuteen. On myös huomattava, kuinka lämpökäsittely vaikuttaa korrelaatiokertoimeen heikentävästi. Kun kertoimen laskee niin, ettei oteta huomioon lämpökäsittelyjen puiden arvoja, kertoimeksi tulisi 0,914, eli tiheyden riippuvuus puristuslujuuteen parantuisi.

$$\text{Korrelaatiokerroin: } \frac{n \times \sum x_i \times y_i - \sum x_i \times \sum y_i}{\sqrt{n \times \sum x_i^2 - (\sum y_i)^2} \times \sqrt{n \times \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} = 0,849$$

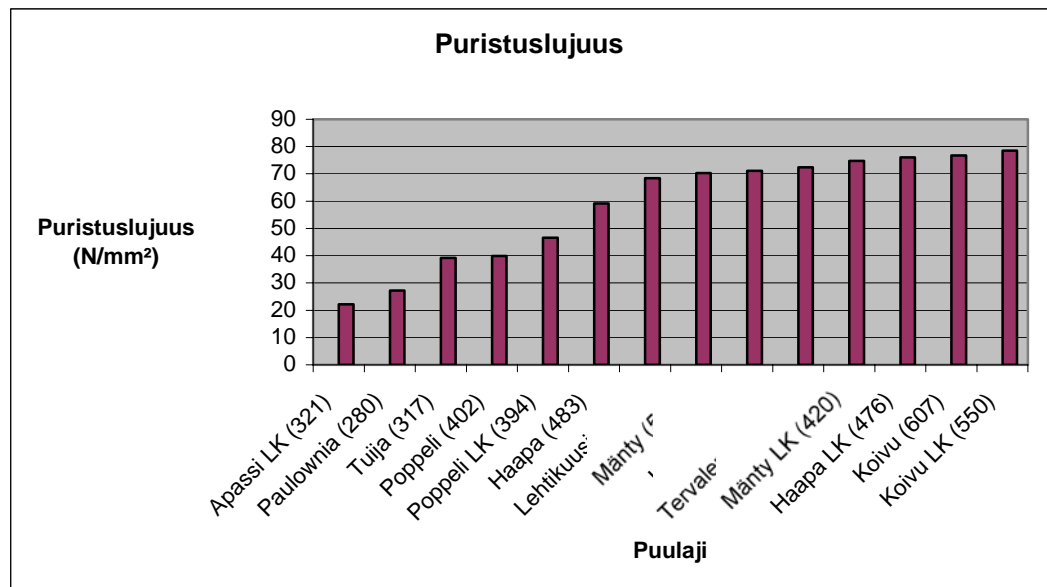
Tervalepän puristuslujuus oli käsittelemättömien puiden osalta ylitse muiden, kun otetaan huomioon tervalepän pienempi tiheys. Taulukosta 4 huomaa, kuinka haavan ja männyn osalta lämpökäsittely on parantanut puristuslujuutta puuaineen tiheyteen verrattaessa.

TAULUKKO 4. Koekappaleiden tiheydet ja puristuslujuudet



Puristuslujuuden osalta lujuudet olivat aikalailla tasavertaisia, kuten taulukosta 5 nähdään. Havupuidenkaan osalta ei tullut merkittäviä lujuus eroja ja ainoastaan tuija jäi kauemmaksi muiden havupuiden tuloksista. Tähän on merkittävin syy tuijan puuaineksen huomattavasti pienempi tiheys. Paulownian ja poppelin osalta puristuslujuudet olivat heikoimpia, eivätkä ne näin ollen hyvin sovellu puristuslujuutta vaativiin kohteisiin.

TAULUKKO 5. Puristuslujuus



Taulukosta 6 on nähtävissä koivun ja kuusen puuaineksen puristuslujuudessa olevan eniten hajontaa. Hajonnan laajuutta selittää osaltaan näiden puiden tiheyksissäkin olevat eroavaisuudet, mutta osasyynä voivat myös olla koekappaleissa mahdollisesti olleet oksat tai halkeamat.

TAULUKKO 6. Puristuslujuudet puulajeittain

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Haapa	62
Haapa	62
Haapa	60
Haapa	58
Haapa	56
Haapa	55
Haapa	60
Haapa	59
Hajonta	3
Keskiarvo	59

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Poppeli	46
Poppeli	38
Poppeli	40
Poppeli	41
Poppeli	41
Poppeli	34
Poppeli	42
Poppeli	41
Poppeli	36
Poppeli	37
Poppeli	43
Poppeli	41
Hajonta	3
Keskiarvo	40

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Koivu	44
Koivu	73
Koivu	101
Koivu	89
Hajonta	25
Keskiarvo	77

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Haapa LK	80
Haapa LK	70
Haapa LK	78
Hajonta	5
Keskiarvo	76

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Poppeli LK	42
Poppeli LK	44
Poppeli LK	52
Poppeli LK	40
Poppeli LK	50
Poppeli LK	52
Hajonta	5
Keskiarvo	47

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Koivu LK	103
Koivu LK	119
Koivu LK	78
Koivu LK	54
Koivu LK	54
Koivu LK	64
Hajonta	27
Keskiarvo	79

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Mänty	78
Mänty	67
Mänty	68
Mänty	75
Mänty	68
Mänty	67
Hajonta	5
Keskiarvo	70

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Mänty LK	83
Mänty LK	83
Mänty LK	62
Mänty LK	64
Mänty LK	83
Mänty LK	87
Mänty LK	61
Mänty LK	74
Hajonta	11
Keskiarvo	75

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Lehtikuusi	64
Lehtikuusi	72
Lehtikuusi	65
Lehtikuusi	70
Lehtikuusi	67
Lehtikuusi	72
Hajonta	4
Keskiarvo	68

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Kuusi	52
Kuusi	105
Kuusi	50
Kuusi	51
Kuusi	104
Kuusi	64
Hajonta	26
Keskiarvo	71

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Tervaleppä	87
Tervaleppä	57
Hajonta	21
Keskiarvo	72

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm ²)
Paulownia	32
Paulownia	27
Paulownia	26
Paulownia	30
Paulownia	27
Paulownia	26
Paulownia	23
Paulownia	28
Paulownia	25
Paulownia	29
Paulownia	27
Hajonta	3
Keskiarvo	27

Puulaji	Puristuslujuus (N/mm²)
Tuija	33
Tuija	42
Tuija	39
Tuija	40
Tuija	41
Tuija	36
Tuija	41
Tuija	41
Hajonta	3
Keskiarvo	39

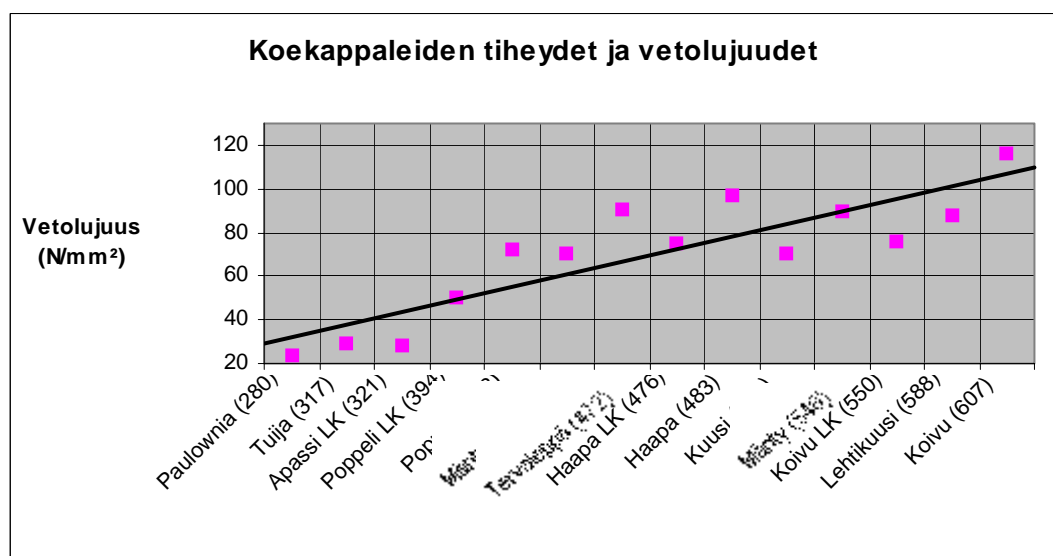
Puulaji	Puristuslujuus (N/mm²)
Apassi LK	20
Apassi LK	23
Apassi LK	22
Apassi LK	26
Apassi LK	19
Apassi LK	24
Hajonta	2
Keskiarvo	22

7.2.3 Vetolujuus

Vetolujuuden osalta lujuusarvojen hajonta on huomattavasti pienempää, kuin puristuslujuuden osalta. Korrelaatiokerroin on vetolujuudenkin osalta vahva, joten tiheyden merkitys vetolujuuteenkin on suuri. Haapa ja tervaleppä olivat niiden pienempään tiheyteen verrattaessa vetolujuudeltaan kaikkein vahvimpia, kuten taulukosta 7 on nähtävissä. On myös huomattava, ettei lämpökäsittelyllä ole haavan ja poppelin osalta merkittävää vaikutusta puulajin vetolujuuteen. Männyn osalta lämpökäsittely jopa paransi vetolujuutta verrattaessa sitä tiheyden suhteen, mutta suoraan lujuusarvoja katsottaessa on käsittelemätön mänty kuitenkin vahvempaa. Koivulla oli tässäkin lujuustestissä kaikkein suurimmat erot vertaillaessa lämpökäsittelyn ja käsittelemättömän puuaineksen lujuuksia. Käsittelemättömän koivun vetolujuus oli kuitenkin testatuista puulajeista parhain. Tiheydeltään pienin puulaji, paulownia, oli vetolujuuden osalta suhteellisen vahvaa tiheyteen verrattaessa. Lujuusarvoja suoraan vertaillaessa paulownia jää kuitenkin jo suhteellisen kauas esimerkiksi poppelin lujuusarvoista.

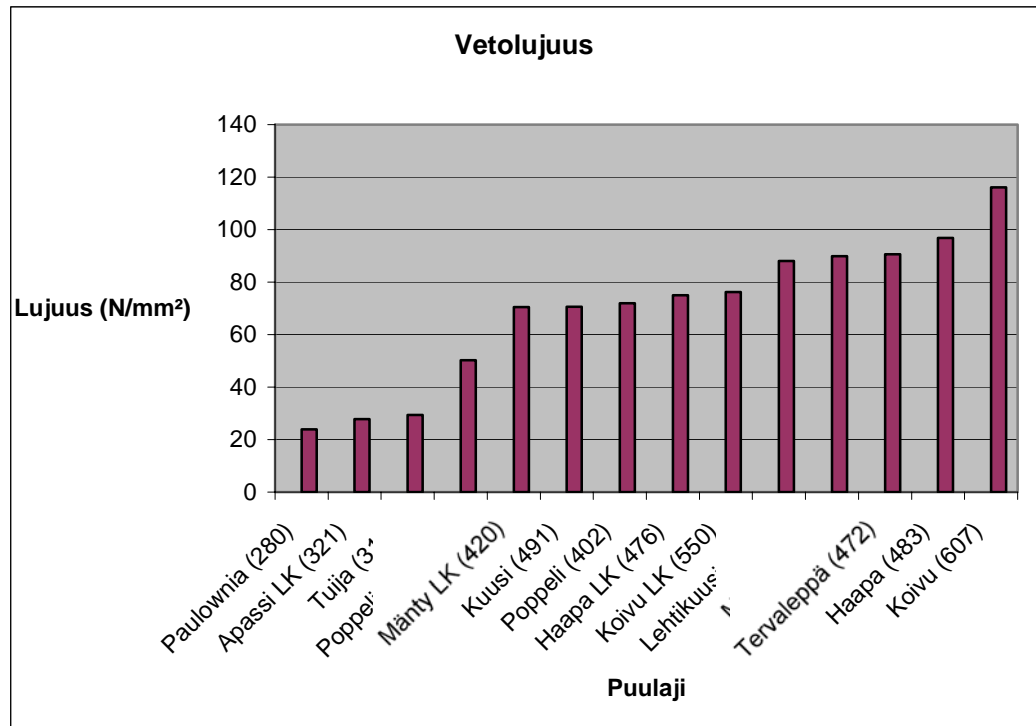
$$\text{Korrelaatiokerroin} = \frac{n \times \sum x_i \times y_i - \sum x_i \times \sum y_i}{\sqrt{n \times \sum x_i^2 - (\sum y_i)^2} \times \sqrt{n \times \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} = 0,969$$

TAULUKKO 7. Koekappaleiden tiheydet ja vetolujuudet



Vetolujuudenkin osalta on nähtävissä taulukosta 8, kuinka tervalepän puuaines on haavan kanssa lähimpänä koivun lujuus arvoja. Havupuiden osalta on kuusen puuaines männyn ja lehtikuusen puuainesta jonkin verran heikompaa.

TAULUKKO 8. Vetolujuus



Lämpökäsittelyjen puiden vetolujuudessa on taulukosta 9 nähtävissä, että lämpökäsittelyn jälkeen lujuudet ovat puuaineksessa tasaisemmin. Lujuusarvojen hajonta on lämpökäsittelyillä pienempi kuin saman puulajin käsittelemättömällä puuaineksella. Poikkeuksena kuitenkin lämpökäsittely mänty.

TAULUKKO 9. Vetolujuudet puulajeittain

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Haapa	77
Haapa	67
Haapa	87
Haapa	101
Haapa	75
Haapa	123
Haapa	93
Haapa	132
Haapa	116
Hajonta	23
Keskiarvo	97

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Haapa LK	76
Haapa LK	65
Haapa LK	89
Haapa LK	65
Haapa LK	80
Hajonta	10
Keskiarvo	75

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Poppeli	81
Poppeli	81
Poppeli	86
Poppeli	44
Poppeli	60
Poppeli	91
Poppeli	94
Poppeli	64
Poppeli	81
Poppeli	28
Poppeli	83
Hajonta	21
Keskiarvo	72

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Poppeli LK	43
Poppeli LK	54
Poppeli LK	43
Poppeli LK	57
Poppeli LK	54
Hajonta	7
Keskiarvo	50

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Koivu	73
Koivu	126
Koivu	119
Koivu	147
Hajonta	31
Keskiarvo	116

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Mänty	79
Mänty	98
Mänty	103
Mänty	79
Hajonta	13
Keskiarvo	90

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Lehtikuusi	104
Lehtikuusi	140
Lehtikuusi	64
Lehtikuusi	81
Lehtikuusi	75
Lehtikuusi	77
Lehtikuusi	65
Lehtikuusi	107
Lehtikuusi	98
Lehtikuusi	68
Hajonta	24
Keskiarvo	88

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Koivu LK	82
Koivu LK	103
Koivu LK	74
Koivu LK	65
Koivu LK	85
Koivu LK	49
Hajonta	18
Keskiarvo	76

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Mänty LK	66
Mänty LK	97
Mänty LK	98
Mänty LK	90
Mänty LK	78
Mänty LK	63
Mänty LK	48
Mänty LK	42
Mänty LK	52
Hajonta	21
Keskiarvo	70

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Kuusi	86
Kuusi	36
Kuusi	91
Kuusi	55
Kuusi	60
Kuusi	73
Kuusi	81
Kuusi	84
Hajonta	19
Keskiarvo	71

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Tervaleppä	91
Tervaleppä	60
Tervaleppä	99
Tervaleppä	92
Tervaleppä	114
Tervaleppä	89
Hajonta	18
Keskiarvo	91

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Paulownia	26
Paulownia	22
Paulownia	24
Paulownia	26
Paulownia	21
Hajonta	2
Keskiarvo	24

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Tuija	38
Tuija	21
Hajonta	12
Keskiarvo	30

Puulaji	Vetolujuus (N/mm ²)
Apassi LK	31
Apassi LK	24
Apassi LK	25
Apassi LK	31
Hajonta	4
Keskiarvo	28

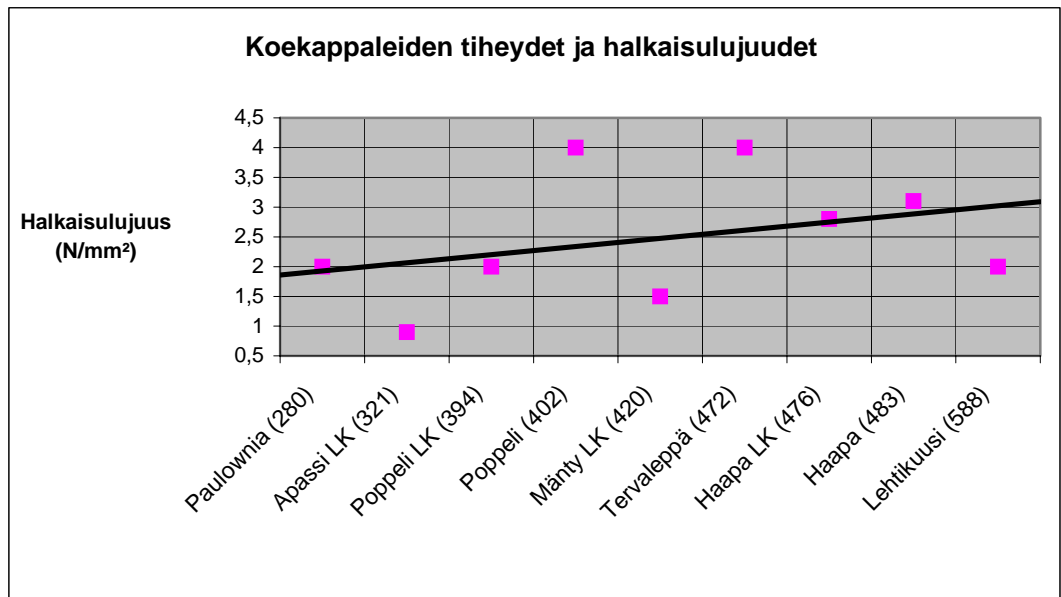
7.2.4 Halkaisulujuus

Halkaisulujuuden osalta ei ole havaittavissa, että tiheys olisi merkittävä tekijä puuaineksen halkeavuuden kestävyuteen. Korrelaatiokertoimeksi tuli vain 0,3 mikä viittaa siihen, ettei tiheydellä ole juuri vaikutusta halkaisulujuuteen. Tähän saattaa kuitenkin olla osa syynä se, että halkaisutestissä oli mukana lämpökäsitellyjä puulajeja lähes puolet testatuista.

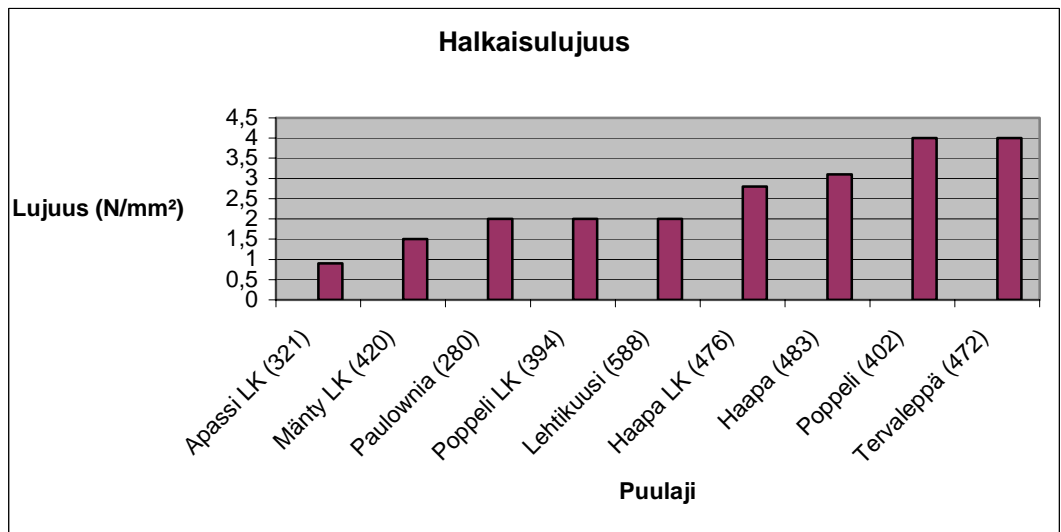
$$\text{Korrelaatiokerroin} = \frac{n \times \sum x_i \times y_i - \sum x_i \times \sum y_i}{\sqrt{n \times \sum x_i^2 - (\sum y_i)^2} \times \sqrt{n \times \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} = 0,332$$

Halkaisulujuustestissä verrattiin lähinnä Genetrade Wood Products Oy:n haluamia puulajeja. Lähinnä haluttiin saada tuloksia miten, lämpökäsittely vaikuttaa haavan ja poppelin puuainekseen sekä miten uusi puuaines, paulownia, kestää halkaisua. Kuten taulukosta 10 nähdään, poppelilla lämpökäsittely heikentää puun halkaisulujuutta melkoisesti. Poppelilla kuitenkin ei puuaineksen tiheys pienene lämpökäsittelyssä merkittävästi. Lämpökäsittelyn vaikutus poppelin ja männyn puuainekseen alentavasti vaikuttaa siihen, että ne halkeavat esimerkiksi naulattaessa tai ruuvattaessa helpommin kuin käsittelemättömät puut. Haavan osalta ei lämpökäsittelyn vaikutus näyttäisi olevan niin suuri. Heikon halkaisulujuuden takia olisi syytä tehdä esiporaus reiät niitä ruuvattaessa, jotta vältyttäisiin turhalta puutavaran halkeilulta. Paulownia halkaisulujuus on sen tiheyteen nähden hyvä. Lehtikuusen halkaisulujuus ei ole kovinkaan hyvä, joten esiporaukset ovat syytä tehdä halkeavuuden ehkäisemiseksi. Tervaleppä ja poppeli kestää vertailuista puulajeista parhaiten halkaisua, kuten taulukosta 11 voidaan katsoa.

TAULUKKO 10. Koekappaleiden tiheydet ja halkaisulujuudet



TAULUKKO 11. Halkaisulujuus



TAULUKKO 12. Halkaisulujuudet puulajeittain

Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)	Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)	Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)
Haapa	3,14	Haapa LK	3,0	Apassi LK	1,1
Haapa	3,21	Haapa LK	2,9	Apassi LK	0,6
Haapa	3,29	Haapa LK	3,0	Apassi LK	0,7
Haapa	3,08	Haapa LK	2,1	Apassi LK	0,9
Haapa	2,71	Haapa LK	2,5	Apassi LK	0,9
Haapa	2,96	Haapa LK	2,8	Apassi LK	0,9
Haapa	2,99	Haapa LK	3,0	Hajonta	0,2
Hajonta	0,2	Hajonta	0,3	Keskiarvo	1
Keskiarvo	3	Keskiarvo	3		

Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)	Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)	Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)
Poppeli	4,1	Poppeli LK	2,0	Lehtikuusi	1,9
Poppeli	4,0	Poppeli LK	2,0	Lehtikuusi	1,5
Poppeli	3,9	Poppeli LK	1,9	Lehtikuusi	2,1
Poppeli	3,8	Poppeli LK	2,0	Lehtikuusi	1,9
Poppeli	3,9	Poppeli LK	1,9	Lehtikuusi	2,3
Poppeli	4,3	Poppeli LK	2,0	Hajonta	0,3
Poppeli	4,2	Poppeli LK	2,1	Keskiarvo	2
Hajonta	0,2	Hajonta	0,1		
Keskiarvo	4	Keskiarvo	2		

Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)	Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)	Puulaji	Halkaisulujuus (N/mm ²)
Tervalep- pä	3,9	Paulownia	1,8	Mänty LK	1,4
Tervalep- pä	4,1	Paulownia	2,1	Mänty LK	1,5
Tervalep- pä	4,1	Paulownia	2,2	Mänty LK	1,6
Tervalep- pä	3,9	Paulownia	1,8	Hajonta	0,1
Tervalep- pä	3,6	Paulownia	2,2	Keskiarvo	2
Tervalep- pä	4,3	Paulownia	2,1		

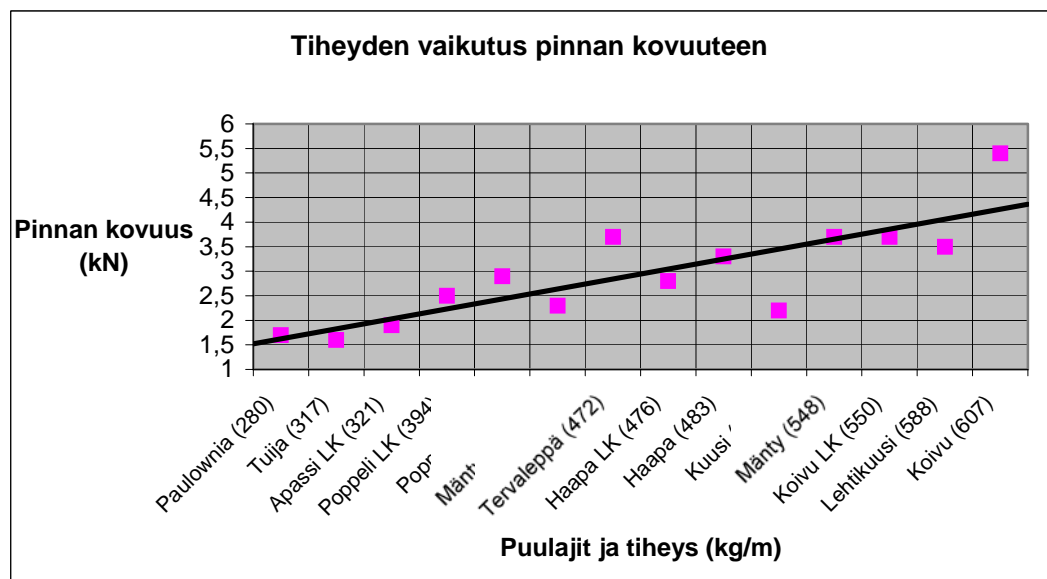
pä			
Tervalep- pä	4,4	Paulownia	1,9
Tervalep- pä	3,4	Paulownia	1,9
Hajonta	0,4	Paulownia	2,1
Keskiarvo	4	Hajonta	0,2
		Keskiarvo	2

7.2.5 Kovuus

Pinnan kovuutta mitattiin Janka-testillä. Pinnankovuutta tarvitaan valittaessa kulu- tusta kestäviä pintoja, kuten lattia materiaalit tai työtasot. Kuten taulukosta 13. voi nähdä on pinnankovuudeltaan koivu ja tervaleppä kestävimpiä testatuista puula- jeista. Puuaineen tiheys vaikuttaa myös pinnankovuuteen, sillä korrelaatiokerto- meksi tuli lähes 0,9. Poppelin pinnankovuus on tiheyteen verrattaessa suhteellisen hyvä, eikä poppelimilla myöskään lämpökäsittely alenna merkittävästi sen pinnan- kovuutta.

$$\text{Korrelaatiokerroin} = \frac{n \times \Sigma x_i \times y_i - \Sigma x_i \times \Sigma y_i}{\sqrt{n \times \Sigma x_i^2 - (\Sigma y_i)^2} \times \sqrt{n \times \Sigma y_i^2 - (\Sigma y_i)^2}} = 0,857$$

TAULUKKO 13. Tiheyden vaikutus pinnan kovuuteen

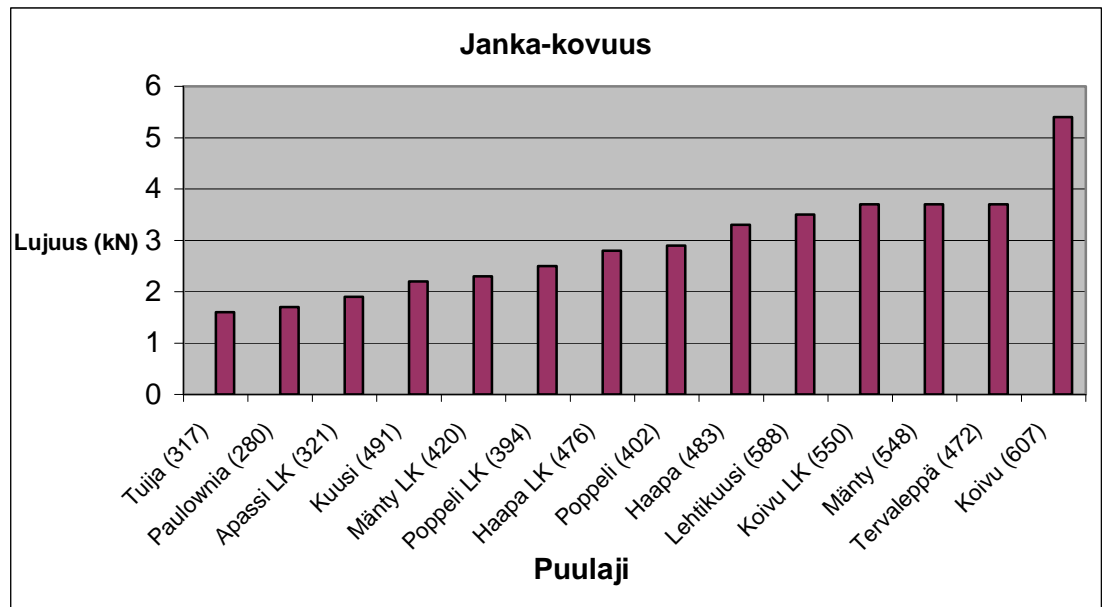


Tuloksista on nähtävissä, että tervaleppä oli lujuusominaisuuksiltaan lähimpänä koivun lujuuksia varsinkin, kun verrataan lujuuksia puuaineen tiheyteen. Puuaineen tiheyteen verrattaessa saadaan paremmin selville niiden suhteelliset lujuuserot. Jos tiedetään, mitä puun lujuusominaisuuksia ja lujuuksia jokin tietty

kohde vaatii ja mihin puuta tarvitaan, on tarpeellista ottaa puhtaasti lujuusarvoiltaan sopivin puulaji kyseiseen kohteeseen.

Taulukosta 14 voidaan todeta, että koivun pinnan kovuus on selvästi parempaa kuin muiden puulajien. Tervaleppä on männyn ja lehtikuusen kanssa pinnankovuudeltaan samaa tasoa. Taulukosta voidaan edelleen huomata, kuinka nopeasti tükkin mittaan kasvava paulownia puun puuaines ei ole kovaa puuta. Tämä on suoraan verrannollinen paulownian nopeaan kasvuun, jolloin sen tiheys jää melko pieneksi.

TAULUKKO 14. Janka-kovuus



Taulukosta 15 on nähtävissä koivun pinnan lujuuksissa olevan eniten hajontaa. Poppelin ja haavan osalta pinnan lujuudet olivat huomattavasti tasalaatuisemmat, vaikkakin koivun lujuudet olivat huomattavasti paremmat. Paulownian ja tuijan pinnan kovuudet vastaavat kuusen lujuus arvoja, vaikka kuusella olivatkin hiveneen paremmat tulokset. Lämpökäsittelyn vaikutus pinnan kovuuteen, pienentää hieman lujuutta (taulukko 15).

TAULUKKO 15. Kovuudet puulajeittain

Puulaji	kovuus (kN)
Haapa	3,7
Haapa	3,2
Haapa	2,8
Haapa	3,0
Haapa	3,6
Haapa	3,6
Haapa	3,3
Haapa	3,5
Haapa	2,6
Haapa	3,4
Haapa	3,4
Haapa	3,3
Hajonta	0,3
Keskiarvo	3,3

Puulaji	kovuus (kN)
Haapa LK	2,4
Haapa LK	2,1
Haapa LK	2,3
Haapa LK	2,6
Haapa LK	3,3
Haapa LK	2,5
Haapa LK	2,3
Haapa LK	2,8
Haapa LK	2,3
Haapa LK	4,2
Haapa LK	3,9
Hajonta	0,7
Keskiarvo	2,8

Puulaji	kovuus (kN)
Poppeli	2,0
Poppeli	2,3
Poppeli	2,9
Poppeli	3,2
Poppeli	3,3
Poppeli	2,9
Poppeli	2,7
Poppeli	3,3
Poppeli	2,8
Poppeli	3,3
Poppeli	3,5
Poppeli	2,8
Poppeli	2,3
Poppeli	3,0
Hajonta	0,4
Keskiarvo	2,9

Puulaji	kovuus (kN)
Poppeli LK	2,4
Poppeli LK	2,9
Poppeli LK	2,6
Poppeli LK	2,5
Poppeli LK	2,5
Poppeli LK	2,8
Poppeli LK	2,2
Poppeli LK	2,3
Poppeli LK	2,3
Poppeli LK	2,5
Hajonta	0,2
Keskiarvo	2,5

Puulaji	kovuus (kN)
Koivu	6,3
Koivu	8,4
Koivu	8,2
Koivu	4,7
Koivu	5,3
Koivu	4,7
Koivu	4,1
Koivu	4,5
Koivu	5,4
Koivu	3,5
Koivu	4,5
Hajonta	1,6
Keskiarvo	5,4

Puulaji	kovuus (kN)
Koivu LK	3,1
Koivu LK	2,3
Koivu LK	5,3
Koivu LK	5,6
Koivu LK	2,4
Hajonta	1,6
Keskiarvo	3,7

Puulaji	kovuus (kN)
Mänty	2,7
Mänty	4,5
Mänty	3,1
Mänty	3,5
Mänty	3,6
Mänty	4,0
Mänty	4,5
Hajonta	0,7
Keskiarvo	3,7

Puulaji	kovuus (kN)
Mänty LK	2,7
Mänty LK	2,3
Mänty LK	2,1
Mänty LK	2,3
Hajonta	0,3
Keskiarvo	2,3

Puulaji	kovuus (kN)
Lehtikuusi	3,9
Lehtikuusi	3,4
Lehtikuusi	3,4
Lehtikuusi	3,4
Hajonta	0,2
Keskiarvo	3,5

Puulaji	kovuus (kN)
Kuusi	2,3
Kuusi	2,2
Kuusi	2,2
Hajonta	0,1
Keskiarvo	2,2

Puulaji	kovuus (kN)
Tervaleppä	3,0
Tervaleppä	3,3
Tervaleppä	3,7
Tervaleppä	3,6
Tervaleppä	5,1
Hajonta	0,8
Keskiarvo	3,7

Puulaji	kovuus (kN)
Paulownia	1,7
Paulownia	1,7
Paulownia	1,6
Paulownia	1,5
Paulownia	2,1
Paulownia	1,7
Hajonta	0,2
Keskiarvo	1,7

Puulaji	kovuus (kN)
Tuija	1,6
Tuija	1,4
Tuija	1,7
Tuija	2,0
Tuija	1,4
Tuija	1,4
Tuija	1,7
Tuija	1,5
Tuija	1,6
Tuija	1,8
Hajonta	0,2
Keskiarvo	1,6

Puulaji	kovuus (kN)
Apassi LK	2,1
Apassi LK	1,6
Apassi LK	2,1
Apassi LK	1,9
Apassi LK	2,0
Hajonta	0,2
Keskiarvo	1,9

7.2.6 Vaneri

Vaneri testeissä vertailtiin kiinalaisen poppelivanerin lujuuksia Suomessa valmistettavien havu- ja koivuvanereiden lujuuksiin. Perusvanereina tutkittiin havu- ja poppelivanereiden lujuuksia ja filmipinnoitettujen vanereiden osalta poppeli- ja koivuvanereita.

Perus vanereiden osalta tarkoituksena oli testata Kiinasta toimitettavan vanerin lujuutta vastaavaan kotimaiseen verrattuna. Kotimaiseksi vaneriksi valittiin havuvaneri, koska sen lujuusarvot olivat massiivipuuta testattaessakin huomattavasti lähempänä poppelia kuin koivua. Poppelivanerinäytteet olivat aika pieniä, joten havuvanerista tehtiin samankokoiset näytteet. Tästä johtuen taivutuslujuutta tehtäessä tuli jänneväliksi hieman vaadittua lyhyempi. Tämä saattaa hieman vääristää lujuus tuloksia, mutta toisaalta näiden kahden vertailuun ne ovat suhteellisen päteviä.

Taulukosta 16 voi katsoa, että poppelivaneri on taivutus lujuudeltaan hivenen havuvaneria heikompaa. Tiheydet ovat aika lähellä toisiaan, mutta jonkin verran tuloksien luettavuuteen vaikuttaa vanereiden kosteusero. Vanerikäsikirjan tiedoista katsottuna 12 mm havuvanerin lujuus on kuitenkin jonkin verran parempaa, vaikka niissäkin tuloksissa havuvanerin kosteus on 10-12 prosenttia. Poppelivaneri ei ollut parasta luokkaa vaan lähinnä pakkauslaatikoiden rakentamiseen soveltuvaa laatua. Näin ollen havuvaneriksikin valittiin IV-laadun vaneri. Tuloksia vertaillen ja käyttötarkoitusta mietittäessä tultiin siihen tulokseen, että vaikka poppelivaneri lujuudeltaan on hieman heikompaa, on se varsin hyvää esimerkiksi juuri kuljetuslaatikoiden valmistukseen tai käytettäväksi suojavanereina. Visuaalisesti katsottuna oli havuvaneri huomattavasti tasalaatuisemman näköinen. Poppelivaneri oli valmistettu eripaksuisista viiluista, mikä osaltaan oli haittaavana tekijänä vanereita visuaalisesti tarkasteltaessa. Käyttötarkoitukseen nähden ajaa poppelivaneri kuitenkin asiansa mainiosti. Taulukosta 16 on nähtävissä tiheyden hajonnan olevan suuri poppelivanereissa. Tähän ei kuitenkaan ole syytä vanerin kosteus vaan juuri eripaksuiset viilut, jotka on puristimessa puristettu vanerin nimellispaksuuteen.

TAULUKKO 16. Perusvanereiden taivutuslujuudet

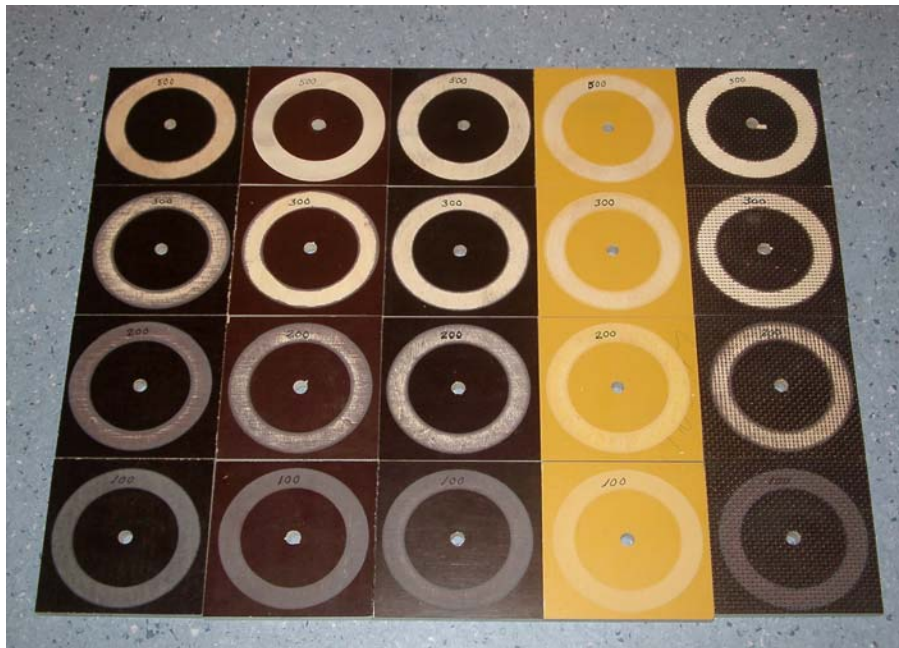
Vaneri	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Poppeli	23,9	453	11,6
Poppeli	24,0	451	11,8
Poppeli	17,7	459	11,5
Poppeli	16,3	456	11,8
Poppeli	17,7	416	12,1
Poppeli	18,4	428	11,2
Poppeli	18,7	481	12,1
Poppeli	16,7	453	12,2
Poppeli	17,7	454	11,8
Poppeli	17,8	461	11,4
Hajonta	3	18	0,3
Keskiarvo	19	451	12
Vaneri	taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Havu	29,1	455	6,1
Havu	30,8	480	6,6
Havu	29,8	465	5,4
Havu	30,5	475	5,8
Havu	28,7	465	5,8
Havu	33,1	467	5,9
Hajonta	2	9	0,4
Keskiarvo	30	468	6

Filmipintaissa vanereissa testattiin pinnoitteiden kestävyyttä sekä tehtiin taivutustestit. Taivutustestejä tehtäessä oli taas poppelivanerit kooltaan hieman liian pieniä, joten koivuvanerit sahattiin samoihin mittoihin. Taivutuslujuuden osalta oli koivun lujuudet odotetusti paremmat, mikä osaltaan selittyy jo koivuvanerin huomattavasti korkeammasta tiheydestä. Kosteudet vanereilla olivat aikalailla saman suuruiset, joten se ei vaikuttanut niiden väliseen lujuuseroon. Taulukosta 17 näkee, kuinka taivutuslujuus on verrannollinen tiheyteen.

TAULUKKO 17. Filmipintaisten vanereiden taivutuslujuudet

Vaneri	Taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Koivu (toinen pinta filmi ja toinen viira)	90,0	744	7,0
	96,6	750	7,1
	107,5	779	7,2
	93,4	739	7,3
	98,1	724	7,2
	94,7	750	7,0
Hajonta	6	18	0,1
Keskiarvo	97	748	7
Vaneri	Taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Koivu (molemmat pinnat filmipintaista)	90,9	716	5,6
	88,1	721	5,5
	92,5	730	5,5
	90,3	733	5,3
	80,9	731	5,4
	64,1	727	5,5
Hajonta	11	7	0,1
Keskiarvo	84	726	5
Vaneri	Taivutuslujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
Poppeli (molemmat pinnat filmipintaista)	53,8	478	5,9
	43,1	498	5,9
	43,1	470	5,7
	38,4	444	5,8
	59,1	457	5,9
	70,0	519	5,9
Hajonta	12	27	0,1
Keskiarvo	51	478	6

Filmipinnan kulutuskestävyyden testaus tehtiin Taber 5130 Abraser-testilaitteella, josta oli selitetty jo aiemmin. Kuvasta 26. näkyy filmipintojen kulumiset, kun ne olivat pyörineet 100-500 kierrosta. Kierros määrät alkavat alhaalta 100:sta kierroksesta ja päättyvät yläriivin 500:n kierrokseen. Kuvasta näkyy, kuinka 200-300 kierroksen välillä, alkaa filmipinnoite olla jo kokonaan kulunut. Keskimmaisessa pystyrivissä on poppelivaneri, ja sen molemmilla puolilla on koivuvaneri, jonka molemmat pinnat oli pinnoitettu filmipinnoitteella. Reunimmaiseta vanerit on koivuvanerin, jonka toinen puoli oli viirapintainen ja toinen puoli oli filmipinnoitettu (vasenreuna). Kuvasta voi nähdä, että viira-/filmipintaisten vanerin filmi kesti kulutusta parhaiten. Poppelivanerin pinnoite kesti kuitenkin suhteellisen hyvin, ja oikeastaan jo filmipinnan väri kertoi, ettei poppelivanerin filmipinta ollut yhtä paksu kuin parhaiten kestäneen vanerin filmipinta. Poppelivanerin kulutuskestävyys ja taivutuslujuus tiheyteen nähden olivat kohtuullisen hyvät. Tulosten perusteella pystyy esimerkiksi filmipinnoitettua poppelivaneria käyttämään kohteissa, joissa vaneripinnoitteelta ja vanerilta vaaditaan kohtalaista kestävyttä. Valumuoteissa poppelivaneri toimii ja on hieman kevyempää käsitelläkin esimerkiksi rakennustyömaalla kuin vastaava koivuvaneri, koska poppelivanerin tiheys on pienempi.

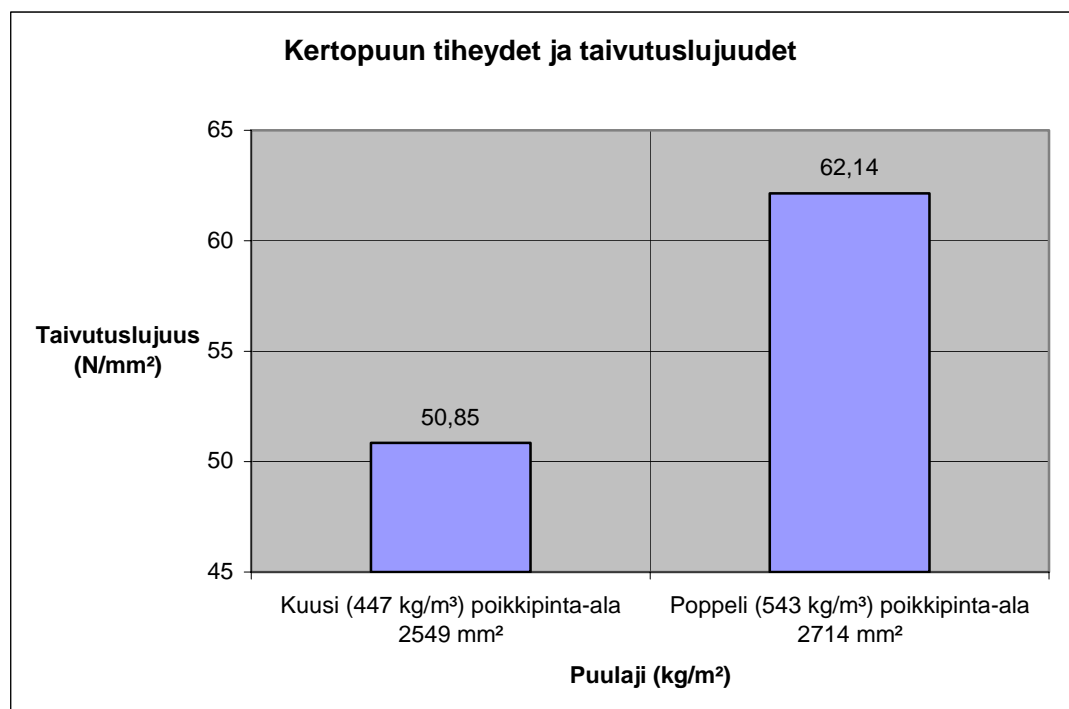


KUVIO 26. Filmipinnoitettujen vanereiden kuluminen. Kuvassa keskellä on poppelivaneri ja sen molemmin puolin koivuvanerit. Reunimmaiseta on filmi/viira koivuvanerin ja poppelivanerin molemmin puolin filmi/filmi koivuvaneri.

7.2.7 Kertopuu

Kertopuiden vertailussa oli poppelista valmistettu kertopuu ja Suomessa valmistettu havukertopuu. Testinä tehtiin taivutustesti kolmipistetaivutuksena. Testattujen kertopuiden kosteudet olivat samaa suuruusluokkaa, joten sen suhteen lujuuksissa ei ollut pohdittavaa. Tiheydeltään poppelikertopuu oli painavampaa ja se on osaltaan syynä siihen, että poppelikertopuu oli lujudeltaan parempaa. Hirveän suureksi kertopuiden taivutuslujuuksien erot eivät tulleet. Yksi syy poppelikertopuun suurempaan taivutuslujuuteen oli poppelista valmistetun kertopuun korkeampi tiheys, kuten taulukosta 18 nähdään. Toinen tekijä lujuuksen vaikuttavaan eroon oli poppelikertopuussa oleva suurempi viilumäärä. Poppelikertopuussa oli 20 viilukerrosta, kun vastaavasti havukertopuussa oli 13 viilukerrosta, kuten kuvista 18 ja 19 voi todeta. Kun viilukerroksia on enemmän on siinä luonnollisesti myös liimasaumoja enemmän. Nämä seikat yhdessä tekevät poppelikertopuusta myös tiheämpää, ja lujuusominaisuudetkin paranevat huomattavasti.

TAULUKKO 18. Kertopuun tiheydet ja taivutuslujuudet



7.3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vertailussa lämpökäsittelyn vaikutuksesta puun lujuuteen oli mielenkiintoista verrata etenkin kahden saman sukuisen puulajin, poppeli ja haapa, käyttäytymistä. Tarkoituksena oli vertailla, miten lämpökäsittely vaikuttaa puiden lujuus ominaisuuksiin sekä tiheyteen.

Haapa ja poppeli kestivät lämpökäsittelyn jälkeen taivutusta lähes yhtä paljon kuin ilman käsittelyäkin. Koivulla ja männyllä taas taivutuslujuus putosi lämpökäsittelyn seurauksena melkoisesti, kuten taulukosta 14 näkee. Syitä tähän voi olla lukuisia, ja yksi selitys voi olla, että koivu ja mänty ovat saaneet lämpökäsittelyn kuumemmassa ja ne ovat saattaneet saada kestoaltaankin pidemmän käsittelyn. Haapa ja poppeli, saman sukuisina puulajeina, taas saattavat olla jo rakenteeltaan sellaisia, että lämpökäsittely ei merkittävästi muuta niiden rakennetta. Lämpökäsittelyssä tapahtuvat muutokset heikentävät nähtävästi mäntyä ja koivua enemmän. On myös nähtävissä tiheyden muutoksien olevan huomattavasti merkittävämpiä koivun ja männyn osalta. Jo nämä tiheyden pienenemiset ovat osasyynä lujuuksien suurempaan alenemiseen. Tuloksista kuitenkin käy selville, etteivät tiheyden muutokset ole ainoat syyt taivutuslujuuden heikkenemiselle. Männyn tiheys laskee lämpökäsittelyssä koivua paljon enemmän, mutta lujuudet eivät koivuun verrattuna samassa suhteessa. Männyn suurempi tiheyden pieneneminen on osittain männystä lämpökäsittelyssä poistuvan pihkan syytä.

Haapaa ja poppelia on käytetty myös saunan laudepuuna. Tutkimuksessa olikin tarkoituksena myös selvittää, tarvitaanko lauteiden mitoitusta muuttua käytettäessä lämpökäsitteltyä haapaa tai poppelia. Tuloksista on nähtävissä, ettei haavan osalta ole syytä muuttaa mitoitusta, koska lämpökäsittely ei pienennä taivutuslujuutta haavalla kuin kymmenisen prosenttia ja poppelilla vielä vähemmän. Lämpökäsittely muuttaa puun käyttäytymistä hajoamisvaiheessa, jolloin se ei enää oikeastaan varoittele hajoamisestaan. Normaalisti puu on siitä hyvä materiaali, että se varoittelee hivenen aikaisemmin narinalla ja rasahduksilla, kun kappale on lähellä hajoamista. Lämpökäsittelyn koivun ja männyn käyttöä suunniteltaessa, jo valmiille käsittelemättömien puiden huonekalusarjoille, on syytä miettiä lisää tu-

kipuita tai muita mahdollisia rakenteellisia muutoksia. Noin huomattava taivutuslujuuden pieneneminen on jo riski kuluttajan turvallisuudelle, jos ei laiteta lisävahvikkeita.

Puristuslujuuden vertailussa oli merkittävää, että kaikilla näillä puulajeilla lämpökäsittelyn vaikutuksesta puristuslujuus kasvoi. Edelleen tuloksista näkee lämpökäsittelyn vaikutuksen puristuslujuuteen eroavan toisistaan merkittävästi. Haavan ja poppelin arvot paranivat huomattavasti enemmän kuin koivun ja männyn. Tuloksia tutkaillessa huomaa, kuinka lämpökäsittelyn haavan puristuslujuus nousee koivun ja männyn lujuuksien tasolle. Puulajien erilaisen tiheyden vuoksi paranevat haavan ja poppelin puristuslujuudet suhteellisesti enemmän kuin koivun ja männyn. Lämpökäsittely nähtävästi parantaa puiden puristuslujuutta ja jos lämpökäsittelyssä puuaineen tiheys ei alene merkittävästi, antaa se näin ollen paremman hyödyn.

Kaikkien lämpökäsitteltyjen puulajien tulokset alenivat vetokokeessa. Kaikkein merkittävin lujouden pieneneminen tapahtui koivulla. Männyllä taas ei vetolujuudessa tapahtunut merkittävää muutosta. Vetolujuudessa haavan ja poppelin osalta ei ole nähtävissä aiemmin havaittua hyötyä tiheyden vähäisestä alenemisesta lämpökäsittelyssä.

Lämpökäsittelyn seurauksena on myös halkaisulujuuden pieneneminen. Poppelin halkaisulujuus oli suhteellisen hyvä, mutta lämpökäsittelyn seurauksena sen halkaisulujuus tippui huomattavasti. Ruuvauksia suunniteltaessa on hyvä tehdä esi-reiät, jotta ei syntyisi turhia halkeamisia. Muutenkin ruuvatessa ja naulatessa lämpökäsitteltyjä puita on huomioitava käsittelemättömiä puita enemmän, kuinka reu-nasta puuaihio on hyvä kiinnittää.

Pinnankovuustestissä olisi voinut luulla, että lujudet paranisivat kuten puristus-testissäkin. Näin ei kuitenkaan ole, vaan kovuuskin aleni kaikilla puulajeilla. Männyn ja koivun lujudet alenivat suhteellisesti enemmän kuin haavan ja poppelin.

TAULUKKO 14. Lämpökäsittelyn vaikutus puun ominaisuuksiin

Vertailu käsittelemättömän ja lämpökäsitellyn puun lujuuksista keskiarvojen mukaan

Puulaji	Taivutus lujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)	Janka kovuus (kN)	Puristuslujuus (N/mm ²)	Vetolujuus (N/mm ²)
Haapa	95,3	483	6,5	3,3	59,1	96,9
Haapa LK	86,8	476	3,4	2,8	76,0	75,0
Lämpökäsitellyn puun lujuusero(%) käsittelemättömään puuhun						
	< 8,9	< 1,4	< 47,7	< 15,2	> 22,2	< 22,5

Puulaji	Taivutus lujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)	Janka kovuus (kN)	Puristuslujuus (N/mm ²)	Vetolujuus (N/mm ²)
Poppeli	70,5	402	6,2	2,9	39,9	71,9
Poppeli LK	66,7	394	4,0	2,5	46,6	50,2
Lämpökäsitellyn puun ero(%) käsittelemättömään						
	< 5,3	< 2,0	< 35,5	< 13,8	> 14,4	< 30,2

Puulaji	Taivutus lujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)	Janka kovuus (kN)	Puristuslujuus (N/mm ²)	Vetolujuus (N/mm ²)
Koivu	130,7	607	5,3	5,4	76,8	116,1
Koivu LK	70,6	550	2,5	3,7	78,6	76,3
Lämpökäsitellyn puun ero(%) käsittelemättömään						
	< 46,0	< 9,4	< 52,8	< 31,5	> 2,3	< 34,3

Puulaji	Taivutus lujuus (N/mm ²)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)	Janka kovuus (kN)	Puristuslujuus (N/mm ²)	Vetolujuus (N/mm ²)
Mänty	100,4	548	5,8	3,7	70,3	89,8
Mänty LK	70,7	420	4,7	2,3	74,8	84,0
Lämpökäsitellyn puun ero(%) käsittelemättömään						
	< 29,6	< 23,4	< 19,0	< 37,8	> 6,0	< 6,5

Puulajeja vertaillaessa oli tarkoituksena tutkia niiden eri lujuusominaisuuksia. Tiheyden vaikutus puun lujuuteen oli suuri. Testattavien puiden kosteudet olivat samaa suuruusluokkaa, joten ne eivät olleet merkittävässä asemassa puiden lujuusarvoja vertailtaessa. Tiheydeltään painavin oli koivu ja kevyin oli paulownia. Tuloksista on nähtävissä, että tervaleppä oli lujuusominaisuuksiltaan lähimpänä koivun lujuuksia, varsinkin kun verrataan lujuuksia puuaineen tiheyteen. Haapa oli lujuusominaisuuksiltaan lähellä tervaleppäen lujuuksia ja männyn puuainekseen verrattaessa haapa oli yhtä lujaa. Haavan männyn osalta oli vain pieniä eroavaisuuksia, ja nekin menivät osittain ristiin toisten lujuusarvojen kanssa. Kuusen puuaines oli haapaan verrattaessa heikompaa, vaikka ne tiheydeltään olivatkin oikeastaan yhtä tiheitä.

Kahden samansukuisen puulajin, haavan ja poppelin, lujuusarvojen vertailussa oli nähtävissä, kuinka haapa oli selvästi poppelia vahvempaa. Näin ollen ei ole ollenkaan selvää, että saman sukuiset puulajit olisivat automaattisesti verrattavissa lujuusarvojen kanssa keskenään. Poppelin tiheys oli haapaa huomattavasti pienempää, havaittiin myös, että poppelin osalta jokunen testikappale pääsi lähelle haavan lujuuksia. Paulownian ja tuijan puuainekset olivat vertailtavista puuaineksista kaikkein tasalaatuisemmat tiheyden suhteen. Aiemmin esitellyistä lujuus taulukoista voi nähdä, ettei niiden tiheys arvoissa ollut oikeastaan lainkaan hajontaa.

Paulownia oli uusi tuttavuus, ja se herättikin heti mielenkiinnon. Siitä ei ollut tietoa kovinkaan paljoa ja hankaluutena oli vielä sen useat erilaiset nimitykset, joten tiedon keruu oli aika vaivalloista. Paulownia puuta käsiteltäessä havaittiin heti sen keveys ja siitä helposti erottuvat putkilosolut. Paulownian lujuusarvoja tarkkailtaessa on nähtävissä, etteivät sen puristus- ja vetolujuudet ole kovinkaan kummoiset. Muissa testeissä sen lujuudet olivat tiheyteen verrattaessa varsin hyvät. Paulowniaa voi käyttää saunan rakentamisen raaka-aineena, mutta silloin on syytä mittaavaa tukipuita tiheämmälle. Paulownia olisi syytä myös käsitellä pinnankäsittelyaineella, koska sen puuaines on huokoista, jolloin siihen imeytyy helposti epäpuhtauksia.

Vaneri testauksien tuloksista on nähtävissä, ettei poppelivaneri ole havuvanerin tasoista taivutuslujuuden osalta. Poppelivaneri oli muutenkin visuaalisesti katsottuna huonolaatuisemman näköistä. Kuitenkaan Kiinasta tuotu poppelivaneri ei ole aivan käyttökeltvotonta, ja sitä voi hyvin käyttää esimerkiksi pakkauslaatikoiden valmistuksessa tai muussa vastaavassa tuotannossa, missä siltä ei vaadita suurta lujuutta. Tällaiseen käyttöön siitä voi hyvinkin tulla vahva kilpailija kotimaiselle havuvanerille, jos vaan rahtikustannukset eivät nouse kovinkaan suuriksi.

Filmipinnoitettujen vanereiden osalta ei ollut odotettavissakaan, että poppelivaneri olisi läheskään yhtä lujaa kuin kotimainen koivuvaneri. Kuitenkin on tuloksista nähtävissä, että tiheyteen verrattaessa oli poppelivanerin lujuudet melko hyviä. Filmipinnoitteisista vanereista oli tärkeämpää testata kiinasta tuodun poppelivanerin filmipinnoitteen kestävyyttä koivuvanerin vastaaviin. Vanereita silmäiltäessä oli nähtävissä poppeli vanerin filmipinnoitteen olevan hieman haaleamman väristä, mikä viittasi hieman siihen, ettei se ei olisi niin paksua kuin koivuvanereilla. Kuitenkaan kulutuskestävyyttä testattaessa siinä ei ollut kovinkaan suurta eroa kulutuskestävyyden kannalta. Aiemmin olleesta kuvasta 26 on nähtävissä, kuinka filmipinnoitteet kuluvat lähes jokaisesta vanerista puhki kierroksien 200-300 välillä. Näin ollen poppelivaneria voidaan filmipinnoitteensa kannalta käyttää siinä missä koivuvaneriakin. Filmipinnoitettu poppelivaneri oli myös visuaalisesti tasalaatuisen ja hyvin tehdyn näköistä. Poppelivanerin pienempi tiheys antaa sille tietyissä vaatimuksissa ja käyttökohteissa sekä käyttömukavuudessa enemmän mahdollisuuksia vallata markkinoita vastaavilta koivuvanerilta.

Kertopuiden osalta poppelikertopuu on hyvä vaihtoehto vastaavaan kotimaiseen havukertopuuhun verrattaessa. Poppelikertopuu oli kaikin puolin hyvälaatuista, eli se oli havukertopuun kanssa visuaalisestikin samalla tasolla.

8 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin puuaineiden lujuusominaisuuksia. Testattavia puulajeja oli 10, ja mukana oli myös joidenkin puulajien lämpökäsiteltyjä kappaleita. Lujuustestit ja pinnan kulutuskestävyystestit tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Puuaineksista testattiin taivutus-, veto-, puristus- ja halkaisulujuudet sekä pinnan kovuus, ja testilaitteena käytettiin Lahden ammattikorkeakoulun Alwetron-testauslaitetta. Lisäksi testattavana olivat Kiinasta toimitettujen poppelivanerin ja poppelikertopuun taivutuslujuudet. Poppelivanerin ja poppelikertopuun lujuuksia verrattiin niitä vastaaviin Suomessa valmistettuihin havuja koivuvanereihin. Filmipinnoitetuille vanereille tehtiin kulutuksenkestävyystestit Lahden ammattikorkeakoulun Taber 5130 Abraser-testauslaitteella.

Opinnäytetyö tehtiin Genetrade Wood Products Oy:lle, joka on suomalaisvirolainen puutavaran tuottaja ja viejä. Testejä tehtiin, jotta se saisi tietoa lämpökäsittelyn vaikutuksista puuaineen lujuuksiin sekä tietoa puidensa ja puutuotteidensa lujuusarvoista myynti- ja markkinointityön tueksi.

Tuloksista on nähtävissä lämpökäsittelyn vaikutuksia puuaineksen lujuusominaisuuksiin. Koivun ja männyn osalta taivutuslujuusarvojen ja myös tiheyden pienemiset olivat suurimmat, kun taas haavan ja poppelin puuaineksissa lämpökäsittelyn vaikutukset taivutuslujuuksiin olivat huomattavasti pienemmät. Haavan ja poppelin osalta ei siis ole syytä, ainakaan näiden tuloksien perusteella, ruveta esimerkiksi muuttamaan saunalauteiden mitoituksia. Lämpökäsitellyillä puilla kannattaa kuitenkin ruuvauksissa ja naulauksissa käyttää esireikien porausta ja välttää naulaamista kovin reunasta puuaihiota. Puristuslujuuden osalta lämpökäsittely paransi haavan ja poppelin lujuuksia, mutta koivun ja männyn osalta sillä ei oikeastaan ollut vaikutusta niiden lujuusarvoihin. Vetolujuuden lujuus arvoissa näkyy selvästi lämpökäsittelyn vaikutus, mikä alentaa puiden vetolujuutta.

Puulajien vertailussa koivun lujuudet olivat testatuista puulajeista parhaimmat. Koivun tiheyskin oli muita puita korkeampi, mikä osaltaan onkin syynä parempiin

lujuusarvoihin. Mänty, lehtikuusi, haapa ja tervaleppä olivat lujuuksiltaan lähes tulkoon yhtä lujia, vaikka niillä oli pieniä eroavaisuuksia eri lujuuksien tuloksissa. Tiheydeltään pienin testatuista puulajeista oli paulownia, mikä myös lujuusarvoiltaan oli heikoimmasta päästä. Tiheyteen verrattuna paulownia oli kuitenkin suhteellisen lujaa puuta, ja muutenkin sen puuaines oli lujuuksiltaan aika lailla tuijan veroista.

Vanereiden testituloksista on nähtävissä, etteivät kiinalaisen pinnoittamattoman poppelivanerin taivutuslujuudet ole aivan samaa luokkaa kuin vastaavan kotimaisen havuverin. Visuaalisesti poppelivaneri ei ollut kovin edustava eripaksuisten viilujen takia. Jos poppelivanerin käyttökohteena on esimerkiksi pakkauslaatikoiden valmistus teollisuudelle, ovat sen lujuusarvot riittävän suuret, ja se pystyy hyvin kilpailemaan havuvanerin asemasta.

Filmipinnoitettujen vanereiden vertailussa oli kotimainen koivuvaneri ja kiinalainen poppelivaneri. Filmipinnan kulutuskestävyydessä ei juuri eroja näiden vanereiden välillä syntynyt. Koivuvanerilla oli kulutuksenkestävyys hivenen parempaa, mutta erot olivat niin pienet, ettei niillä juuri ole käytännössä mitään vaikutusta. Taivutuslujuuksien testauksissa sai koivuvaneri odotetusti huomattavasti paremmat tulokset. Koivuvanerin tiheyskin oli 250-300 kg/m³ painavampaa, mikä on syynä sen parempiin taivutuslujuuden tuloksiin. Filmipinnan kulutuksen kestävyys oli poppelivanerilla kuitenkin sen verran hyvää ja taivutuslujuus tiheyteen nähden niin lujaa, että poppelivaneri voi vallata jonkin verran markkinoita filmipinnoitetulta koivuvanerilta. Pienemmän tiheyden takia on poppelivaneria myöskin helpompaa käsitellä, mikä on tietyissä rakennuskohteissa toivottu ominaisuus.

Kertopuista testattiin poppelikertopuu ja havukertopuu. Tuloksia katsottaessa nähdään poppelikertopuun paremmat taivutuslujuusarvot. Poppelikertopuu oli myös tiheydeltään painavampaa, ja siinä oli useampia viilukerroksia, jotka ovat osittain syynä sen parempiin lujuusarvoihin. Tuloksien perusteella on poppelikertopuulla vahva asema havukertopuun haastajana.

9 LÄHTEET

Alen, R. 1998. Metsä ja puu II. Tampere: Tammerpaino.

Bishop, P. 1999. 100 Woods. Marlborough: The Crowood Press Ltd.

Fagerstedt, K., Pellinen, K., Saranpää, P. & Timonen, T. 2004. Mikä puu - mistä puusta. Helsinki: Yliopistopaino.

Finnforest Kerto 2006. <http://www.finnforest.fi/default.asp?path=156;157;13390>. 10.2.2007.

Forest 2007. <http://www.forest.fi>. 24.3.2007.

Halme, R. 2006. Paulownia puu. rauno.halme@thomart.fi 9.8.2006.

Keinänen, E. & Tahvanainen, V. 1995. Pohjolan jalot puut. Kuopio: Suomen Graafiset Palvelut Oy Ltd.

Koponen, S., Huovinen, A. & Kanerva, P. 1998. Metsä ja puu II. Tampere: Tammerpaino.

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Paulownia 2007.

http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics_manual/volume_2/paulownia/tomen_tosa.htm. 26.3.2007.

Puukeskus 2007. <http://w3.puukeskus.upm->

kymme-

[ne.com/pks/internet/pksintern2.nsf/AllByLanguageID/EC9B0DDDD4575BA6C2256AAE0041F3B3_1?OpenDocument](http://w3.puukeskus.upm.com/pks/internet/pksintern2.nsf/AllByLanguageID/EC9B0DDDD4575BA6C2256AAE0041F3B3_1?OpenDocument). 24.3.2007.

Puuproffa 2007. <http://www.puuproffa.fi/arkisto/puulajit.php>. 25.3.2007.

- Rantala, S. & Anttila, T. 2004. Lehtikuusen kasvatus ja käyttö. Otavan kirjapaino Oy, Keuruu
- Salmi, J. 1972. Suomalaisia ja ulkomaisia puulajeja, osa 1. 2. muuttamaton painos Helsinki: Yliopistopaino.
- Salmi, J. 1977. Suomalaisia ja ulkomaisia puulajeja, osa 2. 2. muuttamaton painos. Helsinki: Yliopistopaino.
- Salmi, J. 1977. Suomalaisia ja ulkomaisia puulajeja, osa 3. 2. muuttamaton painos Helsinki: Yliopistopaino.
- Salmi, M. 2003. Puuraaka-aineoppi. Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan laitos. Oppimateriaali.
- Sarvas, R. 1964. Havupuut. Porvoo: Werner Söderström Oy.
- ThermoWood käsikirja 2003.
http://www.thermowood.fi/data.php/200401/914711200401161255_TWk.asikirja.pdf. 14.9.2003.
- TheWoodbook. 2002. Lontoo: Royal Botanic Gardens Kew.
- Tillman 2007. <http://www.tillman.fi/tuotteet/tuija/>. 24.3.2007.
- Vanerikäsikirja 2001. Metsäteollisuus ry. Lahti: Markprint Oy.