

Sami Pirkola

**KOTIMAISET PUULAJIT JA PUUMUOVIKOMPOSIITTI
RUMPUKAPULOIDEN MATERIAALINA**

**Opinnäytetyö
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Puutekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2010**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Tekniikka	Aika 27.5.2010	Tekijä Sami Pirkola
Koulutusohjelma Puutekniikka		
Työn nimi Kotimaiset puulajit ja puumuovikomposiitti rumpukapuloiden materiaalina		
Työn ohjaaja Kaija Arhio, yliopettaja		Sivumäärä [51 + 24]
Työelämäohjaaja Jukka Saarela, markkinointipäällikkö		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Suomessa menestyvien puulajien ominaisuuksia ja niiden käyttökelpoisuutta rumpukapuloiden materiaalina. Toisena yhtä tärkeänä aiheena oli tutkia mahdollisuutta käyttää rumpukapuloissa puumuovikomposiittia ja näistä erityisesti luonnonkuitulujitteista kestopuovikomposiittia (NFC).</p> <p>Materiaalien lujuuksia testattiin, joiden pohjalta tehtiin päätelmiä materiaalien kestävydestä rumpukapulana. Materiaaleille suoritettiin taivutuslujuuden sekä taivutuskimmokertoimen määritystestit, jotka ovat hyvin oleellisia testejä rumpukapulan kestävyden mittaamisessa. Testit suoritettiin yleisimmille puusta valmistetuille rumpukapuloille. Materiaalit olivat: euroopan valkopyökki, hikkori, japanin tammi sekä sokerivaahtera. Lisäksi samat testit suoritettiin valituille uusille rumpukapulamateriaaleille. Nämä materiaalit olivat: pyökki, saarni, tammi, liimattu rakenne, vaahtera ja NFC. Taivutuslujuuden ja taivutuskimmokertoimen lisäksi mitattiin kaikkien materiaalien kosteus sekä tiheys.</p> <p>Tulokset kertovat jo olemassa olevien rumpukapuloiden olevan erityisen lujia. Suomessa menestyvistä puulajeista pystytään kuitenkin valmistamaan kohtuullisia rumpukapuloita suorasyisestä saarnista ja tammista. NFC:stä ei pystytä valmistamaan kestäviä rumpukapuloita ilman tuotekehitystä.</p>		

Asiasanat

Kimokerroin, puumuovikomposiitti, rumpukapulat, ruiskuvalu, taivutuslujuus

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska	Date 27.5.2010	Author Sami Pirkola
Degree programme Wood technology		
Name of thesis Domestic wood species and wood plastic composite as a material of drumsticks		
Instructor Kaija Arhio, senior teacher		Pages [51+24]
Supervisor Jukka Saarela, marketing manager		
<p>The purpose of this thesis was to determine the properties of tree species that thrive in Finland and whether they would make a good material of drumsticks. Another equally important topic was to research the possibility of using wood plastic composite in drumsticks and especially natural fiber composite (NFC).</p> <p>The strength of the materials was tested, and on the basis of the results conclusions were made on the durability of the materials as a material of drumsticks. The bending strength and modulus of elasticity of the materials were tested, as they are very important when we need to research the durability of a material of drumsticks. Tests were made to the most common woods which are used as a material of drumsticks. Materials were: European hornbeam, hickory, Japanese oak and sugar maple. In addition, the same tests were made to the chosen new materials. These materials were: beech, ash, oak, glued structure and NFC. In addition to bending strength and modulus of elasticity tests the moisture and density of all materials were measured.</p> <p>The results showed that nowadays drumsticks are very strong and durable. However, it is possible to make fairly durable drumsticks of tree species that thrive in Finland, such as oak and ash that have straight grain patterns. NFC isn't good as a material of drumsticks without research and development.</p>		
<p>Key words Bending strength, drumsticks, modulus of elasticity, natural fiber composite, injection molding, wood plastic composite</p>		

ESIPUHE

Haluan kiittää opinnäytetyössäni erityisesti seuraavia henkilöitä. Kiitokset filosofian lisensiaatti Kari Pieniniemelle ja laboratorioinsinööri Jari Mäkelälle tuesta materiaalien testauksessa, koneenkuljettaja Risto Keskitalolle opastuksesta metallisorvin käytössä, tekniselle muotoilijalle Heikki Koivurovalle ja Flaxwoodin tekniselle johtajalle Jukka-Pekka Karppiselle puumuovikomposiitin materiaalin tuntemuksesta, insinööriopiskelija Teemu Pirkolalle rumpujen soiton teknisestä tietämyksestä, Ylivieskan Tietopalvelu ORIGOn henkilökunnalle hyvästä palvelusta, kauppatieteiden tohtori Kaija Arhiolle työn ohjauksesta ja markkinointipäällikkö Jukka Saarelalle työn mahdollistamisesta. Lisäksi kiitokset perheelleni, ystävilleni ja muille minua tukeneille henkilöille.

Ylivieskassa 27.5.2010 _____

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ESIPUHE
SISÄLLYS
LYHENTEET JA KÄSITTEET

1 JOHDANTO	1
2 RUMPUKAPULAT TUOTTEENA	3
2.1 Rumpukapuloiden valmistajat	4
2.2 Rumpukapuloissa käytetyt materiaalit	5
2.2.1 Japanin tammi (Lat. <i>Quercus grosseserrata</i>)	5
2.2.2 Hikkori (Lat. <i>Hickoria alba</i> , - <i>glabra</i> , - <i>laciniosa</i> , - <i>ovata</i>)	6
2.2.3 Pekaanipähkinäpuu (Lat. <i>Hicoria pecan</i>)	6
2.2.4 Euroopan valkopyökki, Hornbeam (Lat. <i>Carpinus betulus</i>)	7
2.2.5 Sokerivaahtera (Lat. <i>Acer saccharum</i>)	8
2.2.6 Yhteenveto käytetyistä puumateriaaleista	8
2.3 Rumpujen soittotyylit	9
2.3.1 Soittoasento	10
2.3.2 Kapulan kuluminen soittaessa	11
3 PUUN LUJUUSOMINAISUUDET	14
3.1 Murtolujuus	15
3.2 Iskutaivutuslujuus	15
3.3 Taivutuslujuus ja taivutuskimmomoduuli	16
4 RUMPUKAPULOIDEN TUOTEKEHITYS	18
4.1 Puumuovikomposiitti	19
4.1.1 Puumuovikomposiitti musiikkiteollisuudessa	20
4.1.2 Ruiskuvalu	22
4.2 Kotimaiset jalopuut	25
4.2.1 Vaahtera (Lat. <i>Acer campestre</i>)	26
4.2.2 Tammi (Lat. <i>Quercus petraea</i>)	26
4.2.3 Pyökki (Lat. <i>Fagus sylvatica</i>)	27
4.2.4 Saarni (Lat. <i>Fraxinus excelsior</i>)	28
4.2.5 Yhteenveto puulajien ominaisuuksista	29
4.3 Liimattu rakenne	30
5 TESTAUS	32
5.1 Kuivaus	33
5.2 Pintakosteus	33
5.3 Testimateriaalien kosteudet	34
5.4 Standardin SFS-EN 1451 soveltaminen	35
5.5 Taivutuslujuuden ja kimmokertoimen määrittäminen	40
6 TULOKSET	43
7 LOPPUPÄÄTELMÄT	48
LÄHTEET	
LIITTEET	

LYHENTEET JA KÄSITTEET

Rumpujen soittamisen peruselementit

Bassorumpu = Jalalla poljettava matalaääninen rumpujen peruselementti. Polkemiseen käytetään pedaalia. Hyvin nopeatempoisessa ja raskaassa musiikissa rumpua poljetaan molemmilla jaloilla, jolloin käytössä ovat tuplapedaalit.

Tom-tom = Rumpujen kannut, joita kutsutaan puhekielessä tomeiksi. Tomeja käytetään yleensä fillien soittamiseen. Isompia tomeja myös komppisoittamiseen.

Virveli = Rumpusetin osa, joka sijaitsee jalkojen välissä. Marssirummusta tuttu rämisävä ääni saadaan aikaan metallisista jousista, jotka nostetaan rumpujen alakalvoa vasten.

Rumpujen symbaalit

Symbaali = Puhekielessä rumpujen lautanen. Löytyy hyvin monia erilaisia ja erikoisia malleja riippuen symbaalin käyttötarkoituksesta.

China = Raskaan musiikin soittamiseen tarkoitettu sähisevä symbaali.

Crash = Fillisoittamiseen tarkoitettu ohut ja nopeasti syttyvä symbaali, jolla korostetaan iskuja. Kooltaan 13–20 tuumaa. Soitetaan monesti tahtien vaihdon yhteydessä.

Hi-hat = Rumpusetin osa, joka koostuu kahdesta päällekkäistä symbaalista, joista toinen on käännetty ylösalaisin. Ylempää peltiä kutsutaan nimellä top ja alempaa peltiä nimellä bottom. Voidaan soittaa kapulalla lyöden tai jalan pedaalilla polkien. Puhekielessä hi-hatista käytetään termiä haikka.

Ride = Monipuolinen symbaali, jota käytetään yleisesti komppisoittamiseen. Kooltaan 18–22 tuumaa.

Splash = Lyhytsointinen fillisoittamiseen tarkoitettu crash-symbaali, joka on kooltaan 6-12 tuumaa.

Rumpujen soittaminen

Filli = Musiikin tyhjien kohtien tai tahdin vaihdosten täyttämistä erilaisilla rytmikuviolla. Esim. Kun siirrytään säkeistöstä kertosaakeeseen.

Komppi = Rythmi, joka säestää kappaleen melodiaa.

Puumuovikomposiitti

Komposiitti = Yleisnimi kaikille kahden tai useamman materiaalin yhdistelmille, joissa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole lienneet tai sulautuneet toisiinsa.

Puumuovikomposiitti = Yleistermi yhdistelmälle, jossa on käytetty muovia ja puuta, jotka on liitetty toisiinsa komposiittirakenteeksi.

NFC = Natural fiber composite

Puumuovikomposiittia, joka on valmistettu luonnonkuitulujitteisesta kestopuuvista.

WPC = Wood plastic composite

Englanninkielinen termi viittaa puumuovikomposiittiin, joka on valmistettu puujauhotäyteisestä kestopuuvista.

Muut

Lat. = Latinankielinen nimi

1 JOHDANTO

Rumpukapuloiden valmistus on keskittynyt sinne, missä rumpukapuloihin soveltuvia puulajeja kasvaa luontaisesti. Tämän takia suurimmat valmistajat ovat Amerikassa sekä Japanissa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Suomessa menestyvien puulajien sekä puupohjaisten komposiittimateriaalien ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia rumpukapuloiden valmistuksessa. Mahdollisuuksien mukaan, ja mikäli tulokset ovat hyviä, voidaan myöhemmin harkita rumpukapuloiden valmistamista Suomessa suomalaisista puu- tai komposiittimateriaaleista.

Tarkoitukseni oli keskittyä siihen, mitä hyvältä rumpukapulalta vaaditaan ja selvittää, minkälainen materiaali täyttää nämä vaatimukset. Rumpukapula on materiaalina haastava nimenomaan sen erittäin suurten lujuusvaatimusten takia. Elastisuuden ja hyvän vaimennuskyvyn takia puu on erityisen hyvä materiaali käytettäväksi rumpukapuloissa. Ongelmana on kuitenkin se, että puu ei kestä. Muiden alumiinista tai hiilikuidusta valmistettujen rumpukapuloiden ongelmana on, että ne kestävät, mutta niillä soittaessa rumpujen kalvot ja lautaset eli symbaalit eivät kestä. Kalvojen tai symbaalien uusiminen tulee huomattavasti kalliimmaksi kuin uusien kapuloiden hankinta. Lisäksi alumiinista tai hiilikuidusta valmistetut kapulat eivät vaimenna ääntä niin hyvin kuin puumateriaali, minkä takia lyönnit tuntuvat vaimeana epämiellyttävänä tärinänä kädessä.

Puun hyvinä puolina voidaan myös pitää sen soinnillisia ominaisuuksia. Lisäksi puuta on miellyttävä pitää kädessä ja siitä saa hyvän otteen. Toisin on monilla muilla vähemmän käytetyillä materiaaleilla. Puun ylivoimasta kertoo myös se, että perinteisessä rumpukapuloita myyvässä liikkeessä on tuskin tarjollakaan muita kuin puusta valmistettuja kapuloita.

Keskeisimpänä tavoitteenani on saada kehitettyä rumpukapulat, jotka ovat kestävämpiä kuin amerikkalaisesta hikkori –nimisestä puulajista valmistetut rumpukapulat. Hikkorista valmistettuja kapuloita pidetään maailman parhaina. Millään muulla varsinkaan Suomessa kasvavalla puulajilla ei päästä hikkorin lujuusominaisuuksi-

en lähelle ellei materiaalia paranneta jollain tavalla. Näitä parannuskeinoja ovat käyttämäni liimattu rakenne sekä puumuovikomposiitti.

Rumpukapulalta vaaditaan erityisesti iskunkestävyyttä, taivutuslujuutta, kovuutta sekä sitkeyttä. Rumpukapuloissa käytetyistä puumateriaaleista on niistä kertova kappale, jossa kuvataan tarkemmin materiaalien ominaisuuksia. Mukaan lähempään tarkasteluun on otettu yleisimmät rumpukapuloissa käytetyt puumateriaalit, jotka ovat: euroopan valkopyökki, hikkori, sokerivaahtera ja japanin valkotammi. Näitä materiaaleja verrataan valitsemini uusiin rumpukapulamateriaaleihin, jotka ovat: pyökki, saarni, tammi, liimattu tammi, vaahtera ja puumuovikomposiitti. Tärkeimpänä lähdetietona on käytetty Willam A. Lincolnin kirjaa *Worlds Wood in Colour*, josta löytyy lähes 300 maailmanlaajuisesti yleisimmän puulajin perustiedot sekä lujuusominaisuudet.

Parempi kuva rumpukapuloista saadaan, kun niitä käsitellään tarkemmin niiden käyttöympäristössään. Opinnäytetyössäni rumpukapuloita käsitellään rumpalin työvälineenä ja tarkastellaan, minkälaisiin rasituksiin ne joutuvat soittamisen aikana. Havainnollistavien kuvien pohjalta voidaan havaita miten rumpukapula kuluu tai rikkoutuu soittaessa sekä se, miten kulumista voidaan vähentää.

Käytännön testejä paremman kuvan kapuloiden lujuudesta sain tekemällä lujuustestejä. Nykyisiä olemassa olevia rumpukapulamateriaaleja verrattiin uusiin tutkiemiini materiaalivaihtoehtoihin. Taivutuslujuuden sekä taivutuskimmokertoimen arvot testattiin kaikilla materiaaleilla. Rumpukapulatesteissä käytettiin suoraan jo olemassa olevia rumpukapuloita. Muiden materiaalien osalta testissä olivat halkaisijaltaan samankokoiset eli noin 14 mm vahvuiset pyörökepit. Lisäksi mittasin kaikkien testimateriaalien kosteuden sekä tiheyden.

Halkaisijaltaan alle 20 mm pyörökepile ei ole olemassa standardia, jolla taivutuslujuus ja taivutuskimmokerroin voitaisiin määrittää. Tämän takia jouduin soveltaamaan standardia SFS-EN 14251 niin, että kaikki tekemäni tulokset olisivat kuitenkin vertailukelpoisia keskenään. Mäntypyörökepeillä tehdyillä kokeellisilla testeillä tekemäni standardin sovellus todettiin myös käytännössä toimivaksi.

2 RUMPUKAPULAT TUOTTEENA

Rumpukapuloita on valmistettu hyvin moneen erilaiseen käyttötarkoitukseen riippuen soittajan soittotyylisestä ja mielihaluista. Rumpukapuloiden pituus, halkaisija ja tipin eli kapulan pään muoto vaihtelevat. Materiaalina yleisemmin on suosittu Amerikan hikkoria puulajin erityisen hyvien kestävyysominaisuuksien vuoksi.

Toinen rumpukapuloissa paljon käytetty materiaali on valkotammi. Lisäksi on käytetty vaahteraa. Muita vähemmän yleisiä materiaaleja ovat nailon, lasikuitu, akryyli- ja hiilikuitu. Puumateriaali on kuitenkin ehdottomasti suosituin ja käytetyin. Perinteisen musiikkiliikkeen valikoimaan kuuluvat erimerkkiset hikkorikapulat, tammi- kapulat ja nailontippipäälysteiset hikkorikapulat. Lisäksi kevyempään ja äänettömämpään soittamiseen löytyy riisikepeiksi kutsuttuja useita pieniä puunsäikeitä sisältäviä rumpukapuloita sekä metallisäikeitä sisältäviä vispiläksi kutsuttuja rumpukapuloita. (KUVIOT 1 JA 2)



KUVIO 1. Perinteiset rumpukapulat, riisikepit ja vispilät (Musiikkitalo Ari Vähä)

2.1 Rumpukapuloiden valmistajat

Rumpukapuloita valmistetaan enimmäkseen hikkorista, minkä takia myös kapuloiden valmistus on keskittynyt Pohjois-Amerikkaan eli sinne, missä hikkoria kasvaa luontaisesti. Hikkorin lisäksi amerikkalaiset yritykset valmistavat rumpukapuloita myös vaahterasta. Pohjois-Amerikassa rumpukapuloita valmistavat muun muassa yritykset Vic Firth, Vater ja Pro-Mark. Yritysten tuotekatalogi sisältää hyvin monenlaisia rumpukapuloita monentyylisille soittajille aina bändisoitosta orkesterisoittamiseen. Kellopeleille ja orkesterin patarumpujen soittamiseen löytyy omat mallinsa kuten myös bändisoittamiseen erilaisia kapuloita, riisikeppejä ja vispilöitä.

Myöskään nuoria ei ole unohdettu ja heille mallistosta löytyy kevyempiä kapuloita. Oman lisänsä antavat ammattisoittajien suunnittelemat ja heidän omaan soittotyyliinsä soveltuvat signeeratut rumpukapulat. Rumpukapuloiden lisäksi yritykset tarjoavat erilaisia oheistuotteita, joita ovat erilaiset kapulalaukut, harjoitteluun tarkoitettut lyöntialustat ja Vic Firthillä jopa T-paidat. (Vic Firth 2010;Tama 2010; Pro-Mark 2010;Vater 2010.)

Euroopassa rumpukapuloita valmistavat englantilainen Millenium ja tshekiläinen Balbex. Balbex valmistaa rumpukapuloita enimmäkseen valkopyökistä, mutta myös hikkorikapulat kuuluvat sen tuotteisiin (LIITE 1). Euroopan ulkopuolelta tulee japanilainen Tama, joka on tunnettu erityisesti rumpujen valmistuksesta. Rumpujen ohella se valmistaa myös rumpukapuloita japanilaisesta tammesta ja hikkorista. Erikoisuutena Tamalta löytyy erittäin tyylikkäitä ja koristeltuja rumpukapuloita (KUVIO 2). Taman perinteisempää rumpukapulamallistoa liitteessä. (LIITE 2)

STREAM BEAT 

The design concept of the Stream Beat was inspired by a traditional Japanese art pattern, a carp leaping upstream.



KUVIO 2. Taman rumpukapulamalli (Tama 2010.)

2.2 Rumpukapuloissa käytetyt materiaalit

2.2.1 Japanin tammi (Lat. *Quercus grosseserrata*)

Japanin tammi kuuluu tammipuiden sukuun (Lat. Fagaceae). Sitä kasvaa erityisesti Japanin Hokkaidossa, joka on saari Japanin pohjoisosassa. Siellä ilmasto on Japanin pääsaarta eli Honshua leudompaa, minkä takia ilmasto soveltuu hyvin tammien kasvualueeksi. (Lincoln 1998, 192.)

Puutavara on vaaleata ja paljon heikompaa kuin amerikan tai euroopan valkotammi, vaikka puu kasvaa hitaasti. Puutavaralla on vaaleanruskea väri, mutta ne puut jotka kasvavat Japanin pääsaarella saarella Honshulla omaavat punertavan sävyn. Yleensä puu on suorasyistä ja oksatonta. Tiheys on noin 660 kg/m^3 12 %:n suhteellisessa kosteudessa. (Lincoln 1998,192.)

Puulla on keskinkertainen taivutus- ja murtolujuus. Taivutuslujuus on välillä 85–120 MPa ja murtolujuus välillä 35–55 MPa. Kovuuden puolesta puuaines on kuitenkin heikkoa arvon ollessa 10–12 kN/mm^2 . Iskutaivutuslujuus on myös heikkoa arvon ollessa 60–90 kJ/m^2 metriä. (Lincoln 1998,192.)

Manton osuus puuaineksesta on suuri ja se saattaa olla alttiina vain vähäisille koppakuoriaisten aiheuttamille tuhoille silloin kun puu on kaadettu tai sitä säilytetään sisällä yli 20 %:n suhteellisessa kosteudessa. Japanin tammea on helpompaa työstää käsin ja erilaisilla koneilla kuin muita valkotammilajeja johtuen puulajin alhaisesta tiheydestä. Sitä pystyy helposti naulaamaan, ruuvaamaan ja liimaamaan. Pintakäsittely ja kiillotus antavat erittäin hyvän lopputuloksen. (Lincoln 1998,192.)

Japanin tammea käytetään muun muassa huonekaluissa, puupaneeleissa, lattia-palkeissa, puusepäntöissä, veneissä ja puuhiilen valmistuksessa. Lisäksi sitä käytetään myös vanereiden valmistuksessa sekä sisä- että pintaviiluina. (Lincoln 1998,192.)

2.2.2 Hikkori (Lat. *Hickoria alba*, *-glabra*, *-laciniosa*, *-ovata*)

Hikkori kuuluu pähkinäpuiden sukuun (Lat. Juglandaceae). Hikkoria kasvaa luontaisesti Kanadan kaakkoisosissa ja itäisessä USA:ssa. Sydänpuu on ruskeaa tai punaisen ruskeaa, ja sitä myydään nimellä punainen hikkori. Mantoa myydään nimellä valkoinen hikkori. Puuaines on tyypillisesti suorasyistä, mutta se saattaa olla myös aaltoilevaa tai epäsäännöllistä ja jokseenkin karkearakenteista. Tiheys on välillä 700–900 kg/m³ keskiarvon ollessa noin 820 kg/m³ mitattuna 12 %:n suhteellisessa kosteudessa. (Lincoln 1998,114.)

Tiheys ja lujuus vaihtelevat puun kasvun mukaan. Puulajilla on korkea taivutus- ja murtolujuus sekä erinomaiset taivutusominaisuudet puuainesta kostuttaessa. Taivutuslujuus on välillä 120–175 MPa ja murtolujuus on välillä 55–85 MPa. Puuaineksella on korkea kovuus arvon ollessa välillä 15–20 kN/mm³. Iskutaivutuslujuus on erittäin korkea arvon ollessa yli 160 kJ/m². (Lincoln 1998,114.)

Kasvavat puut ja kaadetut tukit ovat alttiina hyvin paljon sarvijäärien tuhoille ja pintapuu myös kairakuoriaisten tuhoille. Tässä suhteessa puu on heikosti kestävä. Puuaines on jokseenkin hankala työstää ja se kuluttaa paljon teriä. Leikkauskulman on oltava vähintään 20 astetta työstettäessä epäsäännöllistä pintakuviota. Naulatessa vaaditaan esiporausta ja liimaus voi olla vaikeaa. Pintakäsittely ja kiillotus antavat hyvän lopputuloksen. (Lincoln 1998,114.)

Puuaineksesta valmistetaan muun muassa rumpukapuloita, haavipallo- ja baseballmailloja, kirveiden- ja kivihakkujenvarsia, vaellussauvoja ja auton sisustuksia. Hikkoria käytetään myös viilutettuna muun muassa vanerien pintaviiluina. (Lincoln 1998,114.)

2.2.3 Pekaanipähkinäpuu (Lat. *Hicoria pecan*)

Pekaanipähkinäpuu kuuluu pähkinäpuiden sukuun kuten hikkorikin. Sitä kasvaa luontaisesti USA:n kaakkoisosissa ja Meksikossa. Mantoa pidetään parempana kuin sydänpuuta. Sitä myydään nimellä valkoinen hikkori ja punaisenruskeaa sydänpuuta myydään nimellä punainen hikkori. Värillä ei kuitenkaan ole vaikutusta

lujuuteen. Puuaines on tyypillisesti suorasyistä, mutta se saattaa joskus olla myös aaltoilevaa tai epäsäännöllistä ja jokseenkin karkearakenteista. Tiheys on 750 kg/m^3 ja sen erottaa oikeasta hikkorista nimenomaan painon takia, mutta myös kapeista raidoista, jotka sijaitsevat tylppysolukossa ja näkyvät ydinsäteiden ja pitkien kevätpuusolujen välissä. Hikkorilla raita ilmenee vain ensimmäisen kevätpuusolukon jälkeen. (Lincoln 1998, 208.)

Pekaanipähkinäpuun lujuusominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin hikkorilla (Ks. kpl 2.2.2) kuten myös sen työstöominaisuudet ja käyttökohteet.

2.2.4 Euroopan valkopyökki, Hornbeam (Lat. *Carpinus betulus*)

Euroopan valkopyökki kuuluu koivukasvien sukuun (Lat. Betulaceae). Sitä kasvaa Euroopan lisäksi Isossa-Britanniassa, Vähä-Aasiassa eli Turkin Aasian puoleisessa osassa ja Iranissa. Sydänpuu on laimean valkoinen ja siinä on harmaita raitoja. Syykuviointi on yleensä epäsäännöllisiä ja siinä on kuvioita. Tiheys on 750 kg/m^3 . (Lincoln 1998, 117.)

Korkea tiheys antaa myös korkean taivutus- ja murtolujuuden. Taivutuslujuus on välillä 120–175 MPa ja murtolujuus on välillä 55–85 MPa. Puuaineella on keskinertainen kovuus ja iskulujuus sekä hyvät taivutusominaisuudet puuainesta kostutettaessa. Kovuus on välillä 12–15 kN/mm^3 ja iskutaivutuslujuus välillä 90–120 kJ/m^2 . Lisäksi puulajilla on erinomainen leikkauslujuus ja halkaisulujuus. (Lincoln 1998, 117.)

Tukit ovat alttiina sarvijäärien tuhoille ja pintapuu yleisille huonekalutuholaisille. Puuta on vaikea leikata ja se kuluttaa teriä melko paljon johtuen puun ominaisuuksista. Naulatessa vaaditaan esiporausta ja liimaaminen onnistuu tyydyttävästi. Pintakäsittely ja kiillotus antavat hyvän lopputuloksen. Euroopan valkopyökkiä käytetään rumpukapuloiden lisäksi muun muassa pianojen koskettimissa, viulujen talloissa, purjelaivoissa, puutappeina, vasaran varsissa, biljardikepeissä ja keiloissa. (Lincoln 1998, 117.)

2.2.5 Sokerivaahtera (Lat. *Acer saccharum*)

Sokerivaahtera kuuluu vaahterakasvien sukuun (Lat. Aceraceae). Sitä kasvaa luontaisesti Kanadassa ja itäisessä USA:ssa. Puuaines on väriltään kermanvalkoista, jossa on pieni vivahdus punaista. Vanhoilla puilla sydänpuu saattaa olla tummanruskeaa. Yleensä puuaines on suorasyistä, mutta se saattaa olla myös joskus aaltoilevaa. Tiheys on keskimäärin 720 kg/m^3 . (Lincoln 1998, 165.)

Puuaineksen lujuusominaisuudet ovat korkeat, mutta kovuus on keskitasoa. Taivutuslujuus on välillä 120–175 MPa ja murtolujuus on välillä 55–85 MPa. Iskutaivutuslujuus on luokkaa $120\text{--}160 \text{ kJ/m}^2$ ja kovuus luokkaa 12–15 kN/mm³. Puun taivutusominaisuudet ovat erinomaiset hyvät puuta kostuttaessa. (Lincoln 1998, 165.)

Puuta on vaikea työstää ja se kuluttaa paljon teriä. Varsinkin aaltoilevaa syykuviota työstettäessä on syytä pienentää leikkauskulmaa. Naulatessa ja ruuvatessa vaaditaan esiporausta. Liimaus ja pintakäsittely onnistuvat tyydyttävästi. Sokerivaahteralla on erityisen hyvä kulumisenesto, minkä takia sitä käytetään lattioiden pintamateriaalina vaativissa olosuhteissa. Sitä käytetään myös huonekaluissa ja paneloinnissa, tekstiteollisuuden koneiden rullina, kenkien lesteissä, urheiluvälineissä ja soittimissa. Lisäksi sitä on erittäin hyvä sorvata. (Lincoln 1998, 165.)

2.2.6 Yhteenveto käytetyistä puumateriaaleista

Rumpukapuloissa käytetyt puumateriaalit ovat poikkeuksetta hyvin kestäviä ja niillä on erityisesti hyvät lujuus- ja taivutusominaisuudet. Hikkorilla ja hikkorin sukulaisella pekaanipähkinäpuulla on korkeat taivutuslujuusominaisuudet, mutta erityisesti erittäin korkea kovuus ja erinomainen iskutaivutuslujuus erottavat ne edukseen muista rumpukapuloissa käytetyistä puumateriaaleista. Tutkituista puumateriaaleista heikointa näyttäisi olevan Japanin tammi, jolla kovuus ja iskunlujuus ovat arvoltaan heikkoja ja taivutuslujuus sekä murtolujuuskin vain keskinkertaisella tasolla. Puu on sitkeää, mutta heikkoa.

Vain Amerikassa kasvavat lajit hikkori, pekaanipähkinäpuu ja sokerivaahtera ovat lujuusominaisuuksiltaan hieman muita materiaaleja kestävämpiä. Kuitenkin esimerkiksi euroopan valkopyökki enää paljon häviää kun sitä verrataan sokerivaahteraan. Iskutaivutuslujuus on sillä hieman alhaisempi.

2.3 Rumpujen soittotyyli

Pirkko Moisala kertoo tyylikäsitteen olevan riippuvainen siitä, mitä tyyllillä käsitellään. Tyylitutkimus voi kohdistua muun muassa esitykseen, soittoon, lauluun tai yhteissoittoon. Rumpujen lopuksi kuitenkin niin, että tutkittava musiikki ja sen ominaispiirteet määräävät mihin musikaalisiin piirteisiin analyysi keskittyy. (Moisala 1993.) Tässä kappaleessa keskitytään kuvaamaan miten erityylisten musiikin soittaminen yhdessä jokaisen rumpalin omintakeisen soittotyylin kanssa kuluttaa rumpukapulaa.



KUVIO 3. Vasemmalla edessä hi-hat, oikealla vieressä virveli. Virvelin takana piilossa bassorumpu. Lisäksi kuvassa erikokoisia tom-tomeja ja symbaaleja. Bassorummun yläpuolella olevien pikku tom-tomien molemmilla puolilla crashit ja oikealla yläkulmassa china. Chinan alapuolella ride. Lisätietoa rumpujen osista löytyy kappaleesta lyhenteet ja käsitteet.

Erityisesti on merkitystä sillä, miten kovaa rumpuja lyödään ja missä kulmassa kapula osuu symbaaleihin, hit-hattiin, tomeihin tai virveliin. Hi-hattia eli ”haikkaa” lyödään perinteisessä rumpujen soitossa hyvin useasti, minkä takia sen merkitys kapulan kulumisessa on suuri. Käsitteiden avaamiseksi kerron ensin hieman rumpujen soittoasunnoista ja rumpujen osista. (KUVIO 3)

2.3.1 Soittoasento

Hyvä soittoasento on kaiken perusta. Mikko Virto kertoo, että hyvässä soittoasennossa reidet ovat suunnilleen lattian suuntaiset. Istumakorkeus riippuu siitä, millä tavalla on tottunut soittamaan bassorumpua. Jotkut soittavat niin, että kantapää on maassa, mutta toisilla kantapää on hieman ilmassa. (Virto 2010.) Jalan asennot kuvioissa 4 ja 5.



KUVIO 4. Kantapää ilmassa



KUVIO 5. Kantapää maassa

Soittaminen tapahtuu ranneliikkeellä. Ranne joustaa muutenkin hyvin paljon. Aloitteluvien soittajien ongelma on yleensä ranteen jäykkyys ja liian kova voiman käyttö. Rummuista lähtevän äänen sointiin ja voimakkuuteen vaikutetaan mieluummin käyttämällä erilaisia rumpukapuloita kuin vaihtelemalla lyöntivoimaa. Esimerkiksi erityisen hiljaa soittaminen peruskapuloilla on amatöörille hyvin vaikeaa, koska soittotuntuma katoaa.

Oikeassa soittoasennossa peukalo ja etusormi pitävät kapulaa peukalon hiukan työntäessä kapulaa lyöntisuuntaan. Muut sormet kontrolloivat kapulan asentoa. (Virto 2010.) Ranteen ja sormien oikea asento kuviossa 6.



KUVIO 6. Ranteen ja sormien oikea asento

2.3.2 Kapulan kuluminen soittaessa

Rumpuja soittaessa on tärkeää lyödä peltejä ja tomeja oikealla tavalla. Pelkkä aloittelijamainen hakkaaminen liian voimakkaalla kapulan otteella kuluttaa kapulan hajalle hetkessä. Otteen pitää olla rento. Myös lyöntivoima on olleellista ottaa huomioon, vaikka paljon suurempi merkitys on sillä missä lyöntikulmassa kapula osuu symbaaleihin ja tomeihin.

Eryisesti kulumista aiheuttavat haikan reunaan osuneet isku. Haikan soittaminen tällä tapaa on kuitenkin välttämätöntä sillä sen ylä- sekä alapelti ovat aina vaakatasossa. Oikeankätisellä rumpalilla oikean käden kapula kuluu vasenta enemmän, sillä oikeakäden kapulalla soitetaan haikkaa. Kun oikean käden kapula on kulunut tarpeeksi, saattaa rumpali vaihtaa sen toiseen käteen ja ottaa oikeaan käteen vasemman käden kapulan. Tällä tavoin saatetaan kapuloiden kestoaikaa hieman pidentää. Myös tomien sekä virvelin metallikantti-iskut kuluttavat kapulaa. (KUVIOT 7 JA 8)



KUVIO 7. Osuma haikan reunaan



KUVIO 8. Osuma tomin metallikanttiin

Myös muiden symbaalien kantti-iskut kuluttavat kapulaa. Tätä asiaa voidaan korjata säätämällä symbaaleja hieman alemmaksi, jolloin kanttiin osuneiden iskujen määrä vähenee. (KUVIOT 9 JA 10)



KUVIO 9. Väärin asennettu symbaali

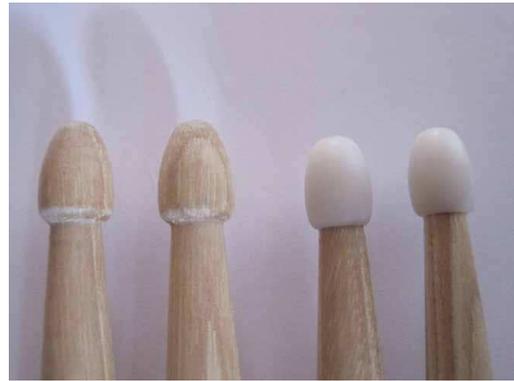


KUVIO 10. Oikein asennettu symbaali

Kapulan materiaali vaikuttaa myös siihen millä tavalla kapulat kuluvat virveliin lyödessä (KUVIO 11). Hikkorista valmistetut kapulat eivät yleensä katkea, vaan ne kuluttavat kapulan keskiosasta puhki. Myös tippi saattaa kulua puhki. Vaahterasta valmistetut kapulat ovat herkempiä halkeamaan syiden suuntaa (Rumpukapulakysely 2010). Kapulan osuessa virvelin kanttiin toistuvasti, tulee kapulaan pieniä koloja, jotka ovat lähinnä näköhaitta. Heikommat kapulat saattavat mennä melko pian poikki tipin alapuolelta tai haljeta ennen varsinaista kulumisen havaitsemista.



KUVIO 11. Kuluneita kapuloita.



KUVIO 12. Oikealla nylon-tippi

Rumpujen tipit ovat myös herkkiä kulumaan (KUVIO 11). Tästä johtuen moni rumpali käyttääkin nylontippipäällysteisiä rumpukapuloita (KUVIO 12) (Rumpukapulakysely 2010). Nailontippipäällysteisillä kapuloilla soittaessa rummuista lähtevä ääni kuitenkin muuttuu erilaiseksi. Myös soittotuntuma on erilainen, minkä takia monet rumpalit soittavat kuitenkin puutippisillä kapuloilla ja ostavat uudet kapulat kun tipit ovat kuluneet. Nylon-tippiset kapulat ovat hieman kalliimpia kuin samasta puumateriaalista valmistetut puutippiset kapulat. Hintaero on kuitenkin niin pieni, että enemmän merkitsee se, minkälaisella kapulalla rumpali haluaa soittaa.

3 PUUN LUJUUSOMINAISUUDET

Kappaleen tai aineen mekaanisella lujuudella tarkoitetaan sen kykyä vastustaa siihen vaikuttavia voimia, jotka muuttavat kappaleen kokoa ja muotoa. Kun voimat lakkaavat vaikuttamasta aine on kimmoista eli elastista, jos kappaleen sisäiset voimat palauttavat kappaleen aikaisemman tilan. (Kärkkäinen 2007, 215–216.)

Puu on materiaali, joka noudattaa Hooken lakia pienin poikkeuksin suhteellisuusrajaan saakka. Esimerkiksi vedossa

$$e = as$$

jossa

e = suhteellinen pituuden muutos $\Delta l/l$ (pituuden muutos/pituudella)

a = kerroin, joka riippuu mm. puulajista, kosteudesta ja lämpötilasta

s = jännitys eli voima pinta-alayksikköä kohti

(Kärkkäinen 2007).

Lujuusopissa kaavaa sovelletaan niin, että puulajista riippuvan kertoimen sijasta käytetään kimmomoduulia E , joka on $1/a$. Kimmomoduuli vaihtelee ja on erilainen syiden, säteen ja tangentin suuntaan, mutta samaa suuruusluokkaa vedossa, puristuksessa ja taiputuksessa. Kimmomoduuli kuvaa materiaalin jäykkyyttä ja kertoo kuinka suuria taipumia palkkeihin syntyy jollakin kuormituksella. (Kärkkäinen 2007, 215–216.)

Rumpukapuloita valmistettaessa kimmomoduuli on erityisen tärkeä ottaa huomioon. Puiden erilaiset kimmomoduulit vaikuttavat siihen, miten tomit ja lautaset soivat, sekä siihen minkälaista kapulalla on soittaa. Jokaisesta erilaisesta materiaalista valmistetulla rumpukapulalla on erilainen soittotuntuma, joka voi vaihdella paljonkin. Rummuista lähteviin ääniin kapulan runkomateriaali vaikuttaa vähemmän. Enemmän vaikuttaa se, mitä materiaalia on kapulan tippi eli pää. Erityisesti ne

rumpukapulat, joissa on nailontippi, antavat selkeästi erilaisen äänen verrattuna perinteisiin puisiin yhdestä aihioista valmistettuihin kapuloihin.

3.1 Murtolujuus

Siinä vaiheessa kun puukappaletta kuormitetaan suhteellisuusrajan yli, muodonmuutos ei enää noudata Hooken lakia, kun se kimmorajaan asti on ollut palautuva. Kuormitusta edelleen lisättäessä ollaan pysyvän muodonmuutoksen alueella kunnes kappale lopulta murtuu saavutettuaan murtorajan. Sekä kimmo- että murtorajaa kuvataan jännityksillä, mutta murtolujuutta voidaan kuvata myös ilmoittamalla se työmäärä, joka joudutaan tekemään kappaleen murtamiseksi.. Kimmo- ja murtorajaa astaavat venymät ovat kimmainen venymä ja murtovenymä. (Kärkkäinen 2007, 215–216.)

Silloin kun puuta puristetaan, puhutaan mieluummin puristumasta. Yleisen lujuusopin käsitteiden mukaan aine on haurasta, mikäli ennen murtumista ei tapahdu huomattavaa pysyvää muodonmuutosta. Jos pysyvä muodonmuutos on huomattava ennen murtorajan saavuttamista, on aine sitkeää. (Kärkkäinen 2007, 215–216.)

Hyvät rumpukapulat kestävät iskuja, mutta ne eivät saa kuitenkaan olla liian jäykkiä. Valmistettaessa rumpukapulaa liian jäykästä materiaalista käy niin, että rumpujen kalvot ja lautaset hajoavat ennen kapulaa, joka tulee paljon kalliimmaksi kuin uusien kapuloiden hankinta. Puumateriaaleja käytettäessä tätä ongelmaa ei ole. Ongelmana on murtorajan saavuttaminen liian aikaisin.

3.2 Iskutaivutuslujuus

Iskutaivutuslujuudella kuvataan äkillistä taivutusta, joka kohdistuu kappaleeseen. Iskutaivutuslujuus ilmoitetaan yleensä työmääränä, joka joudutaan tekemään kappaleen murtamiseksi. Äkillisestä iskusta johtuen murtorajan saavuttamiseksi vaadittava voima on pienempi kuin asteittain kasvavassa kohtisuoraan syitä vasten

kohdistuvassa taivutuksessa. (Kärkkäinen 2007, 215–216.) Riittävän iskutaivutuslujuuden saavuttaminen rumpukapuloissa on suuri ongelma.

Puun iskutaivutuslujuuden määrittämiseksi käytetään standardia ISO 3348-1975, jossa iskutaivutuslujuus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$A_w = 1000 Q / bh$$

A_w = iskutaivutuslujuus 1 kJ/m²

Q = Energia jouleina, joka tarvitaan kappaleen murtamiseen

b ja h = testikappaleen koko millimetreinä säteen- ja tangentialiseen suuntaan

(ISO 3348:1975).

3.3 Taivutuslujuus ja taivutuskimmomoduuli

Puun taivutuslujuus kohtisuoraan syitä vastaan on hyvin yleinen mitattu lujuusarvo. Sitä käytetään muun muassa kun halutaan määrittää erilaisten hyllyjen kestävyttä. Taivutuslujuus on murtokuorman momentin ja koekappaleen taivutusvastuksen suhde (SFS 4777). Taivutuslujuus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$f_m = M / W$$

f_m = Taivutuslujuus, MPa

M = Taivutusmomentti, Nm

W = Taivutusvastus, mm³

Ellei toisin määrätä tulee taivutuskimmoisuus määrittää +- 5 % tarkkuudella lasketusta arvosta.

(SFS 4777).

Kimmomoduuli kuvaa kappaleen venymistä venyttävän voiman vaikutuksesta. Mitä kimmoisampaa kappale on, sitä enemmän se venyy ennen kuin saavuttaa mur-

torajan. Kimmomoduuli on lisäksi erilainen puun syiden, säteiden ja tangentin suunnassa ja siihen vaikuttavat puun tiheys, kosteus, lämpötila ja muut olosuhteiden vaihtelut. (Pro Puu ry 2010.) Syiden suuntaan kimmomoduuli eli kimmokerroin on suurempi kuin syitä vastaan kohtisuoraan. Kimmokerroin lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

E = kimmomoduuli (yksikkönä N/m²)

σ = jännitys (F/A, yksikkönä N/m²)

ε = myötymä (Δ/l, yksikkönä m/m)

(Pro Puu ry 2010).

4 RUMPUKAPULOIDEN TUOTEKEHITYS

Suomessa kasvaa luontaisesti 31 puumaista kasvilajia (Järvinen 1996). Näistä puulajeista vain murto-osaa voidaan ajatella käytettäväksi rumpukapuloiden valmistamiseen. Tämä johtuu siitä, että kestävältä rumpukapulalta vaaditaan erityisen hyviä lujuusominaisuuksia, joita löytyy vain muutamalta suomalaiselta puulajilta. Lujuusominaisuuksista erityisesti puulajin taivutuslujuus ja iskutaivutuslujuus ovat tärkeitä rumpukapulan keston kannalta. Muut lujuusominaisuudet ovat myös tärkeitä, mutta niillä on rumpukapulan käyttötarkoitus huomioon ottaen pienempi merkitys.

Puulajin joustavuus vaikuttaa suoraan rumpukapulan soittotuntumaan eli ”tatsiin”. Erilaiset materiaalit vaikuttavat soittamisen tuntumaan, josta jokaisella rumpalilla on henkilökohtainen mielipiteensä. Tämä on otettu huomioon kapuloita suunniteltaessa. Lyötäessä kapulalla tomiin on jäykemmässä materiaalissa kapulan takaisinpaluu-aika (rebound) takaisin lyöntiasentoon lyhyempi kuin hyvin joustavassa materiaalissa. Muita takaisinpaluu-aikaan vaikuttavia tekijöitä ovat kapulan paino, pituus ja rumpalin ote kapulasta. Puulajin joustavuutta voidaan mitata taivutus-kimmomoduulilla. Esimerkiksi hyvin joustavan koivun taivutus-kimmomoduuli on 16.2 GPa kun se hikkorilla on vain 12 GPa (Vartiainen 2006, 178). Tästä johtuen, jos valmistettaisiin koivuisia kapuloita, niin niiden soittotuntuma olisi täysin erilainen kuin hikkorilla. Suomalaisen tammen taivutus-kimmomoduuli on 11,5 GPa ja saarnin 11,1 GPa (Vartiainen 2006, 178). Tässä suhteessa ne olisivat huomattavasti parempia materiaaleja rumpukapuloiden valmistukseen kuin esimerkkinä mainittu koivu.

Puun pieni massan ja jäykkyyden suhde ilmenee etenkin huomattavan suurena vaimennuskykynä. Toisin sanottuna värähtelemään saatettu puukappale vaimenee muita materiaaleja nopeammin. Tämän ominaisuuden merkitys on havaittu myös testatessa eri puulajeja lyömäsoittimia varten. (Kärkkäinen 2007, 249.)

Suomessa luontaisesti kasvavien puulajien lujuus- ja taivutusominaisuudet ovat heikompia kuin rumpukapuloissa perinteisesti käytetyissä materiaaleissa. Kuiten-

kin niillä on se etu, että ne ovat hyvin monesti helposti liimattavia, minkä takia rumpukapuloita voitaisiin harkita valmistettavan useammasta osasta. Liimaus antaa jäykkyyttä ja syysuuntaa vaihtelemalla rumpukapulasta voidaan tehdä myös tasarakenteisempia niin, että puun ominaisuudet ovat mahdollisimman samanlaiset jokaiseen suuntaan. Tällöin käytännössä ihanteellisin puumateriaali olisi nuorpuu, joka on 10–20 vuosiluston levyinen vyöhyke aivan puun ytimen ympärillä. Jääskeläinen toteaa kuitenkin, että nuorpuusta tehdyn puukappaleen jäykkyys on alhaisempi kuin aikuispuussa, koska sen mikrofibrillikulmat ovat suurempia ja tämän lisäksi myös taivutuslujuus- ja jäykkyys ovat aikuispuuta alhaisempia (Jääskeläinen & Sundqvist 2007). Tämän takia nuorpuu ei sellaisenaan ole soveltuva käytettäväksi rumpukapuloissa.

4.1 Puumuovikomposiitti

Puumuovikomposiitti on materiaalina uusi, eikä siitä ole vielä kehitetty kovin monia uusia tuotteita. Puumuovikomposiitista valmistetut tuotteet on yleisesti valmistettu kierrätysmuovista ja puutuoteteollisuuden sivutuotteista, joita ovat hake, sahanpuru, sahajauho, sellu sekä puu- ja paperijäte.

Muovin avulla puun rakennetta ja ulkomuotoa voidaan muuttaa niin, että sen käyttöominaisuudet muuttuvat. Käyttöominaisuuksista erityisesti kovuutta voidaan parantaa. (Siikanen 2007.) Käytännössä puumuovikomposiitista pyritään valmistamaan tuotteita, jotka ovat puun kaltaisia ilman puun heikkouksia. Mittapysyvyys lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaihdellessa on yksi näistä puun heikkouksista.

Rakenteen ja valmistustavan mukaan puumuovikomposiitti voidaan jakaa muutamaaan pääluokkaan. On olemassa muovilla kyllästettyä puutavaraa, puujauhotäyteisiä kestumuovikomposiitteja (WPC) ja luonnonkuitu-kestomuovi-komposiitteja (NFC). (Koivurova 2010.)

Muovilla kyllästetyllä puutavaralla tarkoitetaan tuotetta, jossa puussa olevat huokokset on täytetty kertamuovilla. Suomalaisista puulajeista sen raaka-aineiksi soveltuvat parhaiten koivu, haapa, leppä ja mänty, mutta myös muut puulajit kelpaavat.

Lehtipuut soveltuvat tuotantoon kuitenkin kaikkein parhaiten, koska niiden kyllästys on helpompaa. Suomessa muovilla kyllästetyn lehtipuun muovipitoisuus on kyllästyksen jälkeen 40–50 % ja puun tiheys 1100–1200 kg/m³. (Siikanen 2007.)

Muovilla kyllästetty puutavara kuten myös muut puumuovikomposiittirakenteet ovat hyvin painavia. Tähän ongelmaan on ratkaisuna se, että puumuovikomposiittista valmistetut tuotteet voivat olla rakenteeltaan onttoja. Suomessa näkyvimmin ovat olleet esillä NFC:stä valmistetut UPM Profi Deck -terassilaudat, jotka ovat kennorakenteisia.

UPM Profi Deck -terassilaudat on valmistettu muovin valmistamisessa syntyneestä muovijätteestä ja puusta. Tuotteen valmistamisessa on periaatteena, että vähintään 50 % tuotteen muovimateriaalista on kierrätettyä. Kierrätetyn muovimateriaalin käytön takia tuotteiden väri saattaa vaihdella jonkin verran. Tuotetta voidaan myös kierrättää ja käyttää edelleen. (Peltola 2009.)

Kierrätettävyys ja jätemuovin uusiokäyttö tekevät UPM Profi Deck -terassilaudasta ekologisesti järkevän vaihtoehdon erityisesti terassimateriaaliksi. Kierrätettävydessä tuote kilpailee painekyllästetyn terassilaudan kanssa samassa sarjassa. Muovipuun käyttöä terassilautana tukee erityisesti sen hyvä säänkestävyys, mutta ekologisuuatta ajatellen parempana vaihtoehtona voidaan pitää lämpöpuusta valmistettuja terassilautoja, jotka voidaan tarvittaessa vaikka polttaa.

4.1.1 Puumuovikomposiitti musiikkiteollisuudessa

Musiikkiteollisuudessa luonnonkuitulujitteista kestopuuvia (NFC) on käytetty onnistuneesti sähkökitaran valmistuksessa. Flaxwood -tuotemerkillä on valmistettu puumuovikomposiittia, jota on käytetty sähkökitaroiden rakennemateriaalina (KUVIO 13). Flaxwood-kitarat on valmistettu kokonaisuudessaan puumuovikomposiittista ruiskupuristamalla. Lisäksi kaulassa on käytetty vahvikkeena toista komposiittirakennetta.

Flaxwood perustettiin vuonna 2005 Joensuun Heinävaaraan. Flaxwoodin tekninen johtaja Jukka-Pekka Karppinen kertoo, että yrityksen liikeideana on valmistaa kor-

kealuokkaisia sähkökitaroita yrityksen patentoimasta luonnonkuitukomposiitista ja pitemmän aikavälin tähtämellä myös muita tuotteita samasta materiaalista. Erityisesti yritys on keskittynyt uusien musiikki-instrumenttien tuotekehitykseen puumuovikomposiitista. (Karppinen 2010.)

Korkealuokkaisen laadun lisäksi yritys ottaa huomioon myös vihreät arvot. Vihreät ja luonnonmukaiset arvot tulevat esille erityisesti siinä, että myös sähkökitaran otelauta on valmistettu puumuovikomposiitista, jolloin otelaudassa ei ole ollut tarvetta käyttää uhanalaista eebenpuuta tai ruusupuuta. (Karppinen 2010.)

Yksi Flaxwoodin kitaroiden suunnittelijoista, teollinen muotoilija Heikki Koivurova kertoo, että Flaxwoodin kitarat on valmistettu amorfisesta termoplastista ja havupuusellusta. Molempia on käytetty valmiissa puumuovikomposiitissa noin 50 %. Havupuusellu toimii materiaalin lujitteena ja amorfinen termoplasti matriisina eli liima-aineena. (Koivurova 2010.)



KUVIO 13. Flaxwoodin kitaroita

Etuja perinteiseen puiisiin kitaran runkoihin ovat materiaalin homogeeninen rakenne, paremmat akustiset ominaisuudet ja materiaalin elämättömyys. Kun tiedetään, mitä kitaralta halutaan, voidaan kitara rakentaa käyttötarkoitukseensa sopivaksi, toteaa Tampereen muovi- ja elastomeeritekniikan laboratoriossa työskentelevä vanhempi tutkija Kari Kolppo (Kolppo 2009). Samat edut saadaan myös valmistamalla rumpukapuloita puumuovikomposiitista. Merkittävimpana etuna tähän tarkoi-

tukseen on puumuovikomposiitin elämättömyys ja homogeeninen rakenne. Iskunkestävyyttä ja taivutuslujuutta tulisi testata laboratoriokelein.

Flaxwoodin puumuovikomposiitista pyhäjokisen koneenkuljettajan Risto Keskitalon verstaalla sorvaamieni pyörökeppien valmistusohjeet ovat liitteessä (LIITE 4). Puumuovikomposiitin taivutuslujuuden ja taivutuskimmokertoimen testaustulokset kappaleessa 6.

4.1.2 Ruiskuvalu

Ruiskuvalu on yleisin menetelmä kestopuovikappaleiden valmistamisessa. Muovikomposiitit valmistetaan ruiskupuristamalla korkealuokkaisesta työkaluteräksestä valmistetun muotin avulla. Muotti antaa kappaleelle muodot ja se pitää valmistaa aina erikseen jokaista uutta osaa varten. Muotin valmistus on kallista, minkä takia ruiskupuristusta käytetäänkin vain suuria sarjoja valmistettaessa. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars & Komppa 2003.)

Ruiskupuristuksessa valmistusmenetelmä vaihtelee materiaalin mukaan. Pääperiaatteena on, että kestopuoveja käytettäessä muotti on jäähdytettävä ja kertapuoveja käytettäessä muotti on lämmitettävä. Ruiskutusaine vaihtelee 40–200 MPa:n välillä riippuen muotista ja materiaalista. Kappale kovettuu muotissa 20–120 sekunnissa riippuen kappaleen koosta. (Saarela ym. 2003.)

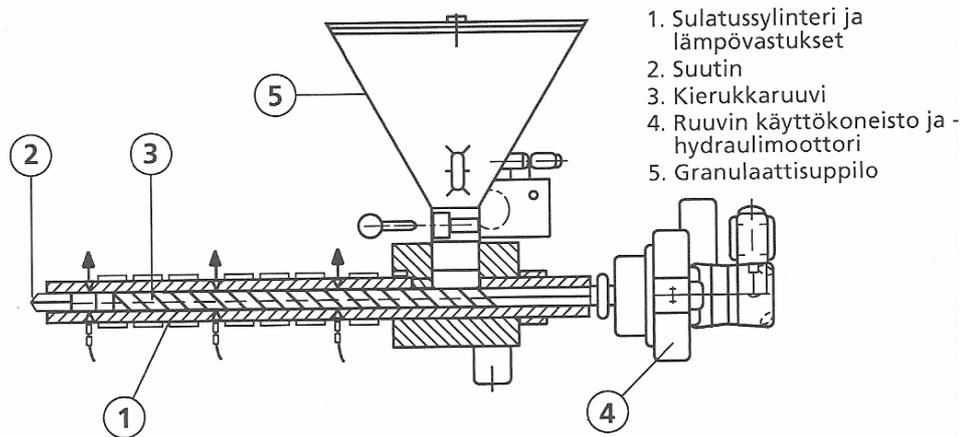
Kestomuoviset kappaleet kuten Flaxwoodin kitarat valmistetaan granulaatista eli kestopuovirakeista (KUVIO 14). Granulaatti saattaa sisältää lisäksi lujitekuituja. Flaxwoodin kitaroissa lujitekuituna on käytetty havupuusellua. Euroopassa täytetyt kestopuovit ovat yleensä polyolefiineja ja lujitetut polyamideja (Saarela ym. 2003).



KUVIO 14. Granulaatin ottaminen. (Ab All-Plast Oy)

Ennen ruiskuvalua granulaatti on kuivattava huolellisesti sillä kosteus heikentää lujuutta ja pinnan laatua. Kuivaamisaika riippuu kuivausmenetelmästä ja materiaalista. Yleensä se on kuitenkin 2-8 tuntia. Kuivailmakuivurit ovat nykyisin yleisimmin käytettyjä kuivureita erityisesti sen takia, että ne eivät ole riippuvaisia ympäristön kosteudesta. (Saarela ym. 2003.)

Ruiskuvaluprosessi koostuu seitsemästä vaiheesta. Nämä työvaiheet ovat seuraavat: muotin sulku, ruiskutusyksikön liike eteen, ruiskutus, jälkipaine, annostus sekä plastisointi ja viimeisenä ulostyöntö. Muotin sulkeuduttua tiiviisti tapahtuu ruiskutusyksikön liike eteen, jolloin ruiskutusyksikkö kiinnittyy muotin suuttimeen. Tämä on vaihe, joka täytyy ajaa vain ensimmäisellä työkierrolla. Seuraavaksi tapahtuu ruiskutus, jolloin muotin pesät täyttyvät. Muottia ennen oleva kierukkaruuvi liikkuu nopeasti eteenpäin työntäen muovisulaa muottipesiin. Takaisinvertausventtiili estää muovisulan virtauksen taaksepäin. Oleellimmat tekijät ruiskutuksen onnistumiselle ovat ruiskutusaine ja – nopeus, jälkipaineelle vaihdon ajoitus sekä jälkipaineen suuruus. Ruiskutuksen on tapahduttava nopeasti riittävän suurella paineella, koska koko muovimassa pitäisi jäähtyä muotissa yhtä pitkän aikaa, jotta laatu olisi tasaista. Kuviossa 15 on kuvattu ruiskutusyksikön osia. (Kurri, Malén, Sandel & Virtanen 2002, 78–83.)



Kuva 61. Ruiskutusyksikön pääosat.

KUVIO 15. Ruiskutusyksikön osia. (Kurri ym. 2002, 74.)

Ruiskutuksen jälkeen tarvitaan jälkipainetta eli pitopainetta. Tässä vaiheessa kierukkaruuvi liikkuu pyörimättä hyvin hitaasti eteenpäin työntäen muottiin lisää muovia. Tarkoituksena on työntää muovin jäähtymisestä aiheutuvan kutistuman verran lisää muovisulaa muottiin. Muuten kappaleeseen voi tulla reikiä ja onteloita sekä kappaleen mitat ja paino saattavat muuttua. Liian suuri jälkipaine voi saada aikaan sisäisiä jännityksiä, jolloin syntyy kieroutumista ja kappaleesta tulee hauras. (Kurri ym. 2002, 78–83.)

Seuraava eli jäähdytysvaihe on ajallisesti pisin vaihe. Jäähdytysaika riippuu materiaalista ja muotin koosta. Likimääräinen jäähdytysaika on kuitenkin alla olevan kaavan mukainen.

$$t = s^2 \cdot 2$$

t = aika (s)

s = maksimi seinämän paksuus (mm)

(Kurri ym. 2002, 80.)

Annostus ja plastisointi –vaiheessa valmistetaan sulaa muovia uutta työkiertoa varten. Kierukkaruuvi pyörii taaksepäin ja siirtää ruiskuvalettavan kappaleen painoa vastaavan annosmäärän muovia kierukkaruuvien eteen. Plastisoinnissa granulaatti sulaa suurimmaksi osaksi kierukkaruuvien sisäisen kitkan ansiosta. Lisäksi

käytetään lämpövastuksia, koska sisäinen kitka ei aivan riitä. Samalla muovisula myös sekoittuu ja homogenisoituu. Vastapaineella vaikutetaan muovin käyttäytymiseen ja suuttimen lämpötilaa säätelemällä pidetään huoli, että muovi pysyy sulana, eikä jähmety. (Kurri ym. 2002, 78–83)

Annostus ja plastisointi –vaiheessa kierukkaruuvien eteen jätetään usein ylimääräinen ns. raaka-ainetyyny, joka toimii lämmöneristeenä muovin ja ruuvien välillä. Lisäksi tästä tyynyä käytetään jälkipainevaiheen muovin syöttöön. Viimeisenä vaiheena on ulostyöntövaihe, jolloin muotti aukaistaan ja jäähtynyt kappale työntyy ulos muotista. Työkierro alkaa tämän jälkeen alusta. (Kurri 2002, 78–83)

4.2 Kotimaiset jalopuut

Jalot lehtipuut ovat olleet metsänviljelijöiden kiinnostuksen kohteena jo 1900-luvun alkupuolelta asti. Tuolloin Lounais-Suomeen istutettiin muutamia kymmeniä alle hehtaarin kokoisia saarnimetsiköitä. Suurimmaksi osaksi tämä on ylimetsänhoitaja Torsten Rancken ansiota, joka toimi Oy Karl Forström Ab:n metsänhoitajana Särkisalossa vuodesta 1917 lähtien. (Raisio & Nyman 2003.)

Sotien jälkeinen metsätalouden tehostaminen heikensi jalopuumetsien osuutta. 1950–1960 -luvulle asti laidunnetut jalopuuhakamaat jätettiin heitteille tai niihin istutettiin jalopuiden sijasta kuusta tai mäntyä. Lähimetsissäkin esiintyneet jalopuut kaadettiin ja metsä otettiin tehokkaampaan metsätalouskäyttöön. Esimerkiksi saarnin luontaiset kasvualueet, ravinteikkaat rinteet, ojitettiin 1960–1970 -luvulla. Vasta aivan lähivuosina on jalojen lehtipuiden suojelemaan alettu panostaa erilaisia lakeja säätämällä. (Raisio & Nyman 2003.)

Suomen onneksi kuusi ja mänty ovat hyviä raaka-aineita rakennusteollisuudelle. Puusepänteollisuuteen tarvittavat harvinaisemmat puulajit joudutaan silti aina tilaamaan ulkomailta. Suomen ilmaston ja pohjoisen sijainnin huomioon ottaen ei maamme ole erityisen soveltuva laajempaan metsänviljelyyn. Muiden puulajien viljelyä olisi silti pyrittävä mahdollisuuksien mukaan lisäämään, jotta metsästämme ei tulisi liian yksipuolista. 1990-luvun alussa on alettu taas uudelleen tutkia lehtipuiden viljelyä (Raisio & Nyman 2003). Kehityssuunta näyttää näin ollen oikealta.

4.2.1 Vaahtera (Lat. *Acer campestre*)

Vaahtera kuuluu vaahterakasvien sukuun (Lat. Aceraceae). Lähes koko Eurooppaan levinnyttä vaahteraa kasvaa luontaisesti Etelä-Suomessa, mutta myös viljeltyinä Keski- ja Itä-Suomessa. Sitä tavataan runsasravinteisissa lehti- ja sekametsissä, jossa se viihtyy puolivarjokasvina ja kasvaa näin ollen muiden puulajien alikasvustona. Kasvualustakseen vaahtera vaatii multavan ja emäksisen maaperän, jossa on tasaisesti kosteutta ja paljon valoa. Luonnossa vaahteraa tavataan hyvin monesti yksittäispuina. (Pro Puu ry 2010.)

Vaahteran sydän- ja pintapuu ovat heikosti erottuvia. Pintapuu on väriltään keltaisen ruskeaa tai valkean punertavaa. Sydänpuu on väriltään vaalean punertavasta punaisen ruskeaan. Puuaines on lyhyt- ja suorasyistä. (Pro Puu ry 2010.)

Vaahteran murtolujuus on keskimääräinen arvoltaan 35–55 MPa. Kovuus on alhainen ja arvo on välillä 10–12 kN/mm³. Iskutaivutuslujuus on myös alhainen arvon ollessa 60–90 kJ/m². (Lincoln 1998.) Ilmakuivan sahatavaran paino on 705 kg/m³ (Pro Puu ry 2010). Muita lujuusarvoja ovat taivutuslujuus 115 MPa ja taivutuskimmomoduuli 11,1 GPa (Vartiainen 2006).

Vaahtera on eniten käytettyjä soitinrakennuspuita koko maailmassa (Vartiainen 2006). Erityisesti paljon loimua sisältävät vaahterat ovat suosittuja, koska niistä saa tehtyä näyttäviä runkoja muun muassa kitaroihin. Suomessa kasvavaa vaahteraa käytetään kuitenkin vain satunnaisesti jousisoittimien pohja-, kaula- ja sivupuuna, koska rungot ovat kooltaan pieniä ja vaahteralla on olematon saatavuus (Vartiainen 2006). Muita vaahteran käyttökohteita ovat muun muassa rasiat, huonekalut, vaneri, parketit ja työkalun varret. Linnunsilmävisää sisältävä materiaali on erityisen arvostettua viilumateriaalia. (Pro Puu ry 2010.)

4.2.2 Tammi (Lat. *Quercus petraea*)

Tammi kuuluu pyökkikasvien sukuun (Lat. Fagaceae). Tammea kasvaa Suomessa luonnonvaraisena vain eteläisellä rannikkoseudulla, jonka lisäksi tammea tavataan Turun saaristossa ja Ahvenanmaalla. Tässä kohtaa kulkee keskieurooppalaisen

lehtimetsävyöhykkeen pohjoisraja, eikä tammea tavata pohjoisempana muuta kuin istutettuna. Parhaita suomalaisia tammipuita on kaadettu laivanrakennuspuuksi, mutta muuten teollinen käyttö on hyvin vähäistä. Ahvenanmaalla kasvavat yli 1,7 metrin ympärysmitaltaan olevat tammet on rauhoitettu. (Pro Puu ry 2010.)

Parhaiten tammi kasvaa runsasravinteisessa lehto- ja sekametsässä, jossa on paljon valoa. Vähempiravinteisemmässäkin metsässä puu voi tulla toimeen. Puu ei siedä kuivuutta, eikä seisovaa vettä. Tammen juuristo on hyvin tukeva, minkä takia se sietää hyvin myrskyjä. (Pro Puu ry 2010.)

Pintapuu on ohut ja valkeahko. Sydänpuun väri vaihtelee vaalean kellertävästä ruskeaan. Hyvin useasti sydänpuu on punertavan kiilteinen ja tummenee myöhemmin. Puu on kuivattava huolellisesti, jotta se ei halkeilisi. Kuivana työstäminen on helppoa, mutta halkeilua saattaa esiintyä kuivauksen jälkeenkin. Varsinainen puuainekas on hyvin kovaa, painavaa ja tiheäsyistä. Ilmakuivan sahatavaran paino on 752 kg/m^3 . (Pro puu ry 2010.) Muita lujuusarvoja ovat taivutuslujuus 85 MPa ja taivutuskimmomoduuli 11,5 GPa (Vartiainen 2006).

Korkean parkkipitoisuuden takia puu ei ole erityisen altis hyönteisvaurioille. La-honkestävyyden kannalta sydänpuu on erityisen hyvää ja se myös kestää hyvin kosteutta. Tumma sydänpuu onkin puun arvokkainta materiaalia. Pintapuu on myös arvostettua ja sitä käytetään moniin kestävyttä vaativiin käyttökohteisiin. Tammen käyttökohteita ovat muun muassa viilut, huonekalut, parketit, veneet ja viininsäilytystynnyrit. (Pro Puu ry 2010.)

4.2.3 Pyökki (Lat. *Fagus sylvatica*)

Pyökki kuuluu pyökkikasvien sukuun (Lat. *Facaceae*). Pyökkiä ei kasva Suomessa luonnonvaraisena, vaan lähimmät esiintymät sijaitsevat Etelä-Ruotsissa ja – Norjassa. Suomessa käytetään koristepuuna lähinnä pyökin punalehtistä lajiketta (Lat. *Fagus sylvatica atropurea*). Pyökki on kasvupaikaltaan vaativa. Se sietää hyvin varjoa ja vaatii kasvupaikakseen runsasravinteisen metsän. (Fagerstedt, Pellinen, Saranpää & Timonen 2004, 140–143.)

Pyökin pinta- ja sydänpuu ovat samanvärisiä. Tuoreella puulla väri on punertavan valkoinen tai vaalean harmaa, mutta se tummuu myöhemmin ilman ja valon vaikutuksesta. Pyökkiä on helppo työstää ja ruuvit sekä naulat pitävät siinä hyvin. Myös pintakäsittely onnistuu hyvin. Kuivaus on kuitenkin suoritettava hitaasti ja huolellisesti vääntyilyn ja halkeilun minimoimiseksi. (Fagerstedt ym. 2004, 140–143.)

Lujuusominaisuuksiltaan pyökki on kohtuullinen. Pyökillä on keskinkertainen kovuus arvon ollessa 12–15 kN/mm³. Murtolujuus on korkea 55–85 MPa ja iskutaivutuslujuus on keskitasoa arvon ollessa välillä 90–120 kJ/m². (Lincoln 1998.) Muita lujuusarvoja ovat taivutuslujuus 120 MPa ja taivutuskimmomoduuli 15,7 GPa (Vartiainen 2006). Ilmakuivatun sahatavaran paino on 600 kg/m³. (Fagerstedt ym. 2004).

Pyökkiä käytetään huonekaluissa, viilupuuna, ovissa, lattioissa ja parketeissa sekä paljon myös taivutetuissa puuosissa. Kovuutensa vuoksi pyökki soveltuu hyvin käytettäväksi työkalujen varsissa ja koneiden puuosissa. Kyllästettynä sitä on käytetty myös ratapölkkyihin. (Fagerstedt ym. 2004.)

4.2.4 Saarni (Lat. *Fraxinus excelsior*)

Saarni kuuluu öljypuukasvien sukuun (Lat. Oleaceae). Saarnia kasvaa luontaisesti Suomessa vain Ahvenanmaalla ja Lounais-Suomessa. Istutettuna sitä kasvaa kuitenkin myös pohjoisempana Keski-Suomessa. Kasvupaikakseen saarni vaatii viljavan ja kalkkipärisen maaperän, jossa on riittävästi virtaavaa pohjavettä. Saarni ei kestä kuivuutta, minkä takia sitä tavataan paljon rannoilla ja purojen varsilla. Saarni vaatii paljon valoa. Se kestää myös pakkasta, mutta on arka hallan vaikutuksille. (Pro Puu ry 2010.)

Saarnin sydän- ja pintapuut ovat vaikeasti erottuvia. Pintapuukerros on väriltään melkein valkeaa. Pintapuukerros on paksu, mutta saarnin kasvun myötä sille muodostuu iän myötä sydänpuukerros, joka erottuu terävän harmaana, ruskehtavana tai oliivin värisenä. Puuaines ei ole tasaista, vaan se on erilaisten värisävyjen värittämää, minkä takia puuaines vaikuttaa hyvin koristeelliselta. (Pro Puu ry.) Puu kuivuu nopeasti, eikä yleensä aiheuta halkeilua. Puuainesta on helppo kuoria, sor-

vata ja viiluttaa, mutta ruuvatessa on syytä suorittaa esiporaus. (Fagerstedt ym. 2004.)

Saarnilla on keskimääräinen iskutaivutuslujuus, joka on luokkaa 90–120 kJ/m². Murtolujuus on myös keskimääräistä arvon ollessa välillä 35–55 MPa. Kovuus on alhaista arvon ollessa 10–12 kN/mm³. (Lincoln 1998.) Leikkauslujuus sillä on myös alhainen. Ilmakuivatun sahatavaran paino on 689 kg/m³ (Pro Puu ry 2010). Muita lujuusarvoja ovat taivutuslujuus 120 MPa ja taivutuskimmomoduuli 13,1 GPa (Vartiainen 2006).

Musiikkiteollisuudessa saarnia käytetään erityisesti soitinten runkomateriaalina sen hyvien akustisten ominaisuuksien takia. Myös jousipyssyn nuolia valmistetaan saarnista, koska saarni on ominaisuuksiltaan hyvin jäykkää, mutta se kestää myös taivutusta. Muita saarnin käyttökohteita ovat muun muassa erilaiset mailat kuten jääkiekko-, kriketti- ja biljardimailat, huonekalut, viilut, paneelit, sorvatut tuotteet ja auton sisustukset (Lincoln 1998).

4.2.5 Yhteenveto puulajien ominaisuuksista

Yhteenveto puulajien ominaisuuksista on liitteessä (LIITE 3). Puulajien ominaisuuksia vertaillen esiin nousee erityisesti tammen heikko taivutuslujuus verrattuna muihin lajeihin. Tammen käyttöä rumpukapuloissa tukee kuitenkin erityisen sopiva taivutuskimmokerroin, joka on lähellä hikkorin arvoa 12 GPa. Kovuuden ja tiheydensä puolesta tammi soveltuu rumpukapuloiden valmistamiseen muita tarkasteltuja lajeja paremmin.

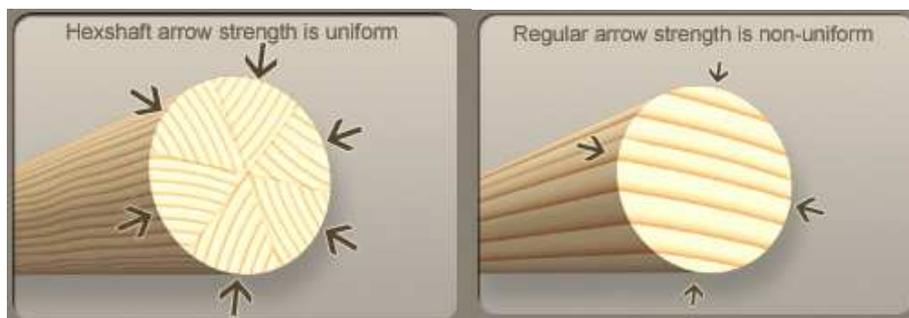
Pyökin ongelmana on erityisesti sen suuri taivutuskimmokerroin, joka on ehkä liiankin selkeästi isompi kuin hikkorilla. Pyökin taivutuskimmokerroin on 15,7 GPa, kun se hikkorilla on 12 GPa. Muiden ominaisuuksien puolesta pyökki on kuitenkin ehkä jopa kaikkein soveltuvin materiaali vertailuista puulajeista. Saarnen käyttöä tukee sen hyvä taivutuslujuus sekä tiheys. Taivutuskimmokerroin on korkeampi kuin hikkorilla, mutta ei kuitenkaan niin selkeästi kuin pyökillä.

Vaahtera on ehkä heikoin vertailuista puulajeista. Sen taivutuslujuus on kuitenkin suurempi kuin tammella, mikä tekee sen siinä suhteessa tammea paremmaksi materiaaliksi. Tiheys on myös korkea. Ongelmia voi aiheuttaa alhainen taivutuskimmokerroin, joka vaikuttaa rumpukapulan joustavuuteen. Taivutuskimmoisuudesta johtuvat kapuloiden erot ovat kuitenkin enemmän mielipidekysymyksiä, jotka vaikuttavat soittotuntumaan, eikä niillä ole varsinaisesti merkitystä kapulan keston kannalta.

4.3 Liimattu rakenne

Jousipyssyn nuolia on kokeiltu valmistaa liimatulla rakenteella (Pajukoski 2010). Tällaisessa rakenteessa puun ominaisuudet ovat jokaiseen suuntaan mahdollisimman tasalaatuiset. Myös perhosvavan varsia on valmistettu samanlaisella rakenteella. Liimattujen rakenteiden tarkoituksena on ollut valmistaa mahdollisimman kestäviä sekä jäykkiä rakenteita. Rakenne saadaan aikaan kuudesta erillisestä puuaihiosta. Mikä tahansa ulkoa tuleva voima vaikuttaa suoraan puun syiden suuntaan, jolla saadaan aikaan tasalaatuinen rakenne. Puu on kaikkein kestäväntä juuri suoraan syiden suuntaan. (KUVIO 16)

Omiin taivutuslujuuden ja taivutuskimmokertoimen määrittämissä testeihin valmistin itse pyhäjokisen koneenkuljettajan Risto Keskitalon verstaalla halkaisijaltaan 14 millimetrin pyörökeppiä tammesta (LIITE 5). Pyörökeppien rakenne vastasi Hexsaft arrows -jousipyssyn nuolia. Tarkoituksena oli testata tammista valmistetun pyörökeppin sekä tällaisesta liimatusta rakenteesta valmistetun pyörökeppin taivutuslujuuden ja taivutuskimmokertoimen eroja.



KUVIO 16. Moderni liimattu nuolirakenne verrattuna perinteiseen pyöreään rakenteeseen (Hexsaft arrows 2010.)

Liimatussa rakenteessa taivutuslujuus kasvaa kun tarkastellaan liimapuuelementtejä, joita on verrattu yhdestä puusta valmistettuun samanlaiseen rakennepuutavaraan. Liiman avulla keskimääräinen taivutuslujuus kasvaa ja myös hajonta pienenee. Tämä johtuu siitä, että rakennepuutavarassa lujuuden ratkaisee tavallisesti oksan kohta tai muu heikompi kohta. Liimapuuelementissä oksankohdat ja muut viat sijaitsevat tasaisesti eri kohdissa elementtiä. On epätodennäköistä, että vialliset kohdat sattuisivat päällekkäin useista eri lamelleista liimatuissa liimapuuelementeissä. Tämän takia liimapuuelementit ovat kestävämpiä. (Carling 2002.) Liima antaa lujuutta, minkä takia tämän pitäisi päteä myös tammista valmistamissani liimapyörökepeissäkin.

Carling puhuu myös liimapuun hauraammasta murrosta. Tällä hän tarkoittaa, että kun liimapuuta kuormitetaan, jännityksen siirtoja ei kerkeä tapahtua. Tällöin kantokyky menetetään kun jännitys ylittää kriittisen arvon. (Carling 2002.) Oleellista on kuitenkin se, että murtoraja on liimapuulla korkeampi kuin liimaamattomalla rakennepuutavaralla, minkä takia hauraammasta murrosta ei ole haittaa. Liimapuun hauraammasta murrosta voidaan vetää johtopäätöksiä myös siihen suuntaan, että taivutuskimmokerroin olisi liimapuulla matalampi kuin rakennepuutavaralla. Liima jäykistää, jolloin elastisuus pienenee.

5 TESTAUS

Pääasiallinen tarkoitus oli määrittää taulukossa 1 mainittujen materiaalien taivutuslujuuden sekä taivutuslukumokertoimen arvo. Rumpukapulatesteihin valittiin yleisimpiä puusta valmistettuja rumpukapuloita. Valinnoissa otettiin huomioon erityisesti rumpukapuloissa käytetty materiaalin niin, että testiin saataisiin mahdollisimman monta erilaista materiaalia. Euroopan valkopyökki, japanin tammi, hikkori ja sokerivaahtera ovat yleisimmin käytetyt puumateriaalit rumpukapuloiden valmistuksessa. Lisäksi huomioon on otettu rumpukapuloiden materiaalin halkaisijan niin, että halkaisija olisi kaikissa mahdollisimman samanlainen. Tämä on tärkeää testiin vertailukelpoisuuden kannalta.

Rumpukapulat	Pyörökepit (Ø n.14mm)
Balbex G5A (Euroopan valkopyökki)	Pyökki
Tama 214P (Japanin tammi)	Tammi
Vicfirth 5A (Hikkori)	Saarni
Vic Firth SD2 Bolero (Sokerivaahtera)	Vaahtera
	Muut materiaalit
	Tammi liimattu
	Puumuovikomposiitti

TAULUKKO 1. Testimateriaalit

Puisista pyörökepeistä testiin valittiin Suomessa luontaisesti tai istuttamalla menestyviä puulajeja. Tärkein kriteeri valinnoissa oli, että materiaalit olisivat kirjallisuusarvoiltaan mahdollisimman kestäviä, jotta niiden käyttö rumpukapuloina olisi teoriassa mahdollista. Lisäksi huomiota on kiinnitetty erityisesti taivutuslukumokertoimen arvoihin. Lisätietoja puumateriaaleista kappaleessa 4.

5.1 Kuivaus

Ennen varsia testejä rumpukapulat ja muut tutkittavat materiaalit vietiin kuivumaan CENTRIAn tutkimus- ja kehityslaitoksen Ylivieskan puulaboratorioon. Rumpukapulat eivät varsinaisesti olleet märkiä, mutta ne oli ostettu monista eri musiikkiliikkeistä, jonka takia niitä oli hyvä säilyttää samassa tilassa kosteusolosuhteiden tasa-painottamiseksi. Kuivausaika, tai tarkemmin sanottuna kuivien materiaalien kosteuden tasaantumisaika, oli ennen testauksia kaikilla materiaaleilla vähintään viikko. Kuivausolosuhteet olivat seuraavanlaiset: suhteellinen kosteus 35–40 % ja lämpötila 18–20 °C. Lukemat mitattiin Vaisalan kannettavalla kosteus- ja lämpömittarilla, joka oli kalibroitu lokakuussa 2009. (KUVIO 17)



KUVIO 17. Vaisalan kosteus- ja lämpömittari

5.2 Pintakosteus

Kuivauksen jälkeen mittasin rumpukapuloiden pintakosteuden. Testaus suoritettiin 21 °C lämpötilassa 14 %:n suhteellisessa kosteudessa a. Pintakosteuden määrittämistä varten otin jokaisesta testattavasta materiaalista 10 mittaustulosta yhteensä 30 cm matkalta. Ensimmäinen mittaus otettiin lyöntipään vastakkaisesta päästä 3cm kohdalta ja siitä eteenpäin mittausarvoja otettiin 3 cm välein aina siihen asti kunnes kapula noin 30 cm kohdalla alkaa kaveta. Mittaus suoritettiin Gann -merkkisellä hydrometrillä. (KUVIOT 18 JA 19)



KUVIO 18. Ganin hydrometri.



KUVIO 19. Pintakosteuden mittaus.

Ennen mittausta oli mittari säädettävä jokaiselle erilaiselle puulajille erikseen riippuen puulajin tiheydestä. Mittarissa ei ollut valmiita asetusarvoja kaikille testaamilleni puulajeille, minkä takia jouduin säätämään oikean testausarvon käsin kirjallisuusarvojen (Lincoln 1998) perusteella. Tästä johtuen pintakosteuden mittauservot eivät ole keskenään verrannollisia eri materiaalien kesken. Ne kertovat kuitenkin hyvin jokaisen materiaalin sisäisistä kosteusvaihteluista.

E erityisen huomioon arvoista on, että 72 prosentissa mitatuista arvoista pienin mitattu kosteusarvo oli lyöntipään vastakkaisessa päässä. Toisaalta myös 44 prosentissa mitatuista arvoista suurin mitattu arvo on kapulan lyöntipäässä. Tämä johtuu päätypuun suuremmasta osuudesta kapulan lyöntipäässä, koska päätypuu imee paremmin kosteutta. Saattaa myös olla, että rumpukapuloiden lakkakerros on kapulan ohenevassa osassa pienempi. Päätypuussa puuainees lähinnä imee pintakäsittelyainetta, minkä takia se vaatii useamman pintakäsittelykerran puuta suojaavan näkyvän pintakäsittelykerroksen aikaansaamiseksi. (LIITE 6)

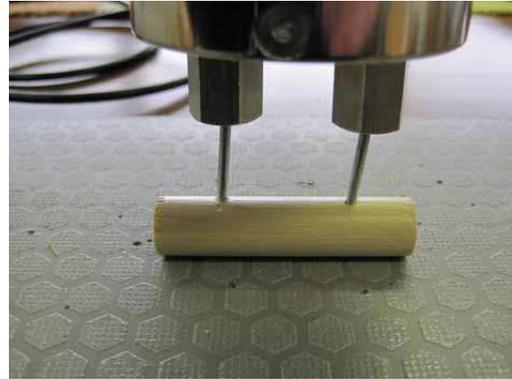
5.3 Testimateriaalien kosteudet

Pintakosteus ei ole kovin tarkka kosteuden mittaumenetelmä, minkä takia mitattiin kaikkien testimateriaalien kosteuden toisellakin mittarilla. AB:n kosteusmittarilla pystyttiin mittaamaan kosteus puun sisältä (KUVIO 20). Mittaukset tuli suorittaa niin, että tarkasteltavissa materiaaleissa piikit lyötiin samalle syvyydelle puun sisälle (KUVIO 21). Puun kuivatessa kosteus haihtuu ensin pinnalta, minkä takia puun keskus saattaa olla märempi. Tämän takia tämä testausmenetelmä antaa parem-

mat ja vertailukelpoisemmat tulokset kuin edellisen kappaleen pintakosteusmittaukset. Kaikkien materiaalien keskimääräinen kosteus oli noin 5,2 % vaihtelun ollessa $\pm 1,3$ %. Testi suoritettiin mittaamalla kosteudet kolmesta eri testikappaleesta, jokaista materiaalia kohden. Testitulokset ovat luettavissa liitteestä. (LIITE 7)



KUVIO 20. AB:n kosteusmittari



KUVIO 21. Kosteuden mittaus

5.4 Standardin SFS-EN 14251 soveltaminen

Taivutuslujuuden ja kimmokertoimen määrittämiseen alle 20 mm pUISille pyöreäkepeille ei ole olemassa standardia. Tämän takia testaamani taivutuslujuuden- ja kimmokertoimen arvot eivät ole suoraan verrannollisia kirjallisuudessa esitettyihin. Kaikki tutkitut materiaalit ovat kuitenkin vertailukelpoisia keskenään, mikä todistetaan tässä luvussa. Lisäksi on käytetty Pro Puu Oy:n (Pro Puu ry 2010) sekä Vartiaisen (Vartiainen 2006) taivutuslujuuden- ja taivutuskimmokertoimen arvoja männylle vertailuarvoina testaustulosten oikeasta suunnasta.

Sovelsin standardia SFS-EN 14251, jossa kuvataan rakenteellisen pyöreän puutavaran testimenetelmiä. Standardissa on ohjeet kimmokertoimen määrittämiseen rakenteelliselle pyöreälle sahatavaralle, jonka paksuus on vähintään 75 millimetriä. Omissa testeissäni pyöreän puutavaran paksuus vaihteli 13,6 -14,2 millimetrin välillä, minkä takia standardia ei voinut suoraan soveltaa käytäntöön. Lisäksi standardissa kuvattu mittauslaitteisto sisältää kaksi voima-anturia. Testauslaitteistossa voima-antureita on vain yksi, joka sijaitsee keskellä mitattavaa kappaletta. Tässä niin kutsutussa kolmipistetäivutuksessa tukivarsien etäisyys on sama molemmin puolin voima-anturia. Katso kuvio 22 ja kuvio 23.

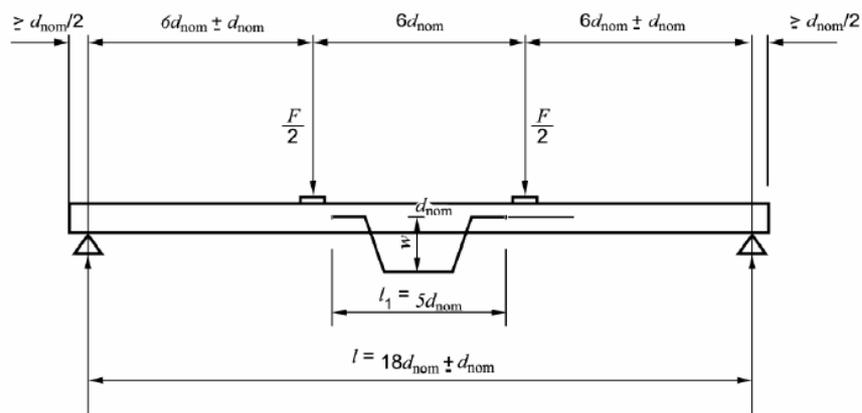


Figure 1 - Test arrangement for the determination of the modulus of elasticity

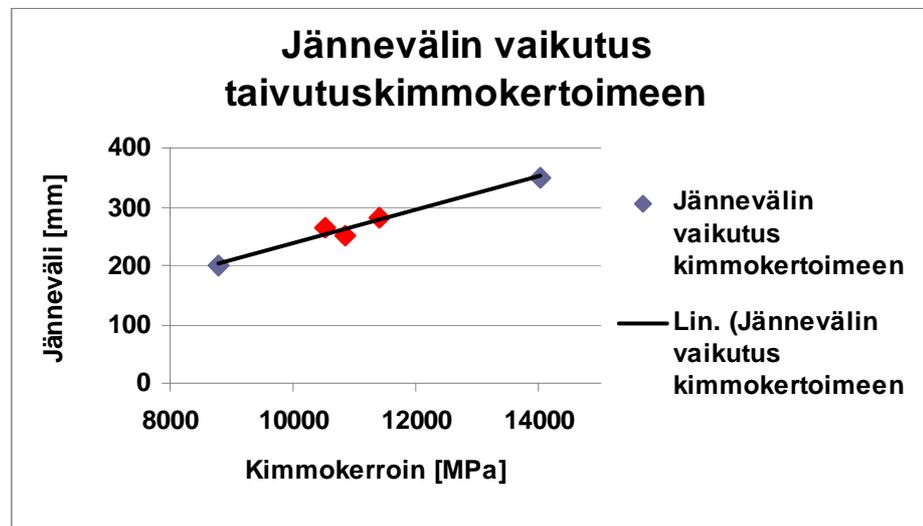
KUVIO 22. SFS-EN 14251 mukainen kimmokertoimen mittauslaitteisto



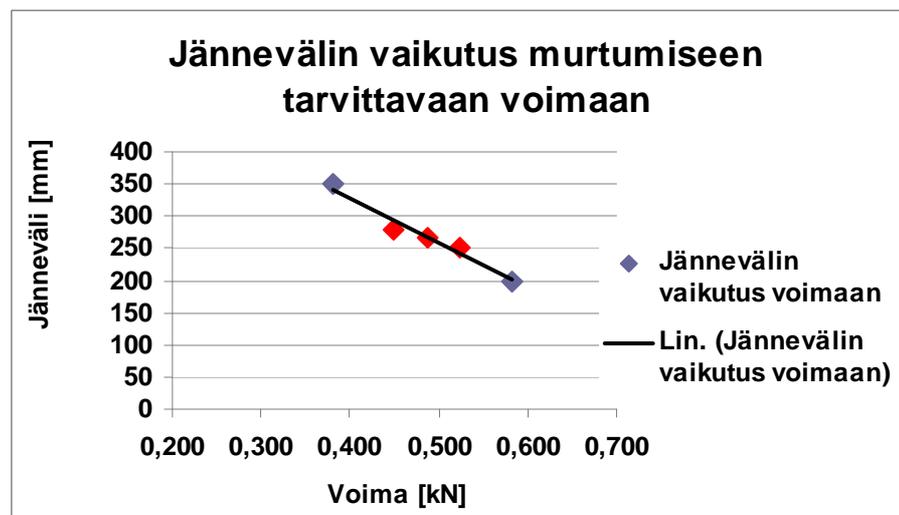
KUVIO 23. Kolmipistetaivutus

Oikeansuuntaisen ja vertailukelpoisen kimmokertoimen määrittämiseksi tein kokeellisia testejä 15 mm halkaisijaltaan olevalla mäntypyörökepillä. Standardissa SFS-EN 14251 mainittu mittauslaitteiston jänneväli kimmokertoimen määrittämiseen on 18 kertaa pyörökepin halkaisija (KUVIO 22). Jännevälin vaihtelua sallitaan halkaisijan verran molempiin suuntiin. Esimerkiksi jos pyörökepin halkaisija on 20 mm, sallitaan jänneväliksi 17–19 kertaa halkaisija eli arvo 340–380 mm.

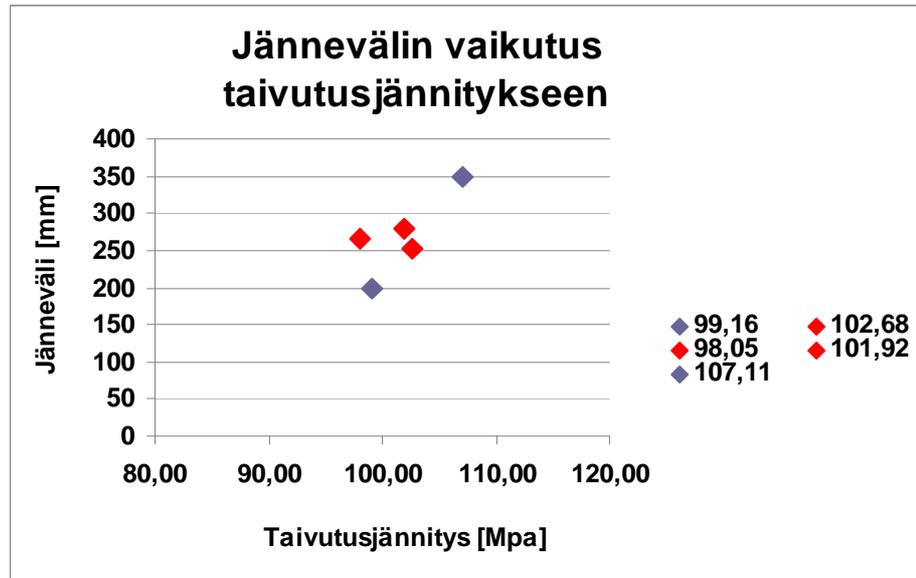
Mäntypyörökepeillä suoritetuissa testeissä totesin jännevälin vaikuttavan kimmokertoimeen niin, että kun jänneväli on paljon pienempi kuin standardissa SFS-EN 1451 määritetty ovat kimmokertoimen arvot paljon pienempiä (KUVIO 24). Myös kappaleen murtumiseen tarvittava voima kasvaa (KUVIO 25). Taivutuslujuudessa ei kuitenkaan havaita selkeitä muutoksia (KUVIO 26). Vääntömomentti kasvaa hieman jännevälin kasvaessa (KUVIO 27). Jännevälin ollessa paljon isompi kuin standardissa SFS-EN 1451 kimmokertoimen arvot ovat vastaavasti paljon isompia ja murtumiseen tarvittava voima pienenee. Taivutuslujuuden arvo pysyy edelleen samansuuruisena. Kuvioden 24–27 sinisten pisteiden testitulokset kokonaisuudessaan liitteessä. (LIITE 8)



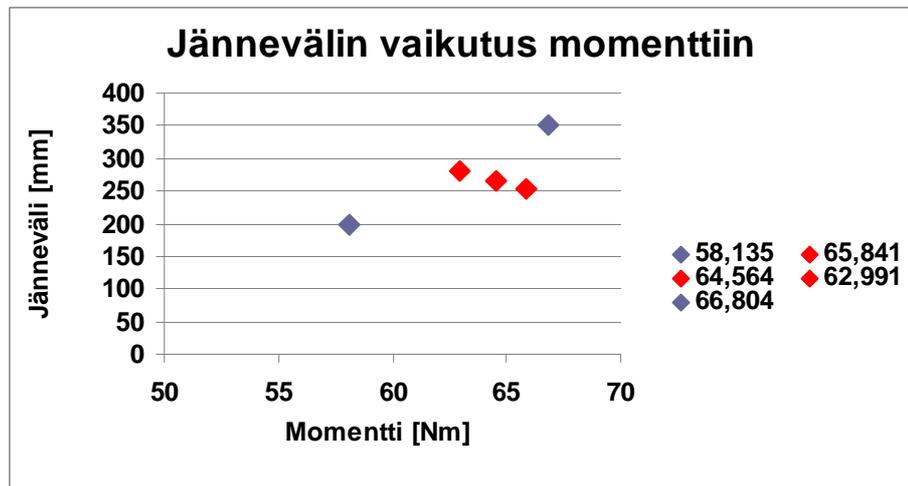
KUVIO 24. Jännevälin vaikutus kimmokertoimeen



KUVIO 25. Jännevälin vaikutus murtumiseen tarvittavaan voimaan



KUVIO 26. Jännevälin vaikutus taivutusjännitykseen (taivutuslujuus)



KUVIO 27. Jännevälin vaikutus momenttiin

Kuvioiden 24–27 punaiset pisteet kuvaavat arvojen vaihtelua kun jänneväli on standardin SFS-EN 1451 mukainen. Standardin mukaan testitulokset ovat hyväksyttäviä kun jänneväli on 17–19 kertaa testimateriaalin halkaisija. Standardin mukaiset testitulokset kokonaisuudessaan liitteessä (LIITE 9). Standardin punaisista pisteistä voidaan todeta, että kimmokertoimien vaihtelu ei kuitenkaan ole oleellisen suurta kun jänneväli on standardin SFS-EN 1451 raja-arvojen sisällä. Kuvion 26 punaisista pisteistä voidaan todeta myös taivutuslujuuden pysyvän hyvin samansuuruisena. Näin ollen jännevälinä voidaan käyttää samaa arvoa kaikille testimateriaaleille, sillä niiden halkaisijan vaihtelut ovat niin pieniä, että jänneväli pysyy raja-

arvojen sisällä. Testaamieni materiaalien halkaisijoiden keskiarvo on 14 mm, jota käytän jännearvon laskemiseen ($18 \times 14 \text{ mm} = 252 \text{ mm}$).

Mäntytestien perusteella voidaan erityisesti todeta se, että kesäpuuta paljon sisältävä puuainees on kimmoisampaa, jolloin sen taivutuslujuus on suurempi ja se vaatii murtuakseen suuremman voiman kuin vähemmän kesäpuuta sisältävä pyörekeppi.

5.5 Taivutuslujuuden ja kimmokertoimen määrittäminen

Taivutuslujuuden ja kimmokertoimen määrittäykset suoritettiin Ylivieskan Centrian tuotantotalouden laboratoriossa. Käytin testeissä Matertest Oy:n Fmt-Mec ruuvi-käyttöistä yleisaineenkoetuslaitetta, jolla voidaan mitata erilaisten aineiden veto-, -puristus ja taivutuslujuuksia. Lisäksi laitteella voidaan suorittaa Brinell-kovuusmittauksia. Kuvista 28 on nähtävissä yläpuolella oleva kolmipistetaivutuslaitteisto, jota käytin mittauksissani. Alapuolella oleva laitteisto on tarkoitettu veto- ja puristuslujuuksien määrittämiseen.



KUVIO 28. Matertest –mittauslaitteisto

Testin vertailukelpoisuuden kannalta oli puun syysuunta tärkeää ottaa huomioon. Testit oli tehtävä niin, että kaikissa vertailtavissa kappaleissa tehdään testejä sama määrä syiden suuntaan ja syitä vastaan kohtisuoraan. Jokaisesta testimateriaalista tehtiin yhteensä 10 testiä, joista viidessä puuta taivutettiin syiden suuntaan ja viidessä puuta taivutettiin kohtisuoraan syitä vasten.

Ennen testiä tuli määrittää testikappaleiden hitausmomentti [mm^4] sekä taivutusvastus [mm^3]. Ensimmäiseksi tuli mitata kappaleiden halkaisija keskeltä kapulaa. Halkaisija mitattiin siitä suunnasta, mistä kapulaa oli tarkoitus taivuttaa. Eli syysuuntaan taivutettaessa halkaisija mitattiin myös syysuunnasta. Halkaisijat kirjattiin, jonka jälkeen hitausmomentti ja taivutusmomentti voitiin laskea näiden pohjalta. Matertest –laitteiston laskentakaavat ja Abb:n kaavat pyöreän kappaleen taivutusvastuksen ja hitausmomentin laskemiseen ovat liitteessä. (LIITE 10)



KUVIO 29. Asemointi

Jokainen testikappale asemoitiin vanerien avulla keskelle testilaitteistoa. Vanerien reiän hahlo oli noin 2mm suurempi kuin testimateriaalien halkaisija. (KUVIO 29) Tämän jälkeen pöytää nostettiin manuaalisesti sen verran, että testikappale pysyi paikoillaan, eikä päässyt pyörimään. Lopuksi vanerit poistettiin ja testikappale oli valmis testattavaksi.

Taivutusnopeus säädettiin testaamalla niin, että maksimivoima saavutettiin standardin SFS-EN 310 mukaisesti 60 ± 30 sekunnissa. Oikea nopeus saatiin testaamalla laitteistoa mäntyisillä pyörökepeillä sekä tekemällä harjoitustestejä muutamalla muulla testikappaleella. Kuviossa 29 oleva taso siis nousi ylöspäin tietyllä nopeudella taivuttaen testikapulaa. Testausnopeudet eri materiaaleille ovat liitteessä. (LIITE 11)

Testausnopeuden lisäksi myös jänneväli oli tärkeää säätää oikeaksi. Jänneväliksi säädettiin 252 mm kaikille muille materiaaleille paitsi sokerivaahteralle, jonka testausarvo oli 292 mm. Jänneväli säädettiin materiaalin halkaisijan mukaan. Tästä asiasta lisää kappaleessa 5.4. Muita tärkeitä säätöjä olivat murtumisen tarkkailun aloitusvoima ja mittauksen aloitusvoima. Mittauksen aloitusvoima asetettiin nol- laan. Mittauksen tarkkailun aloitusvoimaksi asetettiin 0 kN. Murtumisen tarkkailun aloitusvoimaksi asetettiin 0,1 kN, koska nolla ei ollut mahdollinen. Tämä asia vai- kutti vain kuvaajan piirtoon. Muut säädöt olivat lähinnä nimellisiä, eikä niillä ollut vaikutusta tuloksiin. Näitä olivat murtorajakuvaajan grafiikan säätö ja laitteiston maksimiraja-arvot.

Testit suoritettiin standardin ISO 554 mukaisissa testausolosuhteissa. Suhteellinen kosteus piti standardin mukaan olla 50 % +- 5 % ja lämpötila 22 °C +- 2°C. Tes- tausolosuhteet testeissäni olivat: suhteellinen kosteus 22 % ja lämpötila 21°C. Näin ollen ISO 554 mukaisia olosuhteita ei voitu saavuttaa kuin lämpötilan osalta. Testausolosuhteet olivat kuitenkin vakiot kaikilla testaamillani materiaaleilla, joten tekemäni testit ovat vertailukelpoisia keskenään.

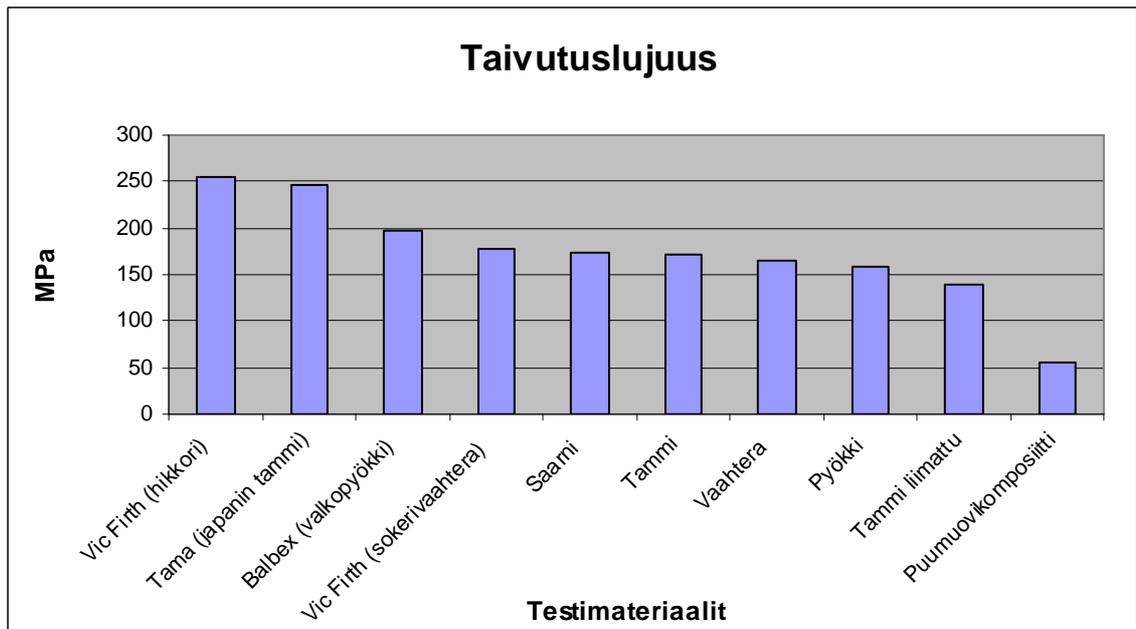
6 TULOKSET

Erilaisia materiaaleja testatessa huomasi, että kaikista eniten tuloksiin vaikuttava asia oli materiaalin syysuunta. Kiero ja mutkitteleva syykuvio antoi heikompia taivutuslujuuden arvoja. Myös taivutuskimmokerroin laski selvästi. Materiaali meni tällaisessa tilanteessa rikki kieron syykuvion kohdalta.

Kierosyisessä kappaleessa murtoraja saavutettiin nopeampaa kuin suorasyisissä koekappaleissa. Lisäksi murtorajansa saavutettuaan ja katkettuaan poikki kappale monesti lensi voimalla pois testauslaitteistosta. Testaamastani pyörökepeistä erityisesti saarni ja vaahtera aiheuttivat tällaisia tilanteita. Myös sokerivaahterasta valmistetut rumpukapulat olivat herkkiä katkeamaan. Rumpukapulakyselyssä saamani tieto sokerivaahterasta valmistettujen rumpukapuloiden halkeilevuudesta tuli näin ollen todistettua oikeaksi. Kierosyisyyden takia jouduin hylkäämään monia saarnin ja vaahteran testituloksia. Rumpukapuloita en hylännyt kierosyisyyden takia, koska materiaalit oli lajiteltu jo tehtaalla rumpukapulamateriaaleiksi soveltuviksi.

Kaikkein kestävimmäksi puumateriaaliksi osoittautui hikkori, eikä sille näyttäisi löytyvän kilpailijaa. Hikkorin miinukseksi voidaan laskea suuri tulosten suuri hajonta. Puulajin ominaispiirteisiin kuuluu kuitenkin erittäin suuret tiheyden vaihtelut riippuen puun kasvupaikasta. Kuitenkin heikointakin hikkorista valmistettua tehtaalla lajiteltua kapulaa voidaan pitää hyvänä rumpukapulana. Ero muihin materiaaleihin on niin selkeä. Japanin tammikin pääsee lähes hikkorin arvoihin, mikä oli Lincolnin (Lincoln 1998) kirjallisuusarvoihin verrattuna yllättävää. (KUVIO 30)

Saarni pääsee taivutuslujuudessa hyvin lähelle kevyempään soittoon tarkoitettuja sokerivaahteraisia kapuloita. Tarkemmat testitulokset kertovat myös, että suorasyisestä saarnista on mahdollista valmistaa lähes euroopan valkopyökkiä vastaavia kapuloita. Taivutuslujuuden ja taivutuskimmokertoimen testitulokset kokonaisuudessaan kaikille testatuille materiaaleille ovat liitteessä (LIITE 12).



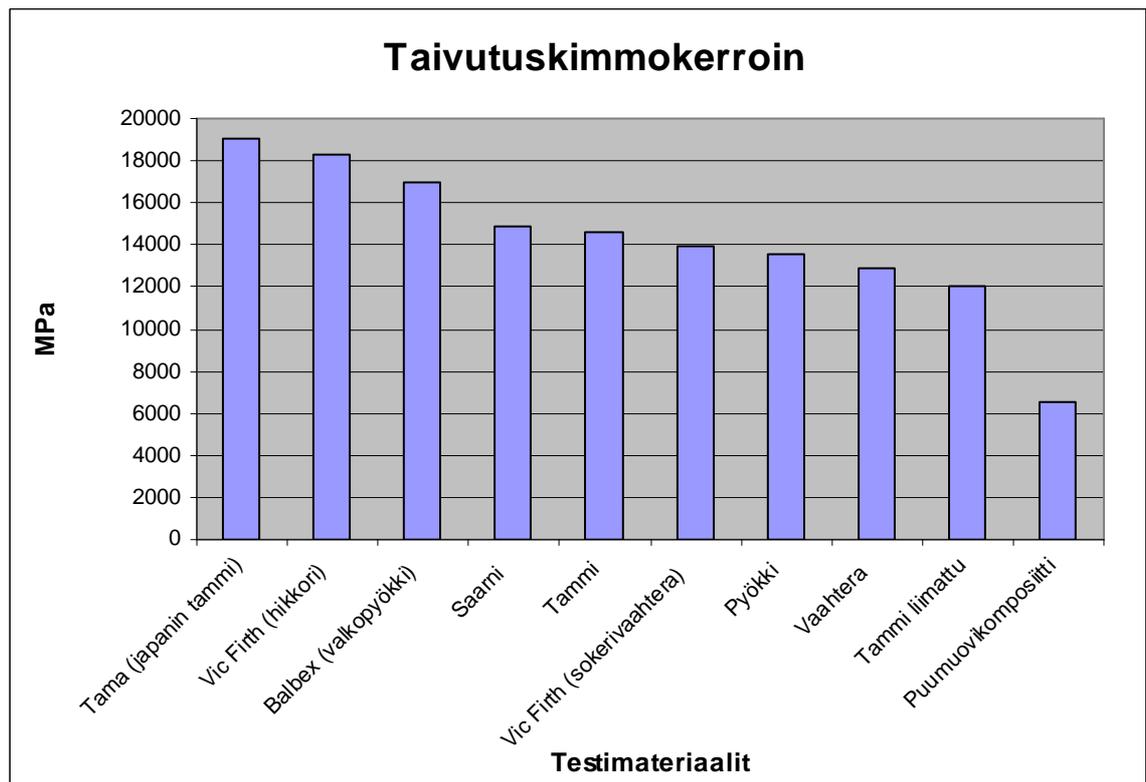
KUVIO 30. Taivutuslujuus

Pienimuotoisissa käytännön soittotesteissä havaittiin, että puumuovikomposiitin etuihin voidaan lukea sen hyvä kulutuksenkestävyys ja se, että materiaalista saa hyvän otteen. Taivutuslujuudeltaan puumuovikomposiitti osoittautui kuitenkin aivan liian heikoksi materiaaliksi käytettäväksi rumpukapuloissa (KUVIO 30). Myös taivutuskimmokerroin on hyvin alhainen (KUVIO 31). Taivutuslujuuden heikkoja testituloksia tukee myös käytännön soittotesteissä havaittu materiaalin heikko iskutaivutuslujuus.

Puumuovikomposiitin murtuminen tapahtui katkeamalla eli toisin kuin puulla. Puu halkesi monesti syiden suuntaan tai vain antoi periksi. Poikkeuksena ovat tosin kierosyiset tammi- ja saarnikapulat, joissa havaittiin myös katkeamista. Murtumistavassa oli hyvin paljon materiaalikohtaisia eroja. (LIITE 13).

Puumuovikomposiitin toinen poikkeama verrattuna puumateriaaleihin oli se, että sen murtumiskäyrä oli hyvin suora. Tästä sekä liitteen 12 testaustuloksista voidaan päätellä, että materiaali on hyvin tasajakoista. Ennen murtumista ei murtumiskäyrässä ole havaittavissa minkäänlaisia notkahduksia. Puulla murtoraja oli selkeästi ennakoitavissa jo murtumiskäyrässä kun taivutusjännityksen kasvu alkoi selkeästi hidastua. (LIITE 13)

Liimatulla tammirakenteella taivutuslujuus heikkeni verrattuna normaaliin tammiiseen pyörökeppiin. Tämä ei ollut tarkoituksena, vaan kokeella haettiin taivutuslujuuden kasvua. Todennäköisesti saumakohdissa oli liian paksu kerros liimaa, jolloin liiman tartunta ei ollut riittävää. Tämä johtuu hionnassa syntyneistä väleistä, joiden tasainen hionta käsin oli erittäin vaikeaa. Puristuksessa en usko olleen ongelmia. Taivutuskimmokerroimen voidaan todeta olevan selkeästi pienempi. Näin kokeen tavoitteet tässä suhteessa saavutettiin. (KUVIO 31)

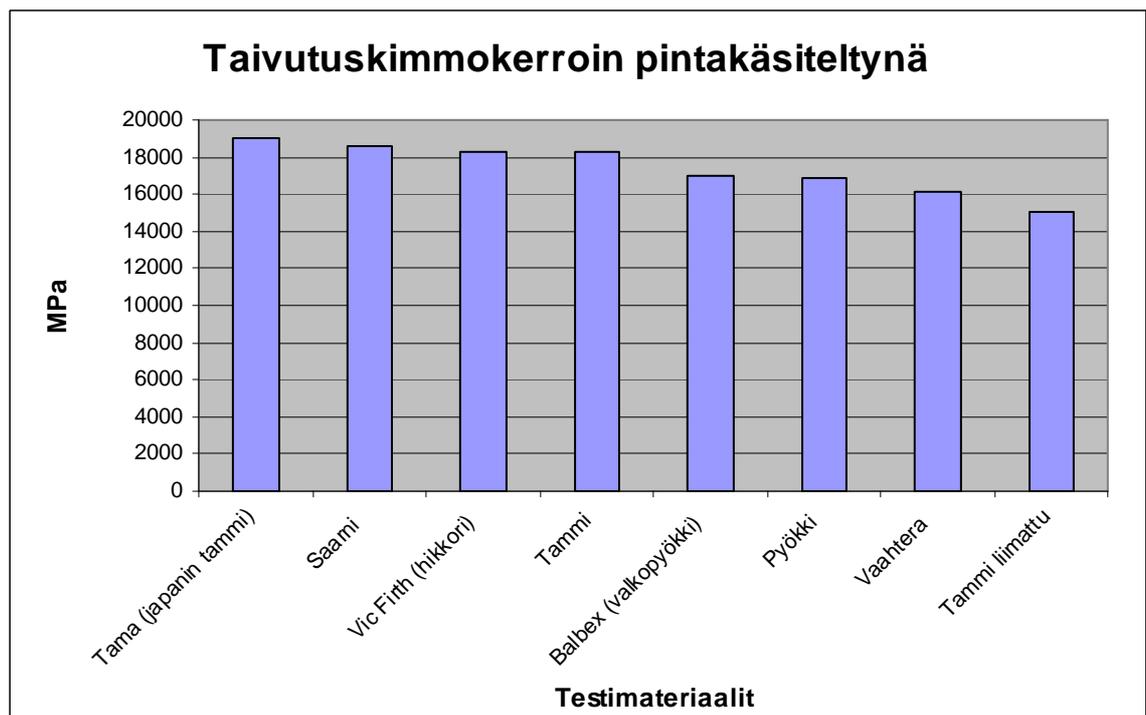


KUVIO 31. Taivutuskimmokerroin

Taivutuskimmokerroimen arvoja mietittäessä on huomattava, että oikeilla rumpukapuloilla suoritettut testit antoivat keskimäärin noin 50 % korkeampia arvoja kuin mitä kirjallisuusarvot (WoodBin 2010). Japanin tammi antoi 55 %, hikkori 54 % ja euroopan valkopyökki 42 % korkeammat testaustulokset. Sokerivaahteralla testaustulos oli vain 10 % Woodbinin kirjallisuusarvoja korkeampi johtuen hyvin todennäköisesti puun suuremmasta halkaisijasta. Kaikille muille puulajeille testauksen jänneväli on täysin sama johtuen samanlaisista halkaisijoista.

Myös suomalaisia puulajeja testatessani taivutuskestävyyden arvot olivat keskimäärin noin 20 % korkeampia kuin Vartiainen (Vartiainen 2006) kirjallisuusarvot. Saarni antoi 14 %, vaahtera 16 % ja tammi 25 % korkeammat testaustulokset. Pyökin arvot olivat kuitenkin jopa 15 % pienemmät kuin Vartiainen kirjallisuusarvot. (LIITE 3)

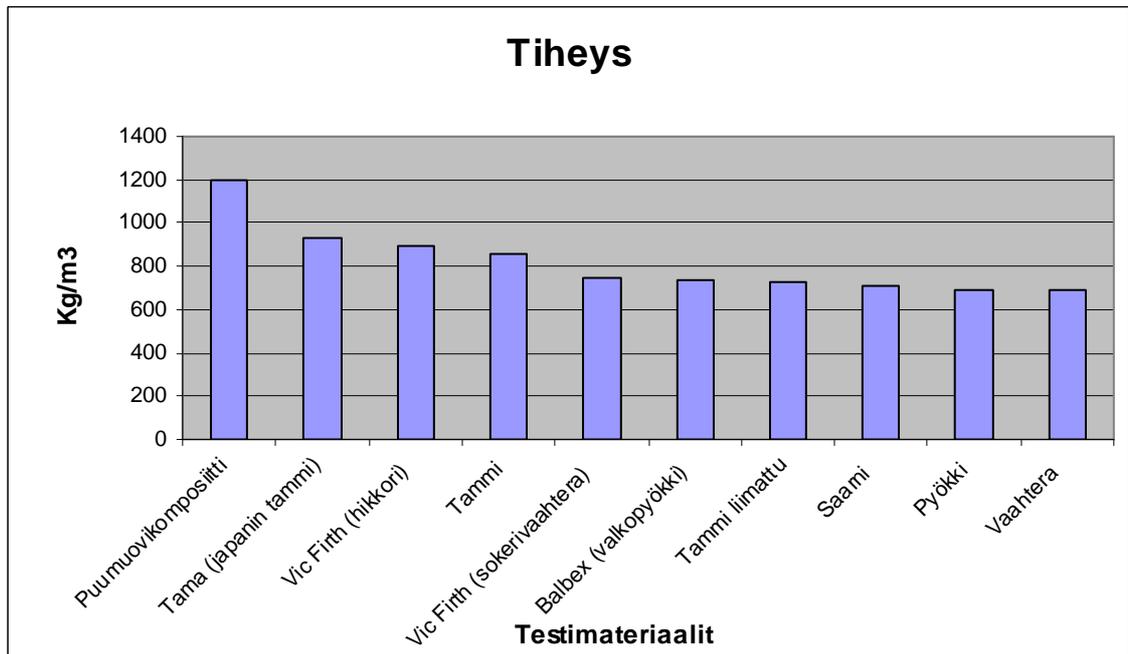
Yhteenvetona voin todeta, että rumpukapuloiden pintakäsittely nostaa taivutuskestävyyttä keskimäärin 20–30 %. Tästä syystä johtuen alla olevassa kuviossa on esitetty taivutuskestävyyden arvot niin, että siinä on kuviteltu kaikkien testimateriaalien olevan samanlailla pintakäsiteltyjä kuin testissä olleet oikeat rumpukapulat. Taivutuskestävyyttä on nostettu pintakäsittelemättömille materiaaleille 25 %. Sokerivaahtera on jätetty pois kuvioista sen erilaisen halkaisijan takia. (KUVIO 32)



KUVIO 32. Taivutuskestävyys pintakäsiteltyinä

Kuviosta 32 on huomattavissa, että kun pintakäsittely otetaan huomioon voidaan saarnia pitää soinnillisilta ominaisuuksiltaan varsin hyvänä vaihtoehtona rumpuka-

pulamateriaaliksi. Myös tammi on varteenotettava vaihtoehto. Pyökillä ja vaahteralla sointi on suurin piirtein samanlainen kuin euroopan valkopyökillä.



KUVIO 33. Tiheys

Tiheyksiä tarkastellessa on selvästi huomattavissa, että mitä suurempi on taivutuslujuus, sitä suurempi on myös tiheys (KUVIO 33). Toisaalta euroopan valkopyökillä on suhteessa erittäin korkea taivutuslujuus verrattuna sen tiheyteen. Puumuovikomposiitilla on huomattavan korkea tiheys verrattuna sen taivutuslujuusarvoihin. Kuvion 33 tiheydet on mitattu jokaisesta puulajista kolmesta testikappaleesta ja niistä on laskettu keskiarvo. (LIITE 14)

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tulosten pohjalta voin sanoa, että rumpukapuloiden valmistus Suomessa menestyvistä puulajeista on hankalaa, mutta se on mahdollista. Hikkorin ja japanin tammen kaltaisiin tuloksiin ei päästä, mutta kohtuullisia rumpukapuloita voidaan valmistaa suorasyisestä saarnista sekä tammesta. Näiden puulajien soinnilliset ominaisuudetkin ovat suurin piirtein samaa luokkaa kuin hikkorilla ja japanin tammella.

Flaxwoodin sähkökitaroissa käytettyä luonnonkuitulujitteista kestopuovikomposiittia ei ainakaan sellaisenaan pystytä käyttämään rumpukapuloissa. Materiaalin iskutaivutuslujuutta olisi parannettava. Myös vaimennuskyvyn parannus voisi olla tarpeen, jotta kapula ei tärähdä niin paljon käsille. Materiaalin paino on myös yksi ongelma. Hyvänä asiana on, että puumuovikomposiitin kaltaisia materiaaleja pystytään parantamaan ja kehittämään käyttötarkoitukseensa soveltuvaksi. Mahdollisesti materiaalia voisi vahvistaa jollain toisella komposiittirakenteella, kuten on tehty Flaxwoodin kitaroiden kauloissa tai kehittämällä kokonaan uusi materiaali.

Liimatun puusta valmistetun pyörökeppirakenteen käyttö ei tämän opinnäytetyön pohjalta ole mahdollista sillä tulokset kertovat taivutuslujuuden laskevan tällaisessa rakenteessa. Myös taivutuskimmokerroin laskee. Jos liimattua pyörökeppirakennetta halutaan kuitenkin käyttää rumpukapuloissa, tulisi pyörökepit valmistaa koneellisesti, jolloin myös taivutuslujuuden kasvu voidaan mahdollisesti todentaa. Liimatun rakenteen edut ovat, että sillä saadaan aikaan homogeeninen rakenne, jossa syysuunta ei vaihtele. Tällöin myös puulle ominainen lujuusominaisuuksien vaihtelu tasoittuu.

LÄHTEET

Abb 2010. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Www-dokumentti. Saatavissa:
http://heikki.pp.fi/abb/020_0007.pdf Luettu: 22.4.2010

Carling, O. 2002. Liimapuukäsikirja. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/kirjasto/liimapuukasikirja/Liimapuukäsikirja.pdf>

Fagerstedt, K. & Pellinen, K. & Saranpää, P. & Timonen, T. 2. Korjattu painos 2004. Mikä puu – mistä puusta 140–143. Helsinki University Press: Helsinki.

Hexsaft arrows 2010. About hexsaft arrows. Www-dokumentti. Saatavissa:
http://www.hexshaftarrows.com/about_hexshafts.html. Luettu 30.3.2010

ISO 3348:1975. Wood -- Determination of impact bending strength. 1975. International Organization for Standardization.

ISO 554:1976. Standard atmospheres for conditioning and/or testing -- Specifications. 1976. International Organization for Standardization.

Järvinen, L. 1996. Puulajit. Helsinki: Suomen metsäyhdistys Ry.

Jääskeläinen, A-S & Sundqvist, H. 2007. Puun rakenne ja kemia. Helsinki: Otatieto. Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd.

Karppinen J-P. 2010. Flaxwoodin Teknisen johtajan haastattelu 13.4.2010. Oy All-Plast Ab. Joensuu.

Koivurova, H. 2010. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun projektipäällikön puhelinhaastattelu 18.5.2010.

Kolppo, K. 2009. Ligniinipohjaiset komposiitit. Luentomuistiinpanot. Teknologikeskus Ketek Oy. Kokkola.

Kurri, V. & Malén, T. & Sandel, R. & Virtanen M. 2002. 3. tarkistettu painos. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Metsäkustannus Oy.

Lincoln, W. 1986. 6. painos 1998. World Woods in Colour. Hertford: Stobart Davies Ltd.

Moisala, P. 1993. Soittotyylin analyysi. Musiikin suunta 15, 7-16.

Pajukoski, M. 2010. Insinööriopiskelijan haastattelu. Tammikuu 2010.

Peltola, P. 2009. UPM Profi puumuovikomposiitti. Luentomuistiinpanot. Teknologiakeskus Ketek Oy. Kokkola.

Pro-Mark. 2010. Tuotteet. Www.dokumentti. Saatavissa: <http://www.promark.com/products/>. Luettu: 10.1.2010.

Pro Puu ry. 2010. Tammi. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuproffa.fi/arkisto/tammi.php> Luettu: 9.3.2010

Raisio, J & Nyman, A. 2003. Mikkoholman lehmuksesta vaisakon tammiin. Vammala: Salonseudun luonnonsuojeluyhdistys ry.

Rumpukapulakysely 2010. Sami Pirkolan rumpaleiden haastattelut. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://rumpu.net/index.asp?sivu=viesti&ID=39435#39435>

Saarela O, Airasmaa I, Kokko J, Skrifvars M & Komppa V. 2003. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

SFS-EN 310. Puulevyt. Taivutuskimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittäminen. 1993. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 14251. Rakenteellinen pyöreä puutavara. Testimenetelmät. 2004.
Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS 4777. Rakennustekninen testaus. Yleiset ohjeet. Taivutuskipmokerroin ja taivutuslujuus. 1982. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Siikanen, U. 1998. 5. painos 2007. Puurakennusten suunnittelu. Vaajakoski: Rakennustieto Oy.

TAMA Drums. 2009. Tuotteet. Www.dokumentti. Saatavissa:
<http://www.tamadrum.co.jp/eu/products/sticks>. Luettu 10.1.2010

Vartiainen, J. 2006. Puun kuva. Hämeenlinna: Multikustannus Oy.

Vater. 2010. Tuotteet. Www.dokumentti. Saatavissa:
<http://www.vater.com/newproducts/index.cfm>. Luettu: 10.1.2010

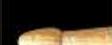
Vic Firth. 2010. Tuotteet. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.vicfirth.com/products/drumsticks.html>. Luettu 10.1.2010

Virto, M. 2010. Rumpuohjeita. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.mikkovirto.net/rumpali.html>. Luettu 18.2.2010

WoodBin woodworking. 2010. Strength properties of commercially important woods. Saatavissa: http://www.woodbin.com/ref/wood/strength_table.htm

balbex ohuesta paksumpaan				lyhyestä pidempään				
VÄRIKOODI	halkaisija milleinä D(mm)	tuuma D(inch)	pituus milleinä L(mm)	tuuma L(inch)	tippimuoto	halkaisija milleinä D(mm)	tuuma D(inch)	tippimuoto
VALK.	11	0,433	410	16 9/64	tasapaksu	395	15 35/64	triangeli
VALK.	13	0,512	410	16 9/64	ovaali	407	16 1/32	pyöreä
VALK.	13	0,512	410	16 9/64	tasapaksu	407	16 1/32	luoti
VALK.	13	0,512	407	16 1/32	pyöreä	407	16 1/32	pyöreä
VALK.	13,5	0,531	395	15 35/64	triangeli	407	16 1/32	triangeli
VALK.	13,5	0,531	407	16 1/32	pyöreä	407	16 1/32	ovaali
SININEN	13,8	0,543	407	16 1/32	luoti	407	16 1/32	triangeli
SININEN	14	0,551	407	16 1/32	triangeli	407	16 1/32	triangeli
SININEN	14	0,551	407	16 1/32	ovaali	407	16 1/32	0,606
SININEN	14	0,551	407	16 1/32	luoti/pyöreä	407	16 1/32	14
SININEN	14	0,551	409	16 7/64	luoti/tynnyni	407	16 1/32	16
SININEN	14	0,551	420	16 17/32	ovaali	407	16 1/32	16
SININEN	14,3	0,563	412	16 7/32	luoti/pyöreä	409	16 7/64	14
SININEN	14,4	0,567	407	16 1/32	triangeli	410	16 9/64	11
PUN.	14,8	0,583	415	16 11/32	pyöreä/tynnyni	410	16 9/64	13
PUN.	15	0,591	407	16 1/32	triangeli	410	16 9/64	13
PUN.	15	0,591	410	16 9/64	ovaali	410	16 9/64	15
PUN.	15	0,591	410	16 9/64	tasapaksu	410	16 9/64	15
PUN.	15	0,591	410	16 9/64	ovaali/pyöreä	410	16 9/64	15
PUN.	15	0,591	425	16 47/64	ovaali	412	16 7/32	14,3
PUN.	15	0,591	430	16 59/64	ovaali/pyöreä	415	16 11/32	14,8
PUN.	15	0,591	440	17 21/64	ovaali	415	16 11/32	16
PUN.	15,4	0,606	407	16 1/32	luoti	420	16 17/32	14
PUN.	15,5	0,61	420	16 17/32	pyöreä	420	16 17/32	15,5
MUSTA	16	0,63	407	16 1/32	pitkä tynnyri	420	16 17/32	16
MUSTA	16	0,63	407	16 1/32	triangeli	420	16 17/32	16
MUSTA	16	0,63	415	16 11/32	pyöreä/tynnyni	420	16 17/32	16
MUSTA	16	0,63	420	16 17/32	pitkä tynnyri	420	16 17/32	16,5
MUSTA	16	0,63	420	16 17/32	tasapaksu	420	16 17/32	17
MUSTA	16	0,63	420	16 17/32	ovaali/pyöreä	420	16 17/32	17,5
MUSTA	16,5	0,65	420	16 17/32	tynnyni	425	16 47/64	15
MUSTA	17	0,669	420	16 17/32	pitkä ovaali	430	16 59/64	15
MUSTA	17	0,669	430	16 59/64	ovaali/pyöreä	430	16 59/64	17
MUSTA	17,5	0,689	420	16 17/32	tynnyni	440	17 21/64	15

Standard models

Tip Style	Model No.		Diameter	Length
	Japanese Oak	American Hickory		
	213B	H213B	13mm	406mm
	214B	H214B	14mm	
	215B	H215B	15mm	
	216B	-	16mm	
	213P	H213P	13mm	
	214P	H214P	14mm	
	215P	H215P	15mm	
	216P	H216P	16mm	
	214N	-	14mm	
	214S	-	14mm	
	215S	-	15mm	

Traditional models

Tip Style	Model No.		Diameter	Length
	Japanese Oak	American Hickory		
	7A	H7A	13mm	390mm
	7AN	H7AN		
	5A	H5A	14mm	406mm
	5AN	H5AN		
	8A	H8A		
	5B	H5B	15mm	
	5BN	H5BN		

Power tools

Tip Style	Model No.		Diameter	Length
	Oak	Hickory		
	OM1	HM1	13mm	394mm
	OM2	HM2	14mm	406mm
	OMN2	HMN2		
	OM3	HM3	15mm	
	OM4	HM4	16mm	
	OM-BC	HM-BC		432mm

VAIHTOEHTOISET RUMPUKAPULAMATERIAALIT

LUJUUSLAJI	Kovuus	Brinell-kovuus	Murtolujuus	Iskulujuus	Taivutuslujuus	Taivutuslujuus	Taivutuslujuus	Taivutuskimmomoduuli	Tiheys	Tiheys
YKSIKKÖ	kN/mm ³		MPa	kJ/m ²	MPa	MPa	MPa	GPa	kg/m ³	kg/m ³
LAHDE	Lincoln 1998	Pro Puu ry 2010	Lincoln 1998	Lincoln 1998	Lincoln 1998	Vartiainen 2006	Vartiainen 2006	Vartiainen 2006	Pro Puu ry 2010	Lincoln 1998
PUULAJI										
Pyökki	12-15	2,1-4,0	55-85	90-120	-	120	15,7	-	-	720
Saarni	10-12	3,0-4,1	35-55	90-120	-	120	13,1	689	-	710
Vaahtera	10-12	2,5-3,5	35-55	90-120	85-120	115	11,1	705	-	690
Tammi	-	3,4-4,1	-	-	-	85	11,5	752	-	670-720

NYKYISIN KÄYTETTÄVÄT RUMPUKAPULAMATERIAALIT

LUJUUSLAJI	Kovuus	Brinell-kovuus	Murtolujuus	Iskulujuus	Taivutuslujuus	Taivutuslujuus	Taivutuslujuus	Taivutuskimmomoduuli	Tiheys	Tiheys
YKSIKKÖ	kN/mm ³		MPa	kJ/m ²	MPa	MPa	MPa	GPa	kg/m ³	kg/m ³
LAHDE	Lincoln 1998	Pro Puu ry 2010	Lincoln 1998	Lincoln 1998	Lincoln 1998	Vartiainen 2006	Vartiainen 2006	Vartiainen 2006	Pro Puu ry 2010	Lincoln 1998
PUULAJI										
Japanin tammi	10-12	-	35-55	60-90	85-120	-	-	-	-	660
Hikkori	15-20	-	55-85	Yli 160	120-175	130	12,0	-	-	820
Euroopan valkopyökki	12-15	-	55-85	90-120	120-175	-	-	-	-	750
Sokeri-vaahtera	12-15	-	55-85	120-160	120-175	-	-	-	-	720

Sain Flaxwoodilta heidän luonnonkuitulujitteisesta kestumuovista valmistamiaan otelautoja, joka on samaa materiaalia kuin heidän valmistamissaan sähkökitaroissa on käytetty (KUVIO A). Ongelmana oli, että otelautojen paksuus oli vain noin 6 mm, minkä takia otelautoja oli kiinnitettävä kaksi päällekkäin. Tämän jälkeen pystyin sorvaamaan otelautoista halkaisijaltaan 10–12 mm pyörökeppejä.



KUVIO A. Otelauta-aihoita



KUVA B. Tuorekermukalvon levitys

Otelaudat kiinnitettiin toisiinsa asetonilla. Ennen otelautojen kiinnittämistä toisiinsa, otelautoista ajettiin sirkkelillä 12–14 mm soiroja. Tämän jälkeen soiron pinnalle levitettiin reilusti asetonia. Materiaalin oli ensin pehmenyttävä eli sulattava asetonin vaikutuksesta ennen kuin soivot voitiin liittää toisiinsa. Asetonin haihtumisen vähentämiseksi ja pehmenysefektin aikaansaamiseksi soiron päälle asetettiin kalvo tuorekermusta (KUVIO B). Toisen soiron kohdalla toimittiin samanlailla.

Kun molemmat soivot olivat pehmenneet tuorekermun alla noin 30 sekuntia asetonikäsittely toistettiin. Tämän jälkeen tuorekermu asetettiin soirojen päälle vielä muutamaksi sekunniksi. Sitten tuorekermu vedettiin pois soirojen päältä ja kappaleet puristettiin yhteen puristimien avulla. Kokonaisuudessaan koko asetonikäsittely vei yhtä valmista kappaletta kohden noin 2 minuuttia. Kiirettä oli pidettävä varsinkin sen takia, että aseton oli erittäin nopea haihtumaan.



KUVIO C. Kappaleen pään sorvaus

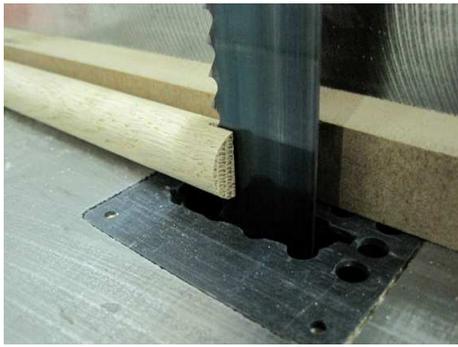


KUVIO D. Sorvaus

Neliön muotoisten aihioden valmistamisen jälkeen sorvasin metallisorvilla aihioista pyöreitä. Sorvi oli kolmepakkainen, minkä takia neliön muotoista kappaletta ei voinut suoraan kiinnittää sorviin. Tämän takia porasin aihion päähän keskelle pienen reiän. Katsoin, että reikä pyörii suurin piirtein keskellä, jonka jälkeen sorvasin pään pyöreäksi (KUVIO C). Reiän sorvaamisen jälkeen käänsin kappaleen toisinpäin ja kiinnitin kappaleen sorviin (KUVIO D). Myös toiselle puolelle oli porattu aloitusreikä keskelle aihiota. Kappaleista saatiin sorvattua 10–12 mm paksuisia pyörökeppejä riippuen aihion paksuudesta (KUVIO E).



KUVIO E. Valmiita kappaleita



A. Pyörökepin halkaisu syiden suuntaan



B. Yhdestä kappaleesta saadaan kaksi ahiota



B. Ensimmäinen aihio



C. Toinen aihio



D. Ajon jälkeen



E. Ennen hiontaa



F. Hionta nauhahiomakoneella



G. Hionnan jälkeen



H. Välit ennen liimausta



I. Liiman pursotus



J. Liiman levitys



K. Kasaus



L. Puristus nippusiteillä



M. Kuivumaan



N. Alkureiän poraus



O. Sorvausta



P. Sorvausta



Q. Hionta 180-, 240-, 320- ja 400-karkeudella



R. Tarkistusmittaus



S. Irroitus



T. Valmis kapula



U. Valmiita kapuloita

PINTAKOSTEUS

Tama 214P

Puulaji: japanin valkotammi

Kapula numero	Mittaus 3 cm	Mittaus 6 cm	Mittaus 9cm	Mittaus 12cm	Mittaus 15 cm	Mittaus 18 cm	Mittaus 21 cm	Mittaus 24 cm	Mittaus 27 cm	Mittaus 30 cm	ka	keskihajonta	Minimi	Maksimi
1	5,2	5,3	5,4	5,4	5,2	5,5	5,4	5,2	5,4	5,2	5,3	0,15	5,0	5,5
2	4,3	4,5	4,5	4,5	4,9	4,8	4,9	5,0	5,0	5,2	4,8	0,28	4,3	5,2
3	4,6	4,6	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	4,9	4,7	4,7	4,9	0,20	4,6	5,1
4	5,0	5,2	4,9	5,2	5,2	5,3	5,5	5,2	5,1	4,9	5,1	0,19	4,9	5,5
5	4,3	4,7	4,6	4,7	4,7	4,9	4,8	4,7	4,7	4,6	4,7	0,16	4,3	4,9
6	4,6	4,7	4,4	4,2	4,7	4,7	5,1	4,6	5,2	5,0	4,8	0,34	4,2	5,2
7	5,2	5,2	5,3	5,4	5,4	5,2	5,2	5,1	5,0	4,9	5,2	0,15	4,9	5,4
8	5,2	5,4	5,2	5,2	5,6	5,9	5,8	5,5	5,3	5,2	5,5	0,25	5,2	5,9
9	4,6	5,0	4,9	4,9	4,8	4,9	4,8	4,6	4,6	4,7	4,7	0,16	4,5	5,0
10	4,2	4,5	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,7	4,6	0,17	4,2	4,8
Vara1	5,8	5,8	5,8	5,8	5,6	5,7	5,6	5,6	5,5	5,5	5,6	0,16	5,3	5,8
Vara2	5,0	5,4	5,4	5,2	5,2	5,5	5,4	5,2	5,1	5,1	5,3	0,16	5,0	5,5

Balbex G5A

Puulaji: euroopan valkopyökki

Kapula numero	Mittaus 3 cm	Mittaus 6 cm	Mittaus 9cm	Mittaus 12cm	Mittaus 15 cm	Mittaus 18 cm	Mittaus 21 cm	Mittaus 24 cm	Mittaus 27 cm	Mittaus 30 cm	ka	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
1	3,1	3,2	3,1	3,1	3,4	3,5	3,7	3,7	3,6	3,6	3,9	0,27	3,1	3,9
2	3,9	4,1	4,0	4,0	4,0	4,1	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	0,07	3,9	4,1
3	3,7	3,8	4,0	3,8	3,8	4,1	3,9	4,0	3,9	3,9	3,9	0,12	3,7	4,1
4	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,7	3,8	3,8	0,09	3,6	3,9
5	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4	3,7	3,6	3,7	3,7	3,8	3,6	0,15	3,4	3,8
6	3,9	4,0	4,0	3,8	3,8	4,0	4,0	3,9	3,9	4,0	3,9	0,08	3,8	4,0
7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,7	3,9	3,8	4,1	4,0	4,0	3,9	0,14	3,7	4,1
8	3,2	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5	3,7	3,8	3,5	0,16	3,2	3,8
9	3,4	3,6	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,7	4,0	3,7	0,16	3,4	4,0
10	3,2	3,3	3,4	3,3	3,3	3,7	3,6	3,4	3,4	3,5	3,4	0,15	3,2	3,7
Vara1	4,1	4,2	4,3	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	3,8	4,0	4,1	0,14	3,8	4,3
Vara2	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,8	3,9	3,7	3,8	3,8	0,08	3,7	3,9

PINTAKOSTEUS

Vicfirth 5A

Puulaji: hikkori

Kapula numero	Mittaus 3 cm	Mittaus 6 cm	Mittaus 9cm	Mittaus 12cm	Mittaus 15 cm	Mittaus 18 cm	Mittaus 21 cm	Mittaus 24 cm	Mittaus 27 cm	Mittaus 30 cm	ka	keskihajonta	Minimi	Maksimi
1	3,4	3,6	3,6	3,6	3,8	3,9	3,9	3,6	3,9	4,5	4,6	0,40	3,4	4,6
2	3,6	4	4	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7	3,8	3,8	0,12	3,6	4,0
3	4	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,7	4,8	0,25	4,0	4,8
4	4,1	4,5	4,5	4,2	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2	4,1	0,15	4,1	4,5
5	3,6	4	4	3,8	3,8	3,9	4	4	4,2	4,4	4,4	0,22	3,6	4,4
6	3,5	3,7	3,8	3,7	3,7	3,6	3,7	3,7	3,8	4	4	0,14	3,5	4,0
7	3,9	4,2	4	4,3	4,3	4,4	4,2	4,2	4,3	4,5	4,5	0,18	3,9	4,5
8	3,7	3,9	4,1	4,1	4,1	4,2	4,1	4,1	4,2	4,4	4,4	0,19	3,7	4,4
9	3	3,1	3,1	3,3	3,2	3,2	3,1	3,3	3,5	3,8	3,8	0,24	3,0	3,8
10	3,6	3,7	3,8	3,6	3,7	3,6	3,6	3,7	3,7	4,5	4,5	0,27	3,6	4,5
Vara1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,2	3,4	3,4	3,5	4,5	4,5	0,38	3,2	4,5
Vara2	3,1	3,2	3	3,2	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,7	3,7	0,19	3,0	3,7

Materiaalien kosteuspitoisuudet**LIITE 7**

Rumpukapulat	Kosteus %
Balbex G5A (Euroopan valkopyökki)	4,5
Tama 214P (Japanin tammi)	4,5
Vic Firth 5A (Hikkori)	5,8
Vic Firth SD2 Bolero (Sokerivaahtera)	4,9
Pyörökepit (Ø n.14mm)	
Pyökki	6
Tammi	4,5
Saarni	6,5
Vaahtera	5,7
Muut materiaalit	
Tammi liimattu	4,0

Jännevälin vaikutus kimmokertoimeen ja taivutuslujuuteen

Materiaali: Mänty pyörökeppi
 Halkaisijan ka: 14,4mm
 Jänneväli: 200mm (14 kertaa halkaisija)

Koestuspäivä: 26.3.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta
1	0,598	99,86	59,774	9662,1	Syiden suuntaan
2	0,668	111,55	66,772	10606,9	Syiden suuntaan
3	0,593	99,06	59,295	8856,4	Syiden suuntaan
4	0,547	97,22	54,658	7773,7	Syitä vastaan kohtisuoraan
5	0,601	106,96	60,134	8729,2	Syitä vastaan kohtisuoraan
6	0,552	98,15	55,177	8259,3	Syitä vastaan kohtisuoraan
7	0,558	93,26	55,826	8143,7	45 astetta
8	0,542	90,59	54,228	8531,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
9	0,573	95,81	57,349	8407,5	Syitä vastaan kohtisuoraan
Keskiarvo X	0,581	99,16	58,135	8774,4	
Hajonta s	0,040	6,51	3,948	867,0	

Materiaali: Mänty pyörökeppi
 Halkaisijan ka: 14,8mm
 Jänneväli: 350mm (23,5 kertaa halkaisija)

Koestuspäivä: 25.3.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta
1	0,339	95,15	59,346	12359,2	Syiden suuntaan
10	0,338	94,73	59,085	12957,2	Syiden suuntaan
2	0,409	114,81	71,604	15303,7	Syiden suuntaan
3	0,366	102,59	63,985	13379,1	Syiden suuntaan
4	0,327	91,64	57,153	11089,0	Syiden suuntaan
5	0,400	112,30	70,042	14119,9	Syitä vastaan kohtisuoraan
6	0,464	130,23	81,223	18202,1	Syitä vastaan kohtisuoraan
7	0,435	122,14	76,178	15384,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
8	0,357	100,28	62,542	13437,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
9	0,382	107,23	66,877	13925,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
Keskiarvo X	0,382	107,11	66,804	14015,7	
Hajonta s	0,045	12,69	7,915	1950,7	

Jännevälin vaikutus kimmokertoimeen ja taivutuslujuuteen

Materiaali: Mänty pyörökeppi
 Halkaisijan ka: 14,8mm
 Jänneväli: 252mm (17 kertaa halkaisija)

Koestuspäivä: 26.3.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta
1	0,460	89,22	57,948	9199,7	Syiden suuntaan
10	0,507	98,39	63,905	10196,6	Syiden suuntaan
2	0,574	111,41	72,361	11853,6	Syiden suuntaan
3	0,380	73,72	47,881	7497,4	Syiden suuntaan
4	0,446	88,24	56,167	8886,4	Syiden suuntaan
5	0,628	124,28	79,107	14268,9	Syitä vastaan kohtisuoraan
6	0,648	128,37	81,707	13637,5	Syitä vastaan kohtisuoraan
7	0,537	106,29	67,655	10897,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
8	0,513	101,58	64,660	10362,5	Syitä vastaan kohtisuoraan
9	0,532	105,29	67,020	11675,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
Keskiarvo X	0,523	102,68	65,841	10847,6	
Hajonta s	0,082	16,57	10,320	2098,5	

Materiaali: Mänty pyörökeppi
 Halkaisijan ka: 14,75mm
 Jänneväli: 266mm (18 kertaa halkaisija)

Koestuspäivä: 25.3.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta
1	0,574	119,85	76,289	13907,5	Syiden suuntaan
10	0,435	87,38	57,902	10162,0	Syiden suuntaan
2	0,601	120,59	79,911	12688,7	Syiden suuntaan
3	0,490	98,40	65,211	10097,5	Syiden suuntaan
4	0,562	112,85	74,783	11018,6	Syiden suuntaan
5	0,406	81,43	53,965	9095,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
6	0,471	94,46	62,597	9104,7	Syitä vastaan kohtisuoraan
7	0,450	90,41	59,915	10232,5	Syitä vastaan kohtisuoraan
8	0,431	86,50	57,324	9754,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
9	0,442	88,64	57,740	9180,3	Syitä vastaan kohtisuoraan
Keskiarvo X	0,486	98,05	64,564	10524,16	
Hajonta s	0,069	14,48	9,184	1606,6	

Jännevälin vaikutus kimmokertoimeen ja taivutuslujuuteen

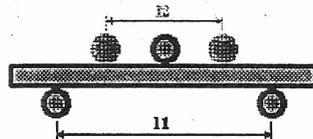
Materiaali: Mänty pyörökeppi
 Halkaisijan ka: 14,75mm
 Jänneväli: 280,2mm (19 kertaa halkaisija)

Koestuspäivä: 25.3.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

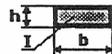
Koekappale	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta
1	0,391	86,13	54,821	Tulos puuttuu	Syiden suuntaan
10	0,417	91,69	58,361	9766,8	Syiden suuntaan
2	0,464	102,04	64,952	11633,9	Syiden suuntaan
3	0,404	92,72	56,657	10580,5	Syiden suuntaan
4	0,438	100,39	61,342	11441,7	Syiden suuntaan
5	0,402	92,08	56,263	10261,7	Syitä vastaan kohtisuoraan
6	0,604	138,48	84,621	14105,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
7	0,507	116,18	70,994	13713,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
8	0,433	99,20	60,615	10537,2	Syitä vastaan kohtisuoraan
9	0,437	100,30	61,287	10453,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
Keskiarvo X	0,450	101,92	62,991	11388,2	
Hajonta s	0,064	15,23	8,948	1541,1	

3. TAIVUTUSKOKEEN KAAVAT (EN 310 JA EN 789 MUKAAN)

F	N tai kN	Voima
f _m	N/mm ²	Taivutuslujuus
M	Nmm	Taivutusmomentti
E _m	N/mm ²	Kimmomoduuli
l ₁	mm	Jänneväli (3 ja 4-piste taivutus)
l ₂	mm	Taivutinväli (4-piste taivutus)
a ₁	mm	Siirtymän arvo kun voima on 0,1F _{max}
a ₂	mm	Siirtymän arvo kun voima on 0,4F _{max}
A	mm ²	Pinta-ala



3.1 POIKKIPINTA-ALAN LASKENTA



h = Korkeus [mm]
b = Leveys [mm]

3.2 TULOSKAAVAT

■ I = Hitausmomentti [mm⁴] $I = \frac{bh^3}{12}$

■ W = Taivutusvastus [mm³] $W = \frac{bh^2}{6}$

	3-PISTETAIVUTUS	4-PISTETAIVUTUS
■ Taivutuslujuus	$f_m = \frac{Fl_1}{4W}$	$f_m = \frac{F(l_1 - l_2)}{4W}$
■ Taivutusmomentti	$M = \frac{Fl_1}{2}$	$M = \frac{F(l_1 - l_2)}{2}$
■ Kimmomoduuli	$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{48I(a_2 - a_1)}$	$E_m = \frac{l_1^2 l_2(F_2 - F_1)}{16I(a_2 - a_1)}$

F₁ = 0,1F_{max}
F₂ = 0,4F_{max}

- Kimmomoduuli lasketaan regressioanalyysillä (pienimmän neliösumman menetelmä) mittauksista jotka ovat 0,1F_{max} ja 0,4F_{max} välillä.

Pyöreän kappaleen taivutusvastus ja hitausmomentti

Poikkipinta	Taivutusvastus W	Hitausmomentti I
	$\frac{\pi}{32} D^3$	$\frac{\pi}{64} D^4$
	$\frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$

(Abb 2010.)

Rumpukapulat	Testinopeus (mm/s)	Keskimääräinen murtumisaika (s)
Balbex G5A (Euroopan valkopyökki)	0,3	44
Tama 214P (Japanin tammi)	0,35	42
Vic Firth 5A (Hikkori)	0,4	42
Vic Firth SD2 Bolero (Sokerivaahtera)	0,3	50
Pyörökepit (Ø n.14mm)		
Pyökki	0,25	48
Tammi	0,25	46
Saarni	0,25	52
Vaahtera	0,25	55
Muut materiaalit		
Tammi liimattu	0,25	50
Puumuovikomposiitti	0,1–0,2	42

Taivutuslujuus ja kimmokerroin

Materiaali: Rumpukapula Balbex G5A (Euroopan valkopyökki)

Halkaisijan ka: 14,05mm

Jänneväli: 252mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 11 kpl
Hylättyjä 1 kpl (liian nopea taivutus)
V = Varakappale

Koestuspäivä: 9.4.2010

Suorittaja: Sami Pirkola
3-Pistetaivutus

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	0,852	201,29	107,296	16690,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
V1	0,872	222,47	109,877	18961,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
2	0,803	189,87	101,209	16124,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
3	0,867	204,86	109,199	17132,7	Syitä vastaan kohtisuoraan
4	0,863	206,31	108,790	17037,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
5	0,740	176,93	93,298	15107,0	Syiden suuntaan
6	0,860	205,49	108,358	17254,0	Syiden suuntaan
7	0,832	198,88	104,874	16831,1	Syiden suuntaan
8	0,818	195,46	103,069	17264,9	Syiden suuntaan
9	0,907	216,65	114,243	17918,6	Syiden suuntaan
V2	0,598	152,59	75,364	16471,4	Kohtisuoraan, (kierteisyy)
Keskiarvo X	0,819	197,35	103,234	16981,2	
Hajonta s	0,085	19,25	10,756	979,4	

Materiaali: Rumpukapula Vic Firth SD2 Bolero (sokerivaahtera)

Halkaisijan ka: 16,2mm

Jänneväli: 292mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 10 kpl
Hylättyjä 0 kpl

Koestuspäivä: 26.4.2010

Suorittaja: Sami Pirkola
3-Pistetaivutus

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	1,020	175,16	148,943	12654,0	Kohtisuoraan, (kierteisyy)
10	1,173	201,45	171,300	16608,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
2	1,045	179,36	152,520	13070,2	Kohtisuoraan, (kierteisyy)
3	1,017	174,58	148,450	13504,1	Kohtisuoraan, (kierteisyy)
4	0,924	158,68	134,933	13494,3	Kohtisuoraan, (kierteisyy)
5	1,035	177,70	151,104	13983,2	Syiden suuntaan (kierteisyy)
6	1,019	174,95	148,766	13127,8	Syiden suuntaan (kierteisyy)
7	0,960	164,89	140,213	13214,6	Syiden suuntaan (kierteisyy)
8	0,965	165,63	140,842	13123,5	Syiden suuntaan (kierteisyy)
9	1,178	202,29	172,015	16204,2	Syiden suuntaan
Keskiarvo X	1,034	177,47	150,909	13898,47	
Hajonta s	0,084	14,40	12,245	1369,7	

Taivutuslujuus ja kimmokerroin

Materiaali: Rumpukapula Vic Firth 5A American classic (hikkori)

Halkaisijan ka: 14,0mm

Jänneväli: 252mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 10 kpl
Hylättyjä 2 kpl (liian nopea taivutus)
V = Varakappale

Koestuspäivä: 12.4.2010

Suorittaja: Sami Pirkola
3-Pistetaivutus

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	1,120	267,65	141,138	22309,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
10	1,040	240,55	131,001	15088,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
V1	0,934	238,20	117,647	16679,9	Syitä vastaan kohtisuoraan
V2	1,015	258,84	127,842	17702,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
4	1,253	290,01	157,932	23134,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
5	1,026	240,04	129,331	14870,8	Syiden suuntaan
6	0,964	225,37	121,426	14037,7	Syiden suuntaan
7	1,271	297,22	160,136	23037,5	Syiden suuntaan
8	1,249	292,10	157,379	22509,7	Syiden suuntaan
9	0,890	208,14	112,144	13863,6	Syiden suuntaan
Keskiarvo X	1,076	255,81	135,598	18323,3	
Hajonta s	0,140	30,44	17,638	3979,2	

Materiaali: Rumpukapula Tama 214P (Japanin tammi)

Halkaisijan ka: 14,0mm

Jänneväli: 252mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 9 kpl
Hylättyjä 5 kpl (liian nopea taivutus)
V = Varakappale

Koestuspäivä: 12.4.2010

Suorittaja: Sami Pirkola
3-Pistetaivutus

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	1,018	245,99	128,319	19400,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
V1	1,130	288,34	142,413	22702,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
2	0,897	221,49	113,059	16568,7	Syitä vastaan kohtisuoraan
V2	0,906	231,18	114,179	17589,5	Syitä vastaan kohtisuoraan
4	0,990	244,34	124,720	18403,1	Syitä vastaan kohtisuoraan
V3	0,956	243,86	120,440	Ei tulosta	Syiden suuntaan
V4	0,954	225,61	120,261	17839,5	Syiden suuntaan
7	1,015	250,55	127,893	20134,6	Syiden suuntaan
8	1,055	260,49	132,965	19654,4	Syiden suuntaan
Keskiarvo X	0,991	245,76	124,917	19036,6	
Hajonta s	0,074	20,21	9,280	1896,4	

Taivutuslujuus ja kimmokerroin

Materiaali: Pyörökeppi Pyökki
 Halkaisijan ka: 14,00mm
 Jänneväli: 252mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 8 kpl Hylättyjä 1 kpl (liian nopea taivutus) Hylättyjä 1 kpl (sorvausvirhe)

Koestuspäivä: 19.4.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale nro Hyväksytyt	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	0,680	152,43	85,697	13416,3	Syitä vastaan kohtisuoraan
2	0,656	153,50	82,703	13162,9	Syitä vastaan kohtisuoraan
3	0,653	152,66	82,249	13581,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
4	0,642	150,04	80,837	12946,6	Syitä vastaan kohtisuoraan
5	0,760	177,71	95,747	14926,9	Syiden suuntaan
7	0,689	161,23	86,866	14424,4	Syiden suuntaan
8	0,728	170,35	91,779	13,243,0	Syiden suuntaan
9	0,636	148,63	80,091	12323,1	Syiden suuntaan
Keskiarvo X	0,681	158,32	85,746	13540,3	
Hajonta s	0,044	10,57	5,545	884,9	

Materiaali: Pyörökeppi Saarni
 Halkaisijan ka: 14,15mm
 Jänneväli: 252mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 10 kpl Hylättyjä 5 kpl (kierteissy) Hylättyjä 1 kpl (oksa) V = Varakappale

Koestuspäivä: 20.4.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale nro Hyväksytyt	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	0,752	166,75	94,746	14374,2	Syitä vastaan kohtisuoraan
10	0,732	162,25	92,188	13512,0	Syitä vastaan kohtisuoraan
2	0,818	181,45	103,094	15306,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
V1	0,760	187,64	95,779	14040,9	Syitä vastaan kohtisuoraan
V4	0,854	206,36	107,647	17412,9	Syitä vastaan kohtisuoraan
5	0,736	163,26	92,757	14061,7	Syiden suuntaan
V5	0,778	187,81	97,969	17651,1	Syiden suuntaan
7	0,710	157,38	89,417	13345,1	Syiden suuntaan
V6	0,827	183,45	104,228	15897,3	Syiden suuntaan
9	0,667	147,82	83,987	13194,8	Syiden suuntaan
Keskiarvo X	0,763	174,42	96,181	14879,7	
Hajonta s	0,057	17,75	7,238	1633,3	

Taivutuslujuus ja kimmokerroin

Materiaali: Pyörökeppi Tammi
 Halkaisijan ka: 14,05mm
 Jänneväli: 252mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 8 kpl Hylättyjä 1 kpl (asetusvirhe) Hylättyjä 1 kpl (kierteissyy)

Koestuspäivä: 19.4.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
10	0,673	157,47	109,877	16295,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
2	0,760	177,65	101,209	15520,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
3	0,790	184,68	109,199	16080,3	Syitä vastaan kohtisuoraan
4	0,744	174,11	108,790	11982,9	Syitä vastaan kohtisuoraan
6	0,757	177,00	108,358	15887,2	Syiden suuntaan
7	0,754	176,26	104,874	14556,3	Syiden suuntaan
8	0,701	163,97	103,069	11304,9	Syiden suuntaan
9	0,686	160,35	114,243	15355,8	Syiden suuntaan
Keskiarvo X	0,733	171,44	107,452	14623,0	
Hajonta s	0,041	9,63	4,183	1921,6	

Materiaali: Pyörökeppi tammi liimattu
 Halkaisijan ka: 13,85mm
 Jänneväli: 252 (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 10 kpl Hylättyjä 0 kpl

Koestuspäivä: 19.4.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	0,621	145,22	78,243	11834,4	Puuhun
10	0,569	133,17	71,750	12504,5	Puuhun
2	0,603	141,03	75,983	12253,8	Puuhun
3	0,581	143,45	73,224	12657,4	Puuhun
4	0,600	148,02	75,557	11571,7	Puuhun
5	0,472	116,54	59,487	9565,4	Liimasaumaan
6	0,497	122,59	62,576	11200,3	Liimasaumaan
7	0,634	156,38	79,824	13438,9	Liimasaumaan
8	0,560	138,16	70,524	12165,4	Liimasaumaan
9	0,626	154,57	78,900	13647,4	Liimasaumaan
Keskiarvo X	0,576	139,91	72,607	12083,92	
Hajonta s	0,054	12,86	6,846	1167,6	

Taivutuslujuus ja kimmokerroin

Materiaali: Pyörökeppi vaahtera
 Halkaisijan ka: 14,0mm
 Jänneväli: 252mm (18 kertaa halkaisija)

Hyväksytyjä testejä 11 kpl Hylättyjä 2 kpl (kierteissy)
--

Koestuspäivä: 20.4.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Huom. Taivutussuunta (Vika)
1	0,794	175,99	99,992	13195,4	Syitä vastaan kohtisuoraan
10	0,725	160,69	91,296	12375,5	Syitä vastaan kohtisuoraan
2	0,672	149,09	84,709	12928,3	Syitä vastaan kohtisuoraan
3	0,805	178,43	101,378	13148,8	Syitä vastaan kohtisuoraan
4	0,734	162,75	92,469	12595,1	Syitä vastaan kohtisuoraan
V1	0,641	158,15	80,724	13246,5	Syiden suuntaan
6	0,739	163,85	93,093	11966,9	Syiden suuntaan
7	0,702	155,58	88,392	12345,8	Syiden suuntaan
V2	0,723	178,57	91,150	13843,8	Syiden suuntaan
V3	0,691	170,56	87,062	14376,6	Syiden suuntaan
9	0,748	165,89	94,254	11851,3	Syiden suuntaan
Keskiarvo X	0,725	165,41	91,320	12897,6	
Hajonta s	0,048	9,64	6,100	773,7	

Materiaali: Luonnonkuitulujitteinen kestumuovikomposiitti
 Halkaisijan ka: Jokaisessa erilainen
 Jänneväli: Halkaisijan mukaan (18 kertaa halkaisija)
 Taivutussuunta: Liitosta vastaan kohtisuoraan

Koestuspäivä: 25.5.2010
 Suorittaja: Sami Pirkola
 3-Pistetaivutus

Hyväksytyjä testejä 5kpl Hylättyjä testejä 1 kpl (laitteiston asetusvirhe)

Koekappale nro	Voima [kN]	Jännitys [N/mm ²] ja [MPa]	Momentti [Nm]	Kimmomod. [N/mm ²] ja [MPa]	Halkaisija [mm]	Jänneväli [mm]
1	0,101	67,72	7,603	6291,2	8,3	150
2	0,063	40,20	4,762	Ei tulosta	8,45	152
3	0,135	61,99	12,171	Tallennusvirhe	10,0	180
4	0,176	58,08	18,265	6127,3	11,6	207
5	0,144	52,75	14,553	7180,6	11,2	202
Keskiarvo X	0,124	56,15	11,471	6533,0		
Hajonta s	0,043	10,46	5,388	566,8		



A. Hikkori



B. Japanin tammi



C. Euroopan valkopyökki



D. Sokerivaahtera



E. Saarni



F. Tammi



G. Pyökki

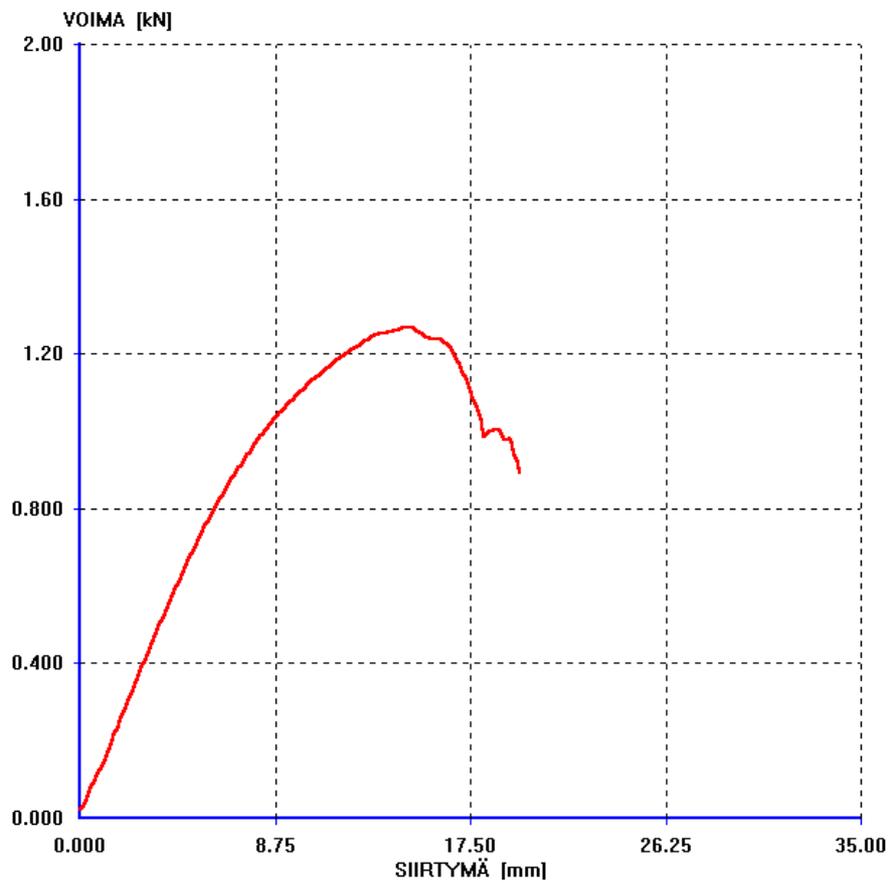


H. Vaahtera



I. Liimattu tammi

J. Puumuovikomposiitti



Esimerkki hikkorin murtumiskäyrästä

Tiheydet mitattiin perinteisillä punnitus ja tilavuuden määritysmenetelmällä. Ensin kappale punnittiin, jonka jälkeen laskettiin sen tilavuus. Tiheys saadaan kun paino jaetaan tilavuudella. (KUVIO A JA B) Tiheydet mitattiin kolmesta eri testikappaleesta jokaista testimateriaalia kohden.



KUVIO A. Punnitus



KUVIO B. Tilavuuden laskenta

Rumpukapulat	Tiheys kg/m ³ (Kolme mittausta)
Balbex G5A (Euroopan valkopyökki)	734
Tama 214P (Japanin tammi)	930
Vic Firth 5A (Hikkori)	893
Vic Firth SD2 Bolero (Sokerivaahtera)	745
Pyörökepit (Ø n.14mm)	
Pyökki	689
Tammi	859
Saarni	706
Vaahtera	691
Muut materiaalit	
Tammi liimattu	724
Puumuovikomposiitti	1155