

Mänty- ja koivupienpuun käyttömahdollisuudet rakennepuutuotteissa (EWP)

Tekesin osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti

Henrik Heräjärvi, Aki Jouhiaho, Vesa Tammiruusu, Tuula Nuutinen,
Tuomo Väärä, Erkki Verkasalo



JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS

**Mänty- ja koivupienpuun käyttömahdollisuudet
rakennepuutuotteissa (EWP)**

Tekesin osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti

Henrik Heräjärvi, Aki Jouhiaho, Vesa Tammiruusu, Tuula Nuutinen, Tuomo Väärä,
Erkki Verkasalo

Heräjärvi, H., Jouhiaho, A., Tammiruusu, V., Nuutinen, T., Väärä, T. & Verkasalo, E. 2003. Mänty- ja koivupienpuun käyttömahdollisuudet rakennepuutuotteissa (EWP). Tekesin osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 890. 58 s. + liitteet. ISBN 951-40-1877-X, ISSN 0358-4283.

Avainsanat: EWP, koivu, mänty, pienpuu, rakennepuutuotteet

Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, Joensuu, puh. 010 2111, fax. 010 211 3113, sähköposti: henrik.herajarvi@metla.fi

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki -tutkimusohjelma (PKM)

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto, PL 18, 01301 Vantaa, puh. 010 211 2200, fax. 010 2201

Hinta: 10 €

Hyväksynyt: Tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 1.4.2003

Painopaikka: Joensuun yliopistopaino

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
1.1 Tausta	6
1.2 Pienpuuraaka-aineen laatu ja käyttö	7
1.3 Rakennepuutuotteet (Engineered Wood Products)	11
1.4 Tutkimuksen tavoitteet	16
2 MENETELMÄT JA AINEISTO	18
2.1 Tuotteiden raaka-ainevaatimukset	18
2.2 Laboratoriokokeet	19
2.3 Alueittaiset raaka-ainekertymät	23
2.4 Raaka-aineen tehdashinnat ja rakennepuutuotannon talous	24
2.5 Standardit ja tuotesuojaukset	26
3 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	26
3.1 Tuotteiden raaka-ainevaatimukset	26
3.2 Laboratoriokokeet	29
3.3 Alueittaiset raaka-ainekertymät	36
3.4 Raaka-aineen tehdashinnat ja rakennepuutuotannon talous	39
3.5 Standardit ja tuotesuojaukset	41
4 PÄÄTELMÄT JA JATKOTUTKIMUSTARPEET	45
KIRJALLISUUS	49

ALKUSANAT

Kotimaisessa puutuoteteollisuudessa on viime vuosina ryhdytty entistä tehokkaammin hyödyntämään jatkojalostuksen ja uudentyypisten tuotteiden tarjoamia liiketoimintamahdollisuuksia. Tutkimus ja tuotekehitys pyrkivät edistämään uusien innovaatioiden syntymistä ja niiden nopeaa mutta riskit minimoivaa käyttöönottoa tuotannossa ja markkinoinnissa. Erityisesti kotimaisen pienpuun lisäkäyttö uusissa, jalostusarvoltaan korkeissa tuotteissa nähdään koko metsäklusterin toimintaedellytyksiä parantavana tavoitteena.

Metsäntutkimuslaitoksessa toteutettiin vuonna 2002 esiselvityshanke ”Suomalaisen pienpuun soveltuvuus EWP-tuotantoon”, jonka loppuraporttina syntyi käsillä oleva julkaisu. Tässä julkaisussa pyritään luomaan laatuaan ensimmäinen katsaus kotimaisen rakennepuutuotannon mahdollisuuksiin erityisesti pienpuun hyödyntämisen kannalta. Samalla täsmennetään ja yhtenäistetään rakennepuutuotteisiin liittyvää, aiemmin kovin sekavasti ja osin epäjohdonmukaisesti käytettyä terminologiaa. Tähän asti rakennepuutuotteita on kutsuttu kotimaassa nimellä ”insinööripuutuotteet” ja englanninkielisissä maissa nimellä ”Engineered Wood Products” (EWP).

Esiselvityshanke toteutettiin pääosin Tekesin Tukista Tuplasti –teknologiaohjelman rahoituksella. Metla osallistui hankkeen kustannuksiin omarahoitusosuudella sekä vakinaisen henkilöstön työpanoksella. Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Olavi Mikkola (Schauman Wood Oy) ja jäseninä olivat Pentti Hakkila (VTT Prosessit), Risto Itkonen (Finnforest Oy), Matti Kairi (TKK), Jarmo Laitinen (Metso Oyj), Markku Lehtonen (Wood Focus Oy), Tuula Nuutinen (Metsäntutkimuslaitos), Erkki Salmenlinna (Koskisen Oy), Pekka Salonen (Wood Focus Oy) sekä Juha Vaajoensuu (Tekes). Arvokkaita kommentteja käsikirjoitukseen esittivät myös professori Matti Kärkkäinen Joensuun yliopistosta sekä vanhempi tutkija Tuomo Poutanen Tampereen teknillisestä yliopistosta. Toimiva yhteistyö Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puutekniikan osaston kanssa mahdollisti tutkimuksen laboratoriokokeiden joustavan toteuttamisen.

Haluamme esittää lämpimät kiitokset sekä kaikille edellä mainituille että muille hankkeen edistymiseen myötävaikuttaneille henkilöille ja organisaatioille arvokkaista kommentteista, avoimesta tiedonvaihdosta ja yhteistyöstä hankkeen aikana.

Joensuu, toukokuussa 2003 Tekijät

TIIVISTELMÄ

Rakennepuutuotteilla (Engineered Wood Products) tarkoitetaan puutuotteita, jotka on valmistettu liimaamalla yhteen puulastuja, säleitä, viiluja tai muita pilkottuja puupartikkeleita siten, että tuotteesta on saatu kimmoisuus-, lujuus- ja osin myös kosteus-elämisominaisuuksiltaan massiivipuuta tasalaatuisempi. Tämän esitutkimuksen tavoitteena oli tutkia, onko suomalaisesta mänty- ja koivupienpuusta mahdollista valmistaa rakennepuutuotteita raaka-aineominaisuuksien ja raaka-aineen teknis-taloudellisten hyödyntämismahdollisuuksien puolesta.

Kotimainen mänty- ja koivupienpuu ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan pääosin kilpailukykyisiä raaka-aineita verrattuna muualla maailmassa rakennepuutuotteisiin käytettäviin puulajeihin. Laboratoriokokeissa havaittiin, että kooltaan OSB-levylle tyypillisistä lastuista on mahdollista valmistaa lujaa ja jäykkää rakennepuupalkkia, edellyttäen että lastujen suuntaamisessa onnistutaan riittävän hyvin. Pieniläpimittaisesta männystä ja koivusta laboratoriossa valmistettujen, lähinnä pienidimensioista OSL-palkkia muistuttavien koekappaleiden lapetaivutuslujuudet vaihtelivat 40-52 MPa:n välillä ja taivutuskimmoisuudet 6500-8600 MPa:n välillä, kun järeän mäntytukin oksattomasta pintaosasta tehtyjen optimilaatua edustaneiden vertailukoekappaleiden lapetaivutuslujuus oli keskimäärin 59 MPa ja -kimmoisuus 9700 MPa. Aiempien selvitysten perusteella lienee selvää, että kotimaassa voidaan investoida lähinnä johonkin OSB-levyä pienemmällä tuotantovolyyymilla valmistettavaan palkki- tai levytuotteeseen. Valmistettavissa olevia tuotteita samoin kuin tuotteiden valmistusmenetelmiä rajoittavat monet tuotesuojaukset.

Tarkastelluilla metsäkeskusalueilla (Kaakkois-Suomi, Häme-Uusimaa, Lounais-Suomi, Etelä-Pohjanmaa) on vuoden 2001 toteutuneisiin hakkuisiin suhteutettuna pääsääntöisesti joko ennallaan pysyvä tai kasvava vuotuinen kuitupuun hakkuupotentiaali. Vuonna 2001 toteutuneet hakkuut olivat keskimäärin 1/3 – 2/3 suurimman kestävän hakkuumäärän arviosta. Poikkeuksena oli Etelä-Pohjanmaan alue, jossa hakkuut olivat vuonna 2001 lähes suurimman kestävän hakkuusuunnitteen mukaiset. Tältä kannalta tarkasteltuna uuden pienpuuta käyttävän teollisuuden luominen jollekin kyseisistä alueista on mahdollista.

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Teollistuneissa maissa suurin osa pienpuusta käytetään massa- ja paperiteollisuudessa (esim. Peltola 2002). Suomessa selluloosateollisuus on käyttänyt mäntyä 1920-luvulta ja koivua 1950-luvulta. Viime vuosina pienpuun käyttöä kemiallisessa puunjalostuksessa on lisännyt lähes yksinomaan tehtaiden tuotannon pullonkaulojen avaaminen asteittain.

Noin kaksi kolmannesta kaikesta Suomessa tuotetusta sahatavarasta käytetään rakentamiseen (Sipi 1998). Sahausmäärät ovat siis voimakkaasti riippuvaisia rakentamisesta. Koko Euroopassa puurakenteisten talojen osuus kaikista uusista talonrakennushankkeista on noin 10 % ja betoni- tai tiilirakenteisten noin 90 %. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa runkorakennusmateriaalien osuudet ovat lähes päinvastaiset. Puutuoteteollisuuden vision 2010 mukaan puun käyttöä rakentamisessa ja laadukkaana asumisen kuluttajatuotteissa pitäisi lisätä nykyisestä niin kotimaassa kuin tärkeimmillä vientimarkkinoillakin. Siinä tapauksessa, että jatkossakin aiotaan tukeutua perinteiseen rakentamiseen sahatavarasta ja sen jatkojalosteista, järeän tukin saataavuuden heikkeneminen ja samanaikainen puun lisääminen rakennuskäytössä muodostavat vaikeasti ratkaistavan yhtälön. Kysymystä voi olla helpompi lähestyä muiden kuin järeän tukin käyttöön perustuvien rakennustuotteiden avulla. Voidaanko harvennusemetsien ja päätehakkueleimikoiden pienpuusta tuottaa kannattavasti perinteistä sahatavaraa korvaavia tuotteita?

Perinteisellä havusahatavaralla on rakennusteollisuuden kannalta muutamia epäedullisia piirteitä. Ensinnäkin, hukkaprosentti talonrakentamisessa rakennustyömaalla on suuri: vain arviolta 70-80 % työmaalle tuodusta sahatavarasta päätyy lopputuotteeseen eli taloon. Toiseksi, sahatavara sisältää aina erilaisia vikoja ja epäjatkuvuuskohtia, jotka heikentävät sen lujuutta ja kasvattavat siten laskennallisia varmuuskerroimia. Tällaisia vikoja ja epäjatkuvuuskohtia ovat muiden muassa oksat, halkeamat, lahot, reaktiopuu, syysuuntapoiikkeamat ja myös vajaasärmät. Sahatavaran lujuusmassa –suhde tai lujuus-dimensio –suhde ovatkin muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna vaatimattomalla tasolla.

Käytännössä pienpuuta käytetään rakentamisessa eniten perinteisenä sahatavarana ja höylättyinä, profiloituina, sormijatkettuina tai aihioituina jatkojalosteina (esim. Boren 1999, 2001, Wall 2002). Tällöin puhutaan pikkutukeista, joiden minimiläpimitta vaihtelee välillä 9-14 cm ja pituus välillä 2,6-4,6 m. Pikkutukin sahaus on tähdännyt ensisijaisesti huonekalu- ja rakennuspuusepänteollisuuden tarpeisiin. Suuri osa sahatavarasta on kuitenkin laadultaan lähinnä pakkaus- tai rakennussahatavaraa (vrt. Jouhiahho & Uusitalo 2001, Wall ym. 2003). Pikkutukeista saadaan dimensioiltaan keskimääräistä pienempää sahatavaraa, mikä rajoittaa sen käyttöä mm. talonrakentamisessa. Otollisia käyttökohteita löytyy kuitenkin mm. korjausrakentamisesta ja tee-se-itse –tuotteista (Verkasalo 2001, Wall 2002). Erikoisuutena Suomessa tuotetaan muutamilla sahoilla pienpuusta edelleen myös ns. egyptinparrua, joka on vakiomittainen, nelisahattu, tyveltä latvaa kohti kapeneva ja nimensä mukaisesti Egyptin rakennusmarkkinoille toimitettava massiivipuutuote.

Pienpuun rakennuskäyttöä on Suomessa pikkutukkien sahausken ohella pyritty edistämään myös pyöröpuutuotteiden avulla (esim. Boren ym. 1998, Ranta-Maunus 1999, Boren ym. 2000, Heräjärvi ym. 2000, Kivinen & Pietilä 2000, Pietilä ym.

2000, Boren 2001, Stöd 2002b). Näillä tarkoitetaan erilaisia aita- ja rakennustolppia sekä muita piha- ja ympäristörakentamisen sekä puutarhojen ja viinitarhojen rakennelmia. Joko suoraksi ympyrälieriöksi sorvatut tai latvaa kohti kapenevat katkaistun ympyräkartion muotoiset pyöröpuurakenteet ovat kuitenkin rakennusteknisesti haastavia. Mm. kieroutuminen ja halkeilu kuivauksessa ja käytön aikana monimutkaistavat ovi- ja ikkunarakenteiden sekä kantavien palkkien liitosten suunnittelua ja ovat hidastaneet tuotteiden kaupallistumista. Pyöreätä tai osin profiloitua puuta on kokeiltu käytettäväksi myös vaneri- tai OSB-uumaisten I-palkkien paarteina (Koch ym. 1989). Näistä ei kirjoittajien tietämyksen mukaan ole muodostunut kaupallista tuotetta. Pyöröpuurakenteiden suunnitteluun on innostanut pieniläpimittaisen raakapuun oletetun hyvän saatavuuden ja edullisen hinnan lisäksi myös mahdollisuus hyödyntää vaneri- tai LVL-tehtailta ylijääviä sorvipurilaita.

Ensiharvennuspuun käyttömahdollisuuksista on pinta-alaperusteisesti tarkasteltu Suomessa yli puolet hyödyntämättä (esim. Boren 2000, Verkasalo 2001, Hakkila ym. 2002). Mäntykuitupuun kotimainen tarjonta kattaa lähes kokonaan kuiduttavan teollisuuden nykyisen kysynnän. Mäntykuitupuuta tuotiin kuitenkin Suomeen vuonna 2001 noin 1,36 milj. m³. Valtaosa eli 6,86 milj. m³ tuontikuitupuusta oli koivua, lisäksi kuusikuitupuuta tuotiin 1,51 milj. m³ (Peltola 2002). Koivun lisäksi muita lehtikuitupuulajeja, tarkoittaen käytännössä haapaa, tuotiin 0,4 milj. m³. Koivukuitupuun raaka-ainetilanne suhteessa puun käyttöön on varsin ristiriitainen: noin puolet Suomessa jalostetusta koivukuitupuusta tuodaan Venäjältä, samalla kuitenkin erityisesti Länsi-Suomessa on merkittävä mutta puutteellisesti hyödynnetty koivuraaka-ainereservi (ks. Peltola 2002). Suometsien merkitys teollisuuden puuhuollossa kasvaa tulevaisuudessa turvemaille tehtyjen ojitus- ja lannoitusinvestointien tuottaessa tulosta. Valtaosa tästä raakapuureservistä on harvennushakkuiden pieniläpimittaista mäntyä ja koivua (esim. Nuutinen ym. 2000, Niemi ym. 2002).

Suomessa 1960-luvulla alkanut ja 1990-luvun alkuun asti jatkunut männyn intensiivinen viljely monentyyppisille kasvupaikoille takaa pääosin heikkolaatuisen mäntypienpuun runsaan tarjonnan periaatteessa ainakin seuraavalle 30-50 vuoden ajanjaksolle (ks. esim. Uusvaara 1975, 1985, Kellomäki ym. 1992, Nurmi 2002). Käytännössä kotimaisen puun tarjonta teollisuuden käyttöön riippuu puukauppojen toteutumisesta, mihin vaikuttavat vallitsevan kantohintatason lisäksi lukuisat eri tekijät. Ellei haluta laskea sen varaan, että mänty- ja koivupienpuuta kemiallisesti jalostava teollisuus lisääisi kuitupuun käyttöä olennaisesti, on haettava keinoja näiden puutaveralajien mekaaniseen jalostukseen.

1.2 Pienpuuraaka-aineen laatu ja käyttö

Selluloosa- ja paperiteollisuudessa jalostustekniikka on suunniteltu pääosin tavallista ensiharvennuspuuta järeämmän raakapuun käsittelyyn. Esim. rumpukuorinnassa ohuet harvennuspuupölkyt murskaantuvat järeämmän kuitupuun seassa, mikä kasvat-
taa kuorintahävikkiä (Hakkila ym. 1995). Mielenkiintoa ensiharvennuspuuta kohtaan ovat laskeneet myös sen eräät kuidutuksen kannalta negatiiviset ominaisuudet, mm. paperin lujuusominaisuuksia heikentävä alhainen kuidun pituus sekä selluloosan saantoa laskeva alhaisempi puuaineen tiheys (esim. Hakkila ym. 1995, Saranpää 2002). Lisäksi ensiharvennuspuukuitu sekoittuu tehtailta epä-tasaisesti muun raaka-
aineen joukkoon aiheuttaen siten vaihtelua sellun laadussa. Pieniläpimittainen män-

tykuitupuu soveltuu kuitenkin hyvin esimerkiksi pehmpaperin valmistukseen ja hienopaperin valmistuksessa korvaamaan lyhytkuituista koivusellua.

Hakkila ym. (1995) määrittelevät Suomessa valtaosin alaharvennuksina toteutettavien harvennushakkuiden tavoitteet seuraavasti: ”Metsikön luonnonmukaista elinkaarta myötäillen poistuma kohdistetaan kasvukyvyltään ja tekniseltä laadultaan heikoimpaan puustoon. Ensisijaisesti poistetaan kilpailussa alakynteen jääneitä puuyksilöitä mutta laatuharvennuksena myös etukasvuisia susipuita.”

On siis selvää, että vain pieni osa harvennushakkuupoistumasta kelpaa perinteisen puutuoteteollisuuden tarpeisiin. Koska järeän tukkipuun saatavuus kuitenkin on heikentynyt, pikkutukin käyttö puutuoteteollisuudessa on lisääntynyt erityisesti havupuiden mutta viime aikoina myös koivun osalta.

Nykyinen terveoksaista mäntysahatavaraa käyttävä huonekaluteollisuus voi hyödyntää myös ensiharvennushakkuista saatavaa puutavaraa. Jouhiaho & Uusitalo (2001) havaitsivat ensiharvennusmänniköiden keskisaheista saatavan A-laadun sahatavaraa tukin läpimittaluokittain tarkasteltuna lähes yhtä paljon kuin järeiden puiden latvaosista, noin 55 %. Ensiharvennuksissa oli puolestaan selvästi päätehakkuita vähemmän B-laadun ja vastaavasti enemmän C-laadun saheita. A-laadun saheista valtaosa luokiteltiin A4-alaluokkaan. Kasvupaikan viljavuustason ei havaittu vaikuttavan ensiharvennuksilta korjatuista mäntypikkutukeista saadun sahatavaran laatujaumaan.

Voitaneen kuitenkin sanoa, että pikkutukista saadaan oksatonta tai vähäoksaista sahatavaraa vain vähän. Sen sijaan suuretkin terveet oksat ovat tavallisia, kuolleita oksia taas on keskimäärin vähemmän kuin järeästä tukista tuotetussa sahatavarassa (mänty: ks. Hakala 1992, Boren 2001, Jouhiaho & Uusitalo 2001, Wall ym. 2003; koivu: ks. Varis 2000, Lehtimäki ym. 2002, Varis 2002). Oksat vaikeuttavat sahatavaran jalostusta: kuolleet oksat irtoavat ja terveet halkeilevat kuivauksessa ja molemmat oksatyypit vaikeuttavat höyläystä. Lisäksi oksat lisäävät sahatavarakappaleen kuivausmuodonmuutoksia, alentavat sen lujuutta ja luovat tuotteeseen oman visuaalisen ilmeensä.

Pääosin havupuu- mutta viime aikoina myös muutamat koivusahat ovat suuntautuneet pieniläpimittaisen ja lyhyen tukin sahaukseen aina 9 cm:n latvaläpimittaan ja runsaan kahden metrin tukkipituuksiin saakka (ks. luku 1.1). Verkasalo (2001), Stöd (2002a) ja Wall (2002) luettelevat sahaamalla jalostetun havupikkutukin olemassa oleviksi käyttökohteiksi huonekalujen osat, rakennuspuusepänteollisuuden tuotteet, liimapuun, pakkausjärjestelmät, piha- ja ympäristörakentamisen, korjausrakentamisen ja tee-se-itse -tuotteet. Pieniläpimittaista, enimmäkseen terveoksaista koivua käytetään eniten huonekaluissa ja lattiapäällysteissä (Heikkinen 1999, Lehtimäki ym. 2002, Varis 2002).

Pikkutukkien prosessointiin suunniteltuja sahakoneita ja -linjoja on tarjolla useilla suurilla ja myös pienemmillä sahakonevalmistajilla. Pikkutukin sahauksessa keskeinen ongelma on tukkien alhainen järeys ja lukuisat muotoviat, varsinkin mutkat ja lenkous (Kärkkäinen 1980a, 1980b, Uusvaara 1985, Hakala 1992). Nämä tekijät aiheuttavat suoraan tai välillisesti useimmat ensiasteen jalostuksessa ilmenevät vaikeudet. Ensinnäkin ne vaikeuttavat teknisesti sahausprosessia ja kasvattavat raaka-aineen käytösuhdetta (m^3 raaka-ainetta / m^3 tuotetta). Pienimmissä latvaläpimittaluokissa (9-11 cm) tarvitaan yli kolme kuutiometriä kuorellista tukkia yhden täyssärmäisen sahatavarakuutiometrin tuottamiseen (Jouhiaho & Uusitalo 2001, Wall ym. 2003). Pienpuulle tyypillinen monivääryys, lenkous ja mutkaisuus aiheuttavat

sen, että vain vähäinen osa ensiharvennumännystä (Stöd 2002a) ja -koivusta (Lehtimäki ym. 2002) on sahaukseen soveltuva.

Tasaisen lenkouden tai lievän mutkaisuuden vaikutuksia pyritään kompensoimaan kehittämällä käyräsahaustekniikkaa, joka mahdollistaa sahanterien tietyissä rajoissa tapahtuvan tukin yhdensuuntaisen lenkousakselin mukailun. Moniväärien tukkien kohdalla – joita mm. pieniläpimittaiset lehtipuutukit usein ovat – käyräsahaus ei toimi. Pohjois-Amerikassa on käytössä ns. käärmesahauslaitteita, joilla voidaan mukaila tukin mutkia monipuolisemmin kuin tavanomaisessa yhdensuuntaisessa käyräsahauksessa. Kyseinen tekniikka on kuitenkin niin kallis, ettei ainakaan johtava kotimainen pienpuusahakonevalmistaja sitä hyödynnä, vaikka mahdollisuus onkin olemassa.

Lyhyet tukkipituudet (esim. 2-3 m) kasvattaisivat niin hehtaarikohtaisia pikku-tukkipuita kuin sahauksen saantoakin; tällöin rungon muotovikaisia kohtia voidaan välttää tavanomaisia tukkipituuksia helpommin ja lyhyissä tukeissa lenkous, mutkaisuus tai kartiokkuus eivät ole yhtä vahingollisia vikoja kuin pitkissä (ks. Wall 2001, Heräjärvi & Verkasalo 2002, Wall ym. 2003). Sahauksen nettotuotto kuitenkin laskee siirryttäessä lyhyempiin tukkipituuksiin (Fröblom 2001, Wall ym. 2003). Lisäksi pituuksien pienentäminen aiheuttaa vaikeuksia mm. tukkien kuorintaan (n. 2 metriä on minimitukkipituus nykyisille kuorimakoneille), suurilla linjanopeuksilla tukkien syöttölaitteiden toimintaan (tukkien lukumäärä pituusyksikköä kohti kasvaa) sekä sahatavaran käyttäytymiseen ja kapasiteetin käyttöasteeseen kuljettimilla, lajittelu- ja rimoituslaitoksissa, kuivauksessa ja paketoinnissa (sahatavarakappaleiden lukumäärä pituusyksikköä kohti kasvaa).

Ominaisuuksiensa perusteella pienpuu soveltuu myös perinteisen lastu- tai kuitulevyteollisuuden raaka-aineeksi. Verkasalon (2001) mukaan näitä teollisuudenaloja ei kuitenkaan voida pitää potentiaalisina pienpuun käyttäjinä, koska sahojen ja vaneritehtaiden sivutuotteet takaavat niille jo nyt riittävän raaka-ainelähteen.

Pienpuun mekaanista jalostusta rajoittavat siis yhtäältä puutavaran alhainen järeyys ja heikko runkomuotolaatu, mutta toisaalta myös itse puuaineen ei-toivotut ominaisuudet. Viimeksi mainitulla tarkoitetaan suurta nuorpuun, oksapuun ja kuoren suhteellista osuutta. Nuorpuun, joksi luetaan puulajista ja –yksilöstä riippuen suunnilleen 5-25 ensimmäistä vuosirengasta puun ytimeä alkaen, ominaisuudet poikkeavat muun puuaineen eli ns. aikuispuun ominaisuuksista mm. suuremman vuosirengasleveyden, alhaisemman keskimääräisen tiheyden, lujuuden ja jäykkyyden, lyhyemmän kuitupituuden, ohuempien soluseinämien, korkeamman ligniini- ja alhaisemman selluloosapitoisuuden sekä soluseinämän jyrkemmän mikrofibrillikulman suhteen (esim. Kärkkäinen 1985, Sarvas 2002). Viimeksi mainittu aiheuttaa nuorpuuhun moninkertaisen pituussuuntaisen kuivauskutistuman aikuispuuhun verrattuna, mikä havaitaan kuivattaessa sahatavaran voimakkaana vääntyilynä, kieroutumisena ja halkeiluna (esim. Uusvaara 1985, Boren 2001, Saranpää 2002). Nuorpuuta voidaan jalostus- ja käyttötekniisten ominaisuuksiensa puolesta verrata reaktiipuuhun. Reaktiipuuta esiintyy runkojen mutka- ja lenkokohdissa: havupuissa puristus- eli lylypuuta rungon koveralla puolella ja lehtipuissa vetopuuta rungon kuperalla puolella (Kärkkäinen 1985, Zobel & van Buijtenen 1989).

Nuorpuun muodostuminen on sidoksissa jälleen ikään siten, että puun biologisesta iästä riippumatta jälsi tuottaa ensimmäiset 5-25 vuotta nuorpuuta ja alkaa vasta sen jälkeen tuottaa aikuispuuta. Tästä syystä nuorpuu muodostaa runkoon ydinkeskeisen lähes tasapaksun lieriön, joka suippenee kartioksi vasta puun latvaosassa, jossa vuo-

sirenkaiden lukumäärä on vähemmän kuin mainitut 5-25 kpl (Zobel & van Buijtenen 1989).

Jos oletetaan puun jälleen muodostavan nuorpuuta 15 vuotta, ja puun sädekasvunopeuden olevan 3 mm/a, kaikki rungon läpimitan 90 mm yläpuolelle muodostunut puuaines on nuorpuuta. Vastaavasti ko. läpimitan alapuolella aikuispuun osuus rungon tilavuudesta kasvaa sitä suuremmaksi, mitä lähempänä tyveä ollaan. Esimerkkitapauksessa aikuispuun osuus tavoittaa maksiminsa puun tyvellä, jossa sitä on ytimen ympärille sijoittuvaa noin 90 millimetrin läpimittaista nuorpuulieriötä lukuun ottamatta koko ulkopuolinen vaippa. Ohjeiden mukaan ajoitetussa ensiharvennuksessa poistettavien puiden keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta on tavallisesti alle 15 cm. Harvennuspoistuma samoin kuin päätehakkuiden latvapölkyt ovat siten suurelta osin nuorpuuta.

Jos pienpuu jalostetaan sahatavaraksi, nuorpuun aiheuttamiin ongelmiin voidaan vaikuttaa muutamilla jatkojalostuksen keinoilla. Tunnetuin tapa välttää sahatavaran kuivausmuodonmuutoksia on käyttää painoja kuivauskuorman päällä ja pakottaa puu siten pysymään suorana. Myös eri kuivausmenetelmät ja -kaavat aiheuttavat eriasteisia muodonmuutoksia sahatavaraan. Näiden vaihtelua ei kuitenkaan tunneta niin hyvin, että pienpuun kuivaus kyettäisiin hallitsemaan aukottomasti. Perinteisten kuivauslämpötilojen, jotka ovat tavallisesti alle sadan asteen, lisäksi voidaan käyttää korkeampiakin lämpötiloja. Lämpömodifioinnissa kuivaamon lämpötila käytetään muutamia tunteja 180-220 asteessa, jolloin puun hemiselluloosia hajoaa ja puuaineen ominaisuudet muuttuvat tasapainokosteuden, kosteuselämisen, kimmoisuuden, taivutus-, puristus-, leikkaus- ja halkaisulujuuden, pinnan kovuuden ja lahonkeston suhteen (ks. Viitaniemi 2002, van Acker & Hill 2003). Lisäksi puun väri muuttuu. Nuorpuuvaltaisen pienpuun ominaisuuksien muuttumisesta lämpömodifioinnissa verrattuna aikuispuun ominaisuuksien muuttumiseen ei ole tutkimustietoa toistaiseksi saatavilla.

Toinen käytössä oleva modifiointitekniikka on puristuskuivaus, jossa sahatavarakappaleeseen kohdistetaan lämpötilan ohella puristusaine. Puristuskuivaus voidaan tehdä pienellä puristusaineella, jolloin pyritään vain kontrolloimaan sahatavaran muodonmuutoksia. Käytettäessä suurempaa puristusainetta pyritään muodonmuutosten lisäksi vaikuttamaan myös puun fysikaalisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Tästäkin menetelmästä ei ole tutkimustietoa käytettävissä.

Varsinkin lahonkestävyyden mutta jossain määrin myös kosteuselämisen vähentämiseen tähtäävä modifiointitekniikka on puutavaran painekäsittely (impregnointi), jossa puun solukko kyllästetään kemikaalilla paineistetussa kyllästysylinterissä. Perinteisten kreosootti- ja suolakyllästeiden lisäksi voidaan käyttää mm. mäntyöljykyllästeitä, maleiinia ja furfuryylialkoholia, joista viimeksi mainituilla on positiivinen vaikutus myös puutavaran mittapysyvyyteen (Epmeier ym. 2003, Westin ym. 2003). Puun soluontelot ja soluseinien huokokset voidaan täyttää myös esimerkiksi muovilla, jolloin saadaan kosteutta kestävä ja mittapysyvää puu-muovi -komposiittia. Painekäsittely edellyttää, että soluseinämien huokokset ovat avoinna, jotta kemikaali pääsee tunkeutumaan soluonteloon. Avohuokosisia ja siten kyllästyviä puulajeja ovat mm. kotimaisen männyn pintapuu sekä koivu (esim. Kärkkäinen 2003).

Mänty- ja koivupienpuun alhainen kantohinta ja harvennuskorkeat korjuukustannukset ja pienet kertymät (esim. Korpilahti ym. 1995, Tanttu ym. 2002, Stöd 2002a) vähentävät metsänomistajien kiinnostusta harvennushakkuisiin. Toisaalta pienpuun epäedulliset raaka-aineominaisuudet vähentävät sahateollisuuden mie-

lenkiintoa pienpuuta kohtaan. Siksi on perusteltua pyrkiä ohjaamaan pienpuuta käyttökohteisiin, joissa suuren nuorpuuosuuden, epäedullisen runkomuodon ja runsasok-saisuuden merkitys ei pääse vaikuttamaan jalostukseen. Puutuoteollisuudessa mainitun kaltaisia käyttökohteita voisivat olla sellaiset tuotteet, joiden valmistusprosessi ei perustu sahaamiseen eikä viiluttamiseen vaan esim. lastuamiseen ja liimaamiseen.

1.3 Rakennepuutuotteet (Engineered Wood Products)

Rakennepuutuotteilla tarkoitetaan tässä raportissa sellaisia puutuotteita, jotka on valmistettu liimaamalla yhteen puulastuja, säleitä, viiluja tai muita pilkottuja puupar-tikkeleita siten, että tuotteesta on saatu kimmoisuus-, lujuus- ja kosteuselämisominai-suuksiltaan massiivipuuta tasalaatuisempi ja halutunlainen. Puun luontaiset viat ja epäjatkuvuuskohdat on näin hajotettu pienempiin osiin, jotka jakaantuvat tasaisesti varsinaiseen tuotteeseen ja näin pienentävät kappaleiden sisäistä ja niiden välistä ominaisuusvaihtelua. Tämä mahdollistaa mm. massiivipuuta kevyempien ja sirompi-en rakenteiden suunnittelun, pidempien jänneväliden käytön ja pienemmät varmuusva-rat suunnitteluarvoihin. Kun tuotteen lujuuden hajonta pienenee, kasvaa sen karakter-istinen lujuus. Näin ollen rakennepuutuotteissa saadaan massiivipuuhun verrattuna käyttöön suurempi lujuuskapasiteetti samasta raaka-ainemäärästä. Vaikka sahatava-ran ja rakennepuutuotteen otoksista määritetty lujuuden keskiarvo olisikin sama, voidaan rakennepuutuotteelle käyttää korkeampia laskennallisia mitoitusarvoja, kos-ka sen lujuushajonta on pienempi.

Rakennepuutuotteisiin liittyvä terminologia on pitkälti englanninkielistä, mutta tuotteille ja niiden valmistustavoille on keksitty myös suomennoksia. Englanninkie-linen yleisnimitys *Engineered Wood Products* (EWP) on käännetty usein suomeksi ”insinööripuutuotteiksi”, joka kirjoittajien näkemyksen mukaan kuvaa tuoteryhmää huonosti. Tämän vuoksi käsillä olevassa julkaisussa käytetään englanninkielisestä tuoteryhmänimestä johdettua nimikettä *rakennepuutuotteet*. Nimikkeen katsotaan kuvaavan sekä tuotteiden pääasiallisia käyttökohteita puurakenteiden osina että niiden koostumista rakenneseosaa pienemmistä puukappaleista.

Bodigin & Jaynen (1982) mukaan *puukomposiiteilla* voidaan määritelmällisesti tarkoittaa lähes mitä tahansa puutuotetta. Eräissä tapauksissa (esim. massiivisahata-vara) tämä edellyttää kuitenkin, että puun eri komponentit, selluloosa, hemiselluloosa jne., luetaan eri materiaaleiksi, jotka on liimattu yhteen ligniinin avulla. Sinänsä tarkastelutapa ei ole väärä. Oleellinen ero tämän raportin ja Bodigin & Jaynen (1982) terminologiassa on se, että tässä raportissa puuaine luetaan yhdeksi materiaaliksi joka muodostaa komposiitin vasta, kun siihen on liiman avulla sekoitettu toista materiaa-lia, esim. muovia tai hiilikuitua.

Rakennepuutuotteet eroavat edellisen määrittelyn mukaan oleellisesti komposii-teista ja yhdisteistä, koska niissä ei ole käytetty rakenteellisena osana muuta kuin puuta tai puukuituja, joita on liitetty toisiinsa liiman avulla. Nykykäsitteen mukaan *komposiitit* koostuvat aina kahdesta eri materiaalista, jotka liittää toisiinsa liimasidos. Kemialliset *yhdisteet* puolestaan koostuvat kahdesta eri materiaalista, jotka liittää toisiinsa materiaalien välillä tapahtuneen kemiallisen reaktion aiheuttama sidos.

Bodig & Jayne (1982) jaottelevat puukomposiitit kuuteen eri ryhmään (taulukko 1). Tässä raportissa käsiteltävät rakennepuutuotteet voidaan rinnastaa komposiitti-

ryhmiin 3 ja 4. Itse asiassa nykyisin tunnetaan myös useita taulukon 1 jaottelun kanssa osittain päällekkäisiä hybridituotteita, esimerkiksi *com-ply*, joka on kerroskomposiitilla päällystetty lastukomposiitti, sekä *triboard*, joka on kuitukomposiitilla päällystetty lastukomposiitti, muodostaen siten kerroskomposiittirakenteen.

Taulukko 1. Puukomposiittien jaottelu Bodigin & Jaynen (1982) mukaan.

Komposiittiryhmä	Valmistustapa	Tuote-esimerkki
1. Massiivipuu	A. Sahaus, sorvaus, veistäminen...	Sahatavara
2. Modifioitu puu	A. Kyllästäminen B. Palonsuojaus C. Liimaus D. Kemialliset käsittelyt E. Säteilytys	
3. Kerroskomposiitit	A. Suuntaislaminointi B. Ristikkäislaminointi C. Jäykistetty puu (esim. metallijäykisteet) D. Kerroslevyt E. Mekaaniset liitokset (esim. naulaus)	Liimapuu, LVL Vaneri, viilupintaist suuntaislastulevyt
4. Lastukomposiitit	A. Lastulevyt B. Kuitulevyt	Pienistä, keskikokoisista tai suurista lastuista Huokoiset, keskitiheät tai kovalevyt
5. Kuitukomposiitit	A. Paperi B. Kuitujäykistetyt muovit	
6. Jauhekomposiitit	A. Puristepuu jauheet	

Perinteisiä, joskaan ei välttämättä rakennepuutuotteiksi miellettyjä tuotteita ovat mm. vanerit, eräät lastu- ja kuitulevyt, kertopuu (LVL) ja erilaiset liimapuutuotteet. Näissä hyödynnetään pääasiassa järeää tukkia tai järeän tukin jalostuksessa syntyviä sivu-/rinnakkaistuotteita. Toisissa tuotteissa voidaan kuitenkin hyödyntää pien- tai jopa jättepuuta (esim. Lewis 1971, Smulski 1997). Esim. pohjoisamerikkalaista kirjallisuutta tutkittaessa on kuitenkin syytä pitää mielessä suomalaisen käsitykseen verrattuna hyvin erilaiset määritelmät pienpuulle. Kotimaisessa kirjallisuudessa pienpuulla tarkoitetaan yleensä läpimitaltaan alle 15 cm:n puutavaraa, kun taas Pohjois-Amerikassa pienpuulla voidaan tarkoittaa esim. alle 20 cm:n pölkkyjä.

Eräitä rakennepuutuotteita on valmistettu jo yli 100 vuotta. Suomessa vaneria valmisti ja käytti tuoleissa ensimmäisenä Karkkulainen Wiikari Oy vuodesta 1894 lähtien. Ensimmäisen varsinaisen vaneritehtaan perusti Jyväskylään vuonna 1912 Wilhelm Schauman. Nykykirjallisuudessa vaneria ei aina lueta rakennepuutuotteeksi, vaikka se määritelmällisesti sellainen onkin.

Liima-aineina rakennepuutuotteiden valmistuksessa käytetään fenoleja, hartseja, resorsinoleja ja poly-isosyanaatteja, jotka voivat olla joko nestemäisiä tai jauhemaisia (esim. Smulski 1997). Tarvittaessa tuotteita voidaan käsitellä valmistuksen yhteydessä erilaisilla lahonsuoja-, hyönteistorjunta- ja palonestoaineilla haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi sekä värjätä tai pinnoittaa ulkonäön parantamiseksi. Näillä toimenpiteillä voidaan myös parantaa pinnan sileyttä, mikä on usein ongelma levytuotteissa. Palkkeina käytettävät rakennepuutuotteet ovat palonkestoltaan pääsääntöisesti massiivisahatavaraa vastaavia tai parempia (mm. Ranta-Maunus 1996, Smulski 1997).

Rakennepuutuotteet ovat osin kilpailevia, osin täydentäviä tuotteita perinteisille puu-, muovi- ja metallituotteille. Suomessa toistaiseksi huonosti tunnettuja tuotteita

ovat mm. OSB (Oriented Strand Board), PSL (Parallel Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber) sekä OSL (tai CSL) (Oriented Strand Lumber (Construction Strand Lumber)). Mitään näistä tuotteista ei valmisteta Pohjoismaissa.

Tuotteiden valmistusta rajoittaa se, että monet niistä ovat luonteeltaan tyypillisiä massatuotteita ja kannattavan tuotantolinjan edellytyksenä on suuri kapasiteetti. Tyypillisimmän massatuotteen, OSB-levyn, kannattavan tuotannon minimikapasiteetiksi on arvioitu 1000-2000 m³/vrk, joka merkitsee jopa miljoonan kuutiometrin vuotuista raaka-aineen tarvetta. Tämä lienee – yhdessä potentiaalisten markkina-alueiden etäisyyden kanssa – ollut keskeisin rajoittava tekijä mm. kotimaisten OSB-tehdasinvestointien suunnittelussa. Vuonna 1999 Euroopassa toimi 6 OSB-levytehdasta ja kaikkiaan 12 uutta tehdasta oli suunnitteilla. Euroopan OSB-levytuotanto oli vuonna 1999 noin 1 milj. m³ mutta Pohjois-Amerikassa peräti 17,9 milj. m³ (Juslin & Hansen 2002). Nykyisin OSB-levyä tuotetaan Länsi-, Keski- ja Itä-Euroopassa noin kymmenellä tehtaalla yhteensä lähes 2 milj. m³ vuodessa (mm. Bulgariassa, Espanjassa, Irlannissa, Puolassa, Ranskassa, Saksassa ja Skotlannissa). Muut yllämainituista rakennepuutuotteista ovat toistaiseksi pelkästään pohjoisamerikkalaisen valmistuksen varassa.

Suuren kapasiteettivaatimuksen lisäksi rakennepuutuotteisiin liittyy myös joitakin muita ongelmia. Pohjois-Amerikassa usean eri yrityksen valmistaman LVL:n ongelmana oli pitkään yhtenäisten tuotestandardien puute. Eri valmistajien tuotteet saattoivat käyttäytyä eri tavoilla, vaikka niiden dimensiot ja ulkonäkö olivatkin yhtenevät (Smulski 1997). Tämä lienee tyypillistä muillekin puutteellisesti standardoiduille tuotteille, joilla on useampia valmistajia. LSL- ja PSL-palkkeja valmistaa vain yksi yritys Pohjois-Amerikassa, kumpaakin kolmessa eri tehtaassa.

Käytön kannalta kenties suurin haaste rakennepuutuotteiden kehityksessä on kosteuselämisen hallinta. Kosteuden pääsemistä rakenteen sisälle voidaan ehkäistä pinnoittamalla rakenne viilulla, paperilla, kalvolla tai vettähyhkivällä lakalla tai esimerkiksi lämpökäsittelmällä tai painekyllästämällä tuote. Pohjois-Amerikassa niin LSL:n, PSL:n kuin LVL:nkin käyttö suositellaan rajoitettavaksi tiloihin, joissa tuotteen keskimääräinen tasapainokosteus ei pääse kohoamaan yli 16 prosenttiin (ICBO 2000). Baileys ym. (2003) havaitsivat pintakäsittelyllä olevan mahdollista pienentää OSB-levyn kosteuselämistä huomattavasti heikentämättä kuitenkaan levyn mekaanisia ominaisuuksia. Vuorokauden vesiupotuskokeessa käsittelemättömän levyn paksuurpoama oli 23,8 % kun pintakäsitelty levy turposi vain 8,0 %. Veden imeytyminen levyyn pieneni samassa suhteessa. Van Houts ym. (2003) raportoivat samantyyppisiä tuloksia kokeistaan, joissa OSB-levyyn käytettiin asetyloituja lastukerrok-sia veden imeytymistä estämään.

Lastuista valmistetuissa tuotteissa (OSB, LSL, OSL) kuivatut lastut liimoitetaan joko nestemäisellä tai jauhemaisella liima-aineella ennen suuntaamista. Samassa yhteydessä tehdään myös mahdollinen käsittely lahonsuoja- ym. kemikaaleilla. Lastut suunnataan yleensä vähintään kolmikerroksisessa suuntaamislaitteessa. Jokaisessa tasossa on pyöriviä levypyöriä, joiden väliin pudotessaan lastut kääntyvät haluttuun suuntaan. Pudottuaan kaikkien tasojen läpi suurin osa lastuista on suuntautunut ja ne putoavat edelleen kuljettimelle. OSB-levymaton valmistuksessa useita kuljettimia, joissa lastut ovat jo halutussa suunnassa, on asetettu peräkkäin siten, että ne sirottelevat lastut monikerroksiseksi lastumatoksi. Kuljettimet on sijoitettu esimerkiksi niin, että ne syöttävät vuorotellen kuljettimen suuntaan nähden pituussuuntaisia ja poikisuuntaisia lastuja. Näin levymatto muodostuu toisiinsa nähden kohtisuorista lastukerroksista. Tavallisimmin sisimmäksi levyn rakenteessa sirotellaan hienojae, jolloin

levyn lapetaivutuslujuus paranee verrattuna levyyn, jossa hienojae on siroteltu tasaisesti levyn profiiliin (esim. Barnes 2002b).

Vaikka OSB-levyä pidetään yleisesti korvaavana tuotteena havuvanerille, tuotteilla on yksi oleellinen ero: nykyisellä rakenteella OSB-levyä ei voida taivuttaa pyöreisiin muotoihin yhtä vapaasti kuin havupuuvaneria tai erityisesti huonekaluteollisuuden käyttämää lehtipuuvaneria. Tästä syystä OSB-levy ei tule syrjäyttämään vanereita kaikissa käyttökohteissa, vaikka viimeaikainen kehitys etenkin Pohjois-Amerikassa on voinut antaa viitteitä tällaisesta. Pohjois-Amerikassa, joka Aasian ohella on ollut perinteistä vanerin käyttöaluetta, vanerin korvautuminen OSB-levyllä on ollut selvemmin havaittavaa kuin Euroopassa, jossa vaneria edullisemmat lastu- ja kuitulevyt ovat olleet suosiossa jo noin 50 vuotta. Vanerin paremmuutta OSB:hen nähden on joskus perusteltu sillä, että ruuviliitokset pitäisivät vanerissa OSB-levyä paremmin. Erdil ym. (2002) osoittivat kuitenkin molempien tuotteiden toimivan yhtä hyvin/huonosti ruuvi kiinnityksissä; myös levyjen sisäinen vaihtelu oli suurta sekä pohjoisamerikkalaisissa vanereissa että OSB-levyissä.

Useiden tuotteiden pohjana olevien aihoiden (LVL, PSL, LSL, OSB, OSL) puristus voidaan tehdä jatkuvatoimisena prosessina esimerkiksi puristimella, jossa aihio siirtyy teräsnauhojen välissä. Liima-aineen kovettumista voidaan nopeuttaa esimerkiksi mikroaaltokäsittelyllä, joka on kuitenkin tuotteen valmistuskustannuksia kohottava menetelmä (esim. PSL). Aihoiden kuivatuksen jälkeen on vuorossa niiden mahdollinen leikkaaminen tuotteen määrittämiseksi, hiominen tai muu viimeistelykäsittely sekä pakkaaminen tai siirto jatkojalostukseen.

Rakennepuutuotteet voivat olla joko valmiita standardimitoille valmistettuja rakenneosia tai suuria edelleen jatkojalostuksessa käytettäviä aihioita. Erilaisia rakennepuutuotteita voidaan niinkään yhdistää komponenteiksi, kuten katto- ja lattiarakenteisiin käytettäviksi puisiksi I-palkeiksi tai metallilevyillä toisiinsa liitetyiksi ristikkorakenteiksi. I-palkkien käytöllä haetaan lattia-, välipohja- tai kattorakenteisiin hyvää taivutuslujuus-massa -suhdetta. Juslinin & Hansenin (2002) mukaan peräti 60 % Pohjois-Amerikan lähes 1,5 miljoonan kuutiometrin LVL-tuotannosta käytetään I-palkkien paarteina. I-palkeja nimitetään usein sellaisenaan rakennepuutuotteiksi, vaikka ne itse asiassa ovatkin kahdesta eri tuotteesta koottuja komponentteja: keskeellä oleva uumalevy on tavallisesti OSB:tä tai havuvaneria ja paarteet joko massiivisahatavaraa, liimapuuta tai nykyisin yhä useammin LVL:ää. Myös kotimainen puutuoteteollisuuskonserni on aiemmin valmistanut vaneriumaisia I-palkeja. Nykyisin kotimaista valmistusta ei enää ole ilmeisesti liian vähäisen kysynnän vuoksi. Toinen tekijä, joka alentaa I-palkkien käyttömahdollisuuksia lattiarakenteissa, on niiden huono askelääneneristävyyttä. Pohjois-Amerikassa I-palkkikannatteen, OSB-levyllä tai vanerilla jäykistetyin lattia-ääneneristävyyttä on parannettu liimaamalla levyn päälle kokolattiamatto. Euroopassa voimassa olevat tiukemmat normit sisäilman puhtaudelle ja askelääneneristävyydelle vaikeuttavat tällaisten rakenteiden suunnittelua.

I-palkkien korkeudet vaihtelevat alle 20 cm:stä yli 60 cm:iin, pituudet esim. kaltevilla katoilla voivat olla jopa 15 m. Pisimmät sallitut jännevälit sekä palkkien asennusvälit ja koot on ilmoitettu tarkoin asennusohjeissa, jotka perustuvat standardeihin. Tavallisesti I-palkeja ei saa enää työstää rakennuspaikalla, vaan esim. läpiviennit putkille ja johdoille on tehty jo tehtaalla joko tilatun mukaisina porauksina tai vakioituotteissa tehdasporattuina ns. knockout-reikinä, jotka voidaan avata lyömällä tulppa irti uumalevyssä olevasta reiästä.

Suurina aihioina valmistettavien rakennepuutuotteiden melko vapaa muotoiltavuus on etu niin rakennustuoteteollisuuden kuin piha- ja ympäristörakenteidenkin kannalta. Esimerkiksi viilusta valmistettava PSL tuotetaan jatkuvatoimisella linjalla, jossa ulostulevan aihiotangon korkeus (paksuus) voi olla 483 mm ja leveys 280 mm ja jossa vakiopituuksia tuotetaan 20 m:iin saakka. Poikkileikkaukseltaan neliön muotoisia pilareita voidaan valmistaa 180 x 180 mm:iin saakka (Ranta-Maunus 1996). LSL-palkkeja valmistetaan 89 mm:n korkeuteen ja jopa 2400 mm:n leveyteen asti. Pituus rajoittuu 10,67 metriin.

Nykyisen kotimaisen puutuoteteollisuuden kannalta merkityksellisissä rakennepuutuotteissa, vanerissa ja LVL:ssä, hyödynnetään ainoastaan järeää, yli 18 cm:n tukkia. Viilun valmistukseen tarvitaan hyvälaatuisia sorvitukkeja, kun taas lastuista valmistettavien OSB:n, OSL:n ja LSL:n raaka-aineeksi kelpaa laadultaan suhteellisen vaatimatonta ja samalla vähäarvoinen pienpuu. Lastuista valmistettavissa rakennepuutuotteissa raaka-aineen käytön hyötysuhde on parhaimmillaan jopa 70 % pyöreän kuorettoman puutavaran tilavuudesta, kun se on keskimääräisten tukkien sahausessa 45-55 % (esim. Hakala 1992, Nelson 1997, Boren 2001).

Dimensioiltaan ei-symmetrisistä lastuista liimaamalla ja puristamalla valmistettavissa rakennelvytuotteissa (OSB) ja palkkituotteissa (LSL, OSL) lastujen materiaalin, eheyden ja tasalaatuisuuden (Moriarty 2002) ohella niiden suuntaamisella on suuri merkitys tuotteen jäykkyydelle ja lujuudelle (esim. Meyers 2001, Barnes 2002a, 2002d, Cabangon ym. 2002, Cates 2002, Xu 2002, Yadama 2002). Edelleen lopputuotteen tiheys on positiivisessa riippuvuussuhteessa sen taivutusominaisuuksiin (Bozo 2002). Suurimmat jännitykset kohdistuvat taivutettaessa kappaleen ylä- ja alapintaan. Tämän vuoksi esim. OSB-levyssä ylä- ja alapinnan lastujen sirottelusuunta pyritään saamaan mahdollisimman yhdensuuntaiseksi levyn pituusakselin kanssa ja suuntaissirotelujen pintakerrosten väliin jäävä osa on joko suuntaamatonta lastua tai poikittain pintalastuihin nähden suunnattua lastua (ristikkäisrakenne).

Valmistettaessa suuntaissiroteluista lastuista palkkituotteita (LSL, OSL), saavutetaan massiivipuuta vastaava keskimääräinen jäykkyys ja lujuus, kun lastujen suunta-poikkeama tuotteen pituusakseliin nähden on vähemmän kuin 10 astetta (Barnes 2002a). On myös havaittu, että lastun pituuden kasvattaminen korreloi noin 15 cm:iin asti positiivisesti tuotteen taivutuslujuuden ja -jäykkyyden kanssa (Barnes 2001, Meyers 2001) (vrt. LSL, keskimäärin 30 cm:n lastupituus). Tämän jälkeen taivutusominaisuudet eivät enää juurikaan parane, joten 15 cm:n lastuista valmistettu tuote on lähes yhtä jäykkä ja luja kuin 30 cm:n lastuista valmistettu tuote, edellyttäen että molemmissa tuotteissa lastut on suunnattu samalla tavalla. Syy yli 15 cm pitkien lastujen käyttöön on siis se, että lastupituus korreloi positiivisesti lastujen suuntaamisen onnistumisen kanssa.

Lastun pituuden kanssa korreloi positiivisesti myös sen herkkyys katkeilla kuiva-uksen, seulonnan ja sirottelun aikana. Lyhyet lastut eivät katkeile helposti, mutta niitä on vastaavasti vaikea suunnata. Ohuet lastut taas pyrkivät sitomaan liima-ainetta liiallisesti. Toisaalta pitkät ja ohuet lastut voivat liiman levityksen jälkeen ”kihartua” vaikeuttaen lastumaton muodostamista. Liian paksut lastut ovat puolestaan jätkeä ja huonontavat puristustulosta (Meyers 2001).

Barnes (2002b) havaitsi, että keskimäärin 15 cm pitkistä haapalastuista valmistetun OSL-palkin lujuuteen vaikuttavat lastujen suuntauksen ja tuotteen tiheyden ohella hienojakeen määrä ja jakauma tuotteen profiilissa. Tyypillinen OSB-lastun valmistuksessa käytettävä kone tuottaa aina huomattavan määrän hienojaetta, joka OSB-levyn valmistusprosessissa seulotaan erilleen ja sirotellaan levyn keskiosaan. Jotta

vastaavista lastuista valmistettavasta OSL-palkista saataisiin riittävän luja ja jäykkä kilpaillakseen sahatavaran kanssa, lastujen pitäisi olla paitsi hyvin suunnattuja myös tasakokoisia läpi koko palkin profiilin. Jos hienojaetta esiintyy ja se on tasaisesti jakautunut, palkin lape- ja syrjätaivutuslujuus laskevat lineaarisesti hienojaepitoisuuden kasvaessa.

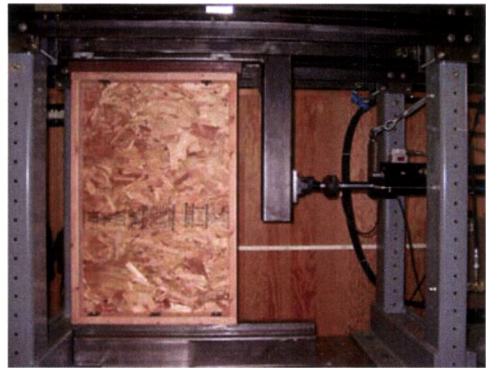
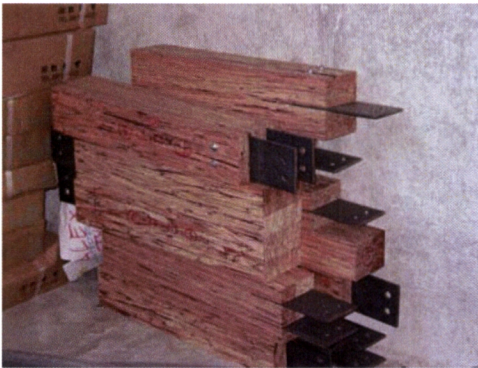
Kuvassa 1 esitellään muutamia rakennepuutuotteita ja niiden jalosteita.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän esitutkimuksen tavoitteena oli tutkia, onko suomalaisesta mänty- ja koivupienpuusta mahdollista valmistaa rakennepuutuotteita raaka-aineominaisuuksien ja teknis-taloudellisten hyödyntämismahdollisuuksien perusteella. Tutkimuksessa keskityttiin pieniläpimittaiseen raakapuuhun ja jätettiin vaille tarkempaa käsittelyä nykyisen selluloosa-, paperi-, saha-, vaneri-, viilu- ja LVL-teollisuuden jätettä. Tutkimuksen yksilöidyt tavoitteet olivat:

- Tutkia pienpuusta valmistettavissa olevien, ei-symmetrisistä lastuista liimattujen rakennepuutuotteiden asettamia vaatimuksia raaka-aineen puuteknisille ominaisuuksille, verrata niitä kotimaisen mänty- ja koivu-pienpuuraaka-aineen ominaisuuksiin ja tehdä tämän perusteella arvio mahdollisista tuotevaihtoehdoista ja tuotteiden käyttökohteista.
- Tutkia laboratoriokokeilla männystä ja koivusta valmistetuista lastuista liimattujen palkkiaihioiden keskeisiä teknisiä ominaisuuksia ja vertailla tuloksia kirjallisuuden perusteella ulkomailla muilla puulajeilla saatuihin tuloksiin.
- Tarkastella mänty- ja koivupienpuun raaka-ainekertymiä valituilla metsäkeskusalueilla sekä raaka-aineen tehdashintaa valituissa käyttöpisteissä.
- Arvioida valittujen rakennepuutuotteiden valmistuksen mahdollisuuksia ja taloutta raaka-aineen tehdashinnan ja tuotteiden markkinahintojen perusteella.
- Kartoittaa rakennepuutuote- ja -tuotantostandardeja sekä tuotesuojauksia.
- Kartoittaa rakennepuutuotteita koskevaa terminologiaa ja tehdä sitä koskevia täsmennysehdotuksia.

Perinteisten lastu- ja kuitulevyjen valmistukseen, rakenteeseen ja ominaisuuksiin ei tässä raportissa paneuduta; näistä on aiemmin julkaistu huomattava määrä kirjallisuutta. Oppikirjatietoa perinteisten ja muutamien uudempien puutuotteiden ominaisuuksista ja erityisesti niiden suunnittelusta ja laskennasta on julkaistu mm. teoksissa Liiri & Nykänen (1958), Tsai & Hahn (1980), Juvonen & Kariniemi (1984), Jastrzebski (1987), Bodig & Jayne (1989), Maloney (1993), Koponen (1995), Smulski (1997), Veistinen & Pennala (1997) ja Vanerikäsikirja...(2001).



Kuva 1. Ylhäällä vasemmalla: tyypillistä OSB-levyn pintaa. Ylhäällä oikealla: vaneriuuma-levystä ja massiivisahatavarapaarteista valmistettuja I-palkkeja (Fletcher Challenge Forests, Mt. Maunganui Plywood, Tauranga, Uusi Seelanti). Keskellä vasemmalla: OSB-levystä liimaamalla koottu pystykannatteen ala- tai ylätukijalka esim. koristerakentamiseen (APA, The Engineered Wood Association, Tacoma, WA, USA). Keskellä oikealla: järeitä LSL-palkkeja (Forintek Corp., Vancouver, BC, Kanada). Alhaalla vasemmalla: metallilevyliitoksin varustettuja PSL-palkkeja (University of British Columbia, Centre for Advanced Wood Processing, Vancouver, BC, Kanada). Alhaalla oikealla: massiivisahatavarasta ja OSB-levystä naulattu seinäelementti maanjäristystä simuloivassa tärinänkestotestissä (University of California, Forest Products Laboratory, Berkeley, CA, USA). Kuvat: Henrik Heräjärvi.

2 MENETELMÄT JA AINEISTO

2.1 Tuotteiden raaka-ainevaatimukset

Tuotteiden raaka-ainevaatimuksia tarkasteltiin pääasiassa kirjallisuuden perusteella. Koska haluttiin keskittyä pienpuusta valmistettavissa oleviin tuotteisiin, tarkasteltaviksi tuotteiksi valittiin LSL, OSB ja OSL. Vertailun vuoksi tutkittiin myös viiluista valmistettavan PSL:n raaka-ainevaatimuksia ja tuotannossa käytettäviä puulajeja. Aluksi kartoitettiin kirjallisuustutkimuksena ne puulajit, joista näitä rakennepuutuotteita eri puolilla maailmaa valmistetaan. Tämän jälkeen haettiin kirjallisuudesta kyseisten puulajien ominaisuustietoja. Tutkittavina ominaisuuksina olivat kuiva-tuoretiheys (kg/m^3), taivutusmurtolujuus, -kimmokerroin ja vetolujuus kohtisuoraan puunsyitä vastaan, puristuslujuus syyn suunnassa ja kohtisuoraan syitä vastaan (MPa) sekä säteen suuntainen, tangentin suuntainen ja tilavuuden kuivauskutistuminen (%).

Kotimaisen mänty- ja koivupuun ominaisuuksia verrattiin lopuksi rakennepuutuotteiden valmistuksessa käytettävien puulajien ominaisuuksiin. Koska lastuamisperiaatteella valmistettavissa rakennepuutuotteissa käytetään yhteensä yli 30 eri puulajia ja tavallisesti useammasta puulajista tehtyä raaka-ainesekoitusta, ei katsottu mielekkääksi tehdä puulajien ominaisuuksista parivertailuja kaikkien männyn ja koivun muiden puulajien kanssa muodostamien yhdistelmien kesken. Sen sijaan laskettiin keski- ja ääriarvot halutuista ominaisuuksista kunkin tuotteen valmistuksessa ao. puulajeja käytettäessä. Arvoja verrattiin kirjallisuudesta saatuihin kotimaisten puulajien vastaaviin arvoihin. Kotimaisesta mänty- ja koivupienpuusta ei ole saatavissa mekaanisia ominaisuuksia tai kutistumista/turpoamista koskevaa tutkimustietoa virheettömän puuaineen osalta. Tiedetään kuitenkin, että puun mekaaniset ominaisuudet ovat tavallisesti positiivisesti korreloituneita puuaineen tiheyden kanssa (mm. Bodig & Jayne 1982). Esimerkiksi kimmokerroin kasvaa lähes suoraviivaisesti puuaineen tiheyden kasvaessa (Palka 1973), jos kuormitustapa, kosteus ja lämpötila pysyvät vakioina. Pienpuun tiheyteen ja sen vaihteluihin on kiinnitetty huomiota (mm. Jalava 1945, Uusvaara 1974, Hakkila 1979, Velling 1979, Hakkila ym. 1995, Verkasalo 1998, Möttönen & Luostarinen 2001).

Koska puuaineen tiheyden tiedetään korreloivan sen mekaanisten ominaisuuksien kanssa, näitä voidaan arvioida käytössä olevien tiheystietojen perusteella. Armstrongin ym. (1983) mukaan ennustaan tuntemattoman puulajin eräitä mekaanisia ominaisuuksia voidaan ennustaa tiheyteen perustuvilla eksponenttiyhtälöillä. Mänty- ja koivupienpuun taivutus- ja puristuslujuuden estimaatit laskettiin tässä tutkimuksessa soveltaen näitä yhtälöitä. Tuloksiin liittyy useita epävarmuustekijöitä, koska yhtälöissä otetaan huomioon ainoastaan näytteen tiheys eikä esimerkiksi sitä tämän tutkimuksen kohdalla merkitsevää seikkaa, onko näyte nuor- vai aikuispuuta ja sisältääkö se mahdollisesti reaktiipuuta.

2.2 Laboratoriokokeet

Hypoteesit ja koeaineistot

Tutkimuksen empiirisessä osassa haluttiin määrittää eri rungonosista saatavien mänty- ja koivupienpuuraaka-aineiden väliset erot ja soveltuvuus OSL-palkin tyyppisen tuotteen valmistukseen. Empiirisen osan viitekehysten muodostivat kolme tutkimushypoteesia, joiden toteutumista tutkittiin kokeellisesti:

1. Pieniläpimittaisesta ensiharvennuspuusta (mänty ja koivu) valmistetun koekappaleen tiheys, taivutuskimmokerroin ja –murtolujuus sekä turpoamaominaisuudet eivät eroa järeän puun latvaosasta valmistetun tuotteen ominaisuuksista.
2. Männyn tyvitukin pintapuusta valmistettu lasturaaka-aine on tiheätä ja homogeenista ja antaa siksi puristettuna koekappaleelle paremmat ominaisuudet kuin pienpuuraaka-aineesta valmistettu lastu.
3. Ohuista lastuista valmistetuissa koekappaleissa on paremmat kimmoisuus-, lujuus- ja turpoamaominaisuudet kuin paksuista lastuista valmistetuissa.

Koekappaleet valmistettiin 100 mm:n tavoitepituuisista ja 30 mm:n tavoitelevyisistä lastuista eli tyyppillisestä kaupallisen OSB-levyn raaka-aineesta. Koe-erät valmistettiin ja mitattiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa elokuussa 2002. Tutkittaviksi taustamuuttujiksi valittiin erityyppiset mänty- ja koivupienpuuraaka-aineet sekä valmiin tuotteen ilmakuivatiheys ja näiden vasteominaisuuksiksi tuotteen taivutuskimmokerroin, taivutusmurtolujuus sekä vesiabsorptio ja paksuus-, leveys ja pituusturpoamat. Tutkitut raaka-ainelajit olivat:

1. Ensiharvennusmäntypölkkyt, latvaläpimitta vähintään 50 mm,
2. Järeän männyn latvapölkkyt, latvaläpimitta vähintään 50 mm,
3. Järeän männyn tyvitukin oksaton pintaosa (100 % pintapuuta),
4. Ensiharvennuskoivupölkkyt, latvaläpimitta vähintään 50 mm,
5. Järeän koivun latvapölkkyt, latvaläpimitta vähintään 50 mm.

Puuraaka-aine hankittiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun opetusmetsistä Miehikkälästä heinä-elokuussa 2002. Harvennuspuut valittiin kahdesta metsiköstä, luonnosta syntyneestä kuivahkon kankaan (VT) männiköstä ja noin 30 vuotta aikaisemmin ojitetusta mustikkaturvekankaan (Mtkg) hieskoivu-kuusisekametsiköstä. Koemetsiköistä mitatut keskitunnukset on esitetty taulukossa 2. Järeät männyn kaadettiin kuivan kankaan (CT) metsiköstä; samalla saatiin tarvittavat männyn latvapölkkyt. Tätä raaka-aineositetta ei voida pitää kovin edustavana, koska kuiva kangas ei ole männyn tyyppinen kasvupaikka Etelä-Suomessa. Järeän koivun latvapölkkyt hankittiin tuoreen kankaan (MT) rauduskoivun siemenpuuhakkuulta. Harvennusmäntyistä arvioitu keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu oli 30-40 cm, joka tarkoittaa, että lastuttaessa pölkkyjä 10 cm tavoitelastupituuteen arviolta joka neljänteen lastuun sattui oksa tai oksia. Poistettavat puut valittiin harvennuksissa alaharvennusperiaatteen mukaisesti. Kummassakin harvennuskohteessa oli tehty taimikonhoitotöitä 3-5 vuotta aiemmin, tällöin oli poistettu pieniä, rinnankorkeusläpimitaltaan 4-6 cm:n puita. Harvennusmetsiköiden pienpuu ja järeiden puiden latvapölkkyt otettiin laboratoriokokeisiin 5 cm:n latvaläpimittaan saakka.

Taulukko 2. Harvennusemetsiköiden puustotunnuksia.

	Mäntyraaka-aine	Koivuraaka-aine	
	Kasvupaikkaluokka		
	VT	Mtkg	
	Mänty	Koivu	Kuusi
Pohjapinta-ala, m ² /ha	21	13	14
Rinnankorkeusläpimitta, cm	16	13	12
Pituus, m	13	16	11
Ikä, a	40	35	30

Pölkkyt kuorittiin ja lastuttiin noin viikon kuluttua puiden kaadosta. Paksut pölkkyt kuorittiin aluksi kuorimakoneella ja jäljelle jäänyt kuori poistettiin painepesurilla. Kaikki pienemmät pölkkyt kuorittiin painepesurilla. Pölkkyt kuorittiin siis käytännössä puhtaiksi ulko- ja sisäkuoresta, normaalin kuorimakoneen tulosta tarkemmin. Tämä menetelytapa valittiin koeasetelman yhdenmukaistamiseksi ja tulosten tulkinnan helpottamiseksi. Erikokoisten ja runkomuodoltaan erilaisten pölkkyjen vaihtelevasti onnistuva kuoriutuminen tavallisessa kuorimakoneessa olisi aiheuttanut raaka-ainerien välille vaihtelevia kuoripitoisuuksia.

Ensiharvennusemäntyä (raaka-ainelaji 1) hankittiin kahden eri lastupaksuuden valmistuksen takia n. 0,5 m³ ja muita raaka-ainelajeja kutakin n. 0,2 m³. Mäntytukin pintaosa (raaka-ainelaji 3) sahattiin kahdesta järeästä tyvitukista pinnanmyötäisesti siten, ettei talteen otettuihin pintalautoihin jäänyt silmämääräisen arvioinnin perusteella lainkaan sydänpuuta. Kaikista pölkkyistä sahattiin näytekiekot raaka-aineen kosteussuhteen ja tiheystunnusten määrittämiseksi. Nämä tunnuksot on esitetty raaka-ainelajeittain taulukossa 3. Osassa raaka-aineositteista näytekiekkokojen alhaiset kosteussuhteet indikoivat tapahtuneen kuivumista. Raaka-aineositteiden vaihtelevien kosteussuhteiden mahdollista vaikutusta lastuamisprosessin onnistumiseen ei voitu ottaa huomioon tulosten laskennassa.

Taulukko 3. Koerungoista sahattujen näytekiekkokojen määrät (N), keskitilavuudet tuoreena (V) sekä puuaineen kosteussuhteet (MC), kuivatuoretiheydet (ρ) ja kuivatihydet (ρ_0) raaka-ainelajeittain.

Raaka-ainelaji	N kpl	V cm ³	MC %	ρ kg/m ³	ρ_0 kg/m ³
1. Harvennusemäntypölkkyt	10	270	95	416	464
2. Järeän männyn latvapölkkyt	7	344	148	372	412
3. Männyn tyvitukin pintaosa	8	430	106	497	578
4. Harvennusekoivupölkkyt	10	265	58	488	551
5. Järeän koivun latvapölkkyt	8	560	56	509	580

Kuorinnan jälkeen puuraaka-aine-erät lastuttiin Wigo-teräkehälastuajalla OSB-levyn valmistuksessa käytettävän lastun mittoihin (pituus n. 10 cm, leveys 1-3 cm, paksuus 0,5-1,0 mm). Kukin raaka-ainelaji käsiteltiin omana eränään siten, että lastut eivät päässeet sekoittumaan. Teräasetteena käytettiin kaikissa raaka-aineositteissa 1,0 mm:n paksuutta. Ensiharvennusemäntyraaka-aineesta tehtiin lisäksi lastuja 0,5 mm:n teräasetteella. Ensiharvennusemännillä, joka osoittautui hakkuukertymälaskelmissa potentiaalisimmaksi raaka-ainelähteeksi uusiin puutuotteisiin, tutkittiin siis myös kahden lastupaksuuden aiheuttamia eroja tuotteen ominaisuuksiin. Harvennusemäntyä ja koivuraaka-aineista lastuttaviksi valittiin sekä tyvi- että latvapölkkyjä.

Lastut kuivattiin kuivauskaapissa noin kolmen prosentin tavoitekosteussuhteeseen, jonka jälkeen ne seulottiin kevyesti hienoimman aineksen poistamiseksi. Seulonnassa hienomateriaalia erottui n. 10 % koko lastuerän massasta. Lastujen dimensiot mitattiin satunnaisotoksesta 30 lastua/raaka-aine-erä. Lastun paksuus, leveys ja pituus vaihtelivat varsin paljon. Harvennusmäntylastujen paksuuden keskiarvo oli ohuemmalla lastuamisasetteella (0,5 mm) lähellä tavoitetta eli 0,61 mm, paksulla asetteella (1,0 mm) lastujen keskimääräinen paksuus, 0,82 mm, alitti tavoitteen.

Lastujen dimensioita kuvaavat mittaustiedot on esitetty raaka-ainelajeittain taulukossa 4. Eniten kokovaihtelua oli ensiharvennuskoivusta valmistetuissa lastuissa. Suuria terveitä oksia sisältäneistä koivun latvapölkkyistä valmistetuissa lastuissa oli muita raaka-ainelajeja enemmän epämuodostuneita lastuja.

Taulukko 4. Lastujen dimensioita kuvaavat keskiarvo- ja -hajontatunnukset raaka-ainelajeittain.

Raaka-ainelaji	Lastun paksuus, mm	Lastun leveys, mm	Lastun pituus, mm
	X (s)		
1. Harvennusmäntypölkkyt			
Tavoitelastupaksuus 0,5 mm	0,61 (0,19)	8,6 (6,0)	84,9 (21,2)
Tavoitelastupaksuus 1,0 mm	0,82 (0,23)	14,3 (9,9)	78,4 (26,7)
2. Järeän männyn latvapölkkyt	0,78 (0,23)	12,8 (8,5)	82,7 (21,6)
3. Männyn tyvitukin pintaosa	0,78 (0,29)	14,4 (14,4)	92,6 (17,3)
4. Harvennuskoivupölkkyt	0,77 (0,18)	17,6 (12,7)	83,9 (24,7)
5. Järeän koivun latvapölkkyt	0,76 (0,21)	7,3 (4,1)	66,6 (24,5)

Levyaihioiden valmistus

Koekappaleiden valmistukseen tarkoitettujen levyaihioiden valmistus aloitettiin liimoittamalla lastut ilmahajoitteisella ruiskusuuttimella liimoitusrummussa. Liima-aineena oli fenoli-formaldehydihartsia, kaupananimeltään Dynea Finland Oy:n LVL-hartsia Exter 4566. Liimaseos oli seuraava:

FF-hartsia (kuiva-aine 47 %)	100 paino-osaa
K ₂ CO ₃ -kovete (kuiva-aine 25 %)	4 paino-osaa

Hartsimäärä oli vakio, 8 % kuivaa hartsia (g) / kuivaa puuta (g). Lastujen kosteussuhde mitattiin satunnaisotoksin ennen ja jälkeen liimauksen. Kosteussuhteet vaihtelivat raaka-ainelajien välillä taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5. Lastujen kosteussuhde ennen liimausta ja liimauksen jälkeen.

Raaka-ainelaji	Kosteussuhde ennen liimausta	Kosteussuhde liimauksen jälkeen %
1. Harvennusmäntypölkkyt		
Tavoitelastupaksuus 0,5 mm	4,8	13,5
Tavoitelastupaksuus 1,0 mm	6,2	14,1
2. Järeän männyn latvapölkkyt	6,9	12,8
3. Männyn tyvitukin pintaosa	4,8	13,1
4. Harvennuskoivupölkkyt	4,0	11,1
5. Järeän koivun latvapölkkyt	3,8	12,2

Liimoitetut lastut siroteltiin puristettavaksi kakuksi käyttäen apuna halkaistusta muoviputkesta tehtyä kourua, jossa lastut suunnattiin käsin ja kumottiin alumiinilevyn päälle asetettuun 1000 x 500 mm:n kokoiseen lastulevystä valmistettuun muottilaatikkoon. Kun kaikki yhteen levyyn tulevat lastut oli siroteltu, muottilaatikko nostettiin varovasti pois ja alumiinilevy aihioineen siirrettiin puristimeen. Levyn paksuus säädettiin tasolle 25 mm alumiinisilla rajoitinlistoilla.

Aihiot puristettiin lämpötilassa 150°C 13 minuutin ajan, käyttäen taulukon 6 mukaista puristusaineita. Tutkimuksessa käytetty Becker van Hüllen -puristin on hydraulinen kuumavesilämmitteinen vaneripuristin. Puristuksen jälkeen levyt särmätettiin 900 x 450 mm:n mittoihin ja asetettiin tasaantumaan vakioilmastoon olosuhteisiin T = 20°C, RH = 65 %.

Jokaisesta raaka-aine-erästä valmistettiin neljä 900 x 450 mm:n levyä. Puristuksen jälkeiset tavoitetiheydet olivat harvennus- ja latvamännystä valmistetuilla levyillä 600 kg/m³ (raaka-ainelajit 1 ja 2) ja mäntyukin pintaosasta sekä harvennus- ja latvapölkkykoivulastuista valmistetuilla levyillä 760 kg/m³ (raaka-ainelajit 3, 4 ja 5); tavoitetiheydet valittiin raaka-ainelajien kuivatiheyden perusteella.

Taulukko 6. Puristusaine eri raaka-aineen tiheysluokissa ajan funktiona.

Puristusjakso, min	Tavoitetiheysluokka	
	600 kg/m ³	760 kg/m ³
	Paine, MPa	
0.00 - 5.00	3,1	3,8
5.00 - 9.00	1,9	2,5
9.00 - 12.00	0,8	1,3
12.00 - 12.30	0,4	0,4
12.30 - 13.00	0,0	0,0

Testaukset ja analyysit

Valmistetuista 25 mm:n paksuisista levyistä sahattiin testausta varten koekappaleita seuraavasti:

- syrjätaivutuskoe, 900 x 50 mm, 4 kpl / levyaihio, yhteensä 16 kpl
- lapetaivutuskoe, 500 x 50 mm, 4 kpl / levyaihio, yhteensä 16 kpl
- turpoamakoe, 50 x 50 mm, 5 kpl / levyaihio, yhteensä 20 kpl

Kaikista taivutuskoe-kappaleista määritettiin ilmakeivätiheys ρ_{12} (kg/m³) sekä taivutuskimmokerroin (MPa) ja taivutusmurtolujuus (MPa) neljän pisteen taivutuksessa. Yhdestä taivutuskoe-kappaleesta / levy määritettiin kosteussuhde. Lämpökaapissa tasaannutetuista koelevyistä ennen koestusta määritetty kosteussuhde vaihteli 11,3 ja 11,9 prosentin välillä. Turpoamakoe-kappaleista mitattiin ennen liotusta paksuus, leveys, pituus sekä massa, joiden perusteella laskettiin kappaleiden ilmakeivätiheydet. Kappaleita liotettiin vedessä 24 tuntia, jonka jälkeen em. tunnuksia mitattiin uudelleen. Kahden mittaustuloksen perusteella laskettiin kappaleiden vesiabsorptio sekä paksuus-, leveys- ja pituusturpoamat.

Taivutuskokeet tehtiin standardin SFS-EN 408 mukaisesti. Kimmokerroin (MOE) ja murtolujuus (MOR) mitattiin sekä lape- että syrjätaivutuksessa. Eri raaka-ainelajeista valmistettujen koekappaleiden tuloksia vertailtiin keskenään graafisena

tarkasteluna. Lisäksi tuloksia verrattiin kirjallisuudesta saatavilla olleisiin, mahdollisia korvattavia tuotteita koskeviin tietoihin.

Asetettujen hypoteesien todenperäisyyttä aineistossa tutkittiin Mann-Whitneyn U-testillä, joka on jakaumasta riippumaton kahden populaation vertailuun soveltuva testi (mm. Ranta ym. 1994). Nollahypoteesina (H_0) oli: populaatioiden jakaumien välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Jos testin tuloksena saatava p-arvo on alle 0,05 (5 prosentin riskitaso), jakaumien välillä olevaa eroa voidaan pitää tilastollisesti merkitseväenä. Testillä voidaan ainoastaan selvittää onko eroa olemassa, se ei ilmaise eron sijaintia tai syytä.

Kun oli saatu selville raaka-aineen tiheyden, tuotteen tiheyden ja tuotteen kimmoisuus- ja lujuusominaisuuksien väliset riippuvuudet, laskettiin teoreettisesti mänty- tai koivupienpuuraaka-ainetta käyttävän OSL-tehtaan puuraaka-aineen käyttömäärät valmistettaessa halutut lujuusarvot täyttävää palkkia. Tässä tarkastelussa OSL-palkin tavoitemurtolujuudeksi valittiin 40 MPa ja tehtaan vuosituotantomääräksi 10 000, 50 000 ja 100 000 m³.

2.3 Alueittaiset raaka-ainekertymät

Alueittaisia raaka-ainekertymiä tarkasteltiin Etelä-Suomen rannikkoalueiden neljällä metsäkeskusalueella (Lounais-Suomi, Häme-Uusimaa, Kaakkois-Suomi ja Etelä-Pohjanmaa). Raaka-aineen saatavuuskysymystä käsiteltiin aluksi mänty- ja koivuvaltaisten metsiköiden kehitysluokittaisina pinta-aloina kirjallisuuden perusteella (Tomppo ym. 1998, 1999, 2000, Korhonen ym. 2000a, 2000b). Eri metsäkeskusalueiden kehitysluokittaiset hakkuutarpeet on arvioitu 9. valtakunnan metsien inventoinnin maastomittausten yhteydessä ja tiedot ajoittuvat sen vuoksi eri vuosille 1990-luvun lopussa. Tämä ei aiheuttane kuitenkaan suurta harhaa ajoitettaessa tuloksia vaikkapa nykypäivään; merkittäviä muutoksia alueittaisissa ja kehitysluokittaisissa hakkuutarpeissa ei ole tietyvästi viime vuosina tapahtunut.

Edelleen kirjallisuustarkasteluna (Hirvelä ym. 1998, Hirvelä 1999, 2000, Nuutinen & Hirvelä 2000a, 2000b) määritettiin mänty- ja koivukuitupuun vuotuiset hakkuukertymät puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla tutkituilla metsäkeskusalueilla suurimman kestävän hakkuusuunnitteen mukaisesti. Lisäksi raportoitiin Peltolan (2002) tulokset mänty- ja lehtikuitupuun vuonna 2001 toteutuneista hakkuista ko. alueilla.

Pieniläpimittaiselle männylle ja koivulle laskettiin lisäksi alueellisten metsäohjelmien (AMO) mukaiset hakkuukertymäennusteet jaksotettuna 30 vuoden ajalle metsäkeskusalueittain Metsäntutkimuslaitoksen MELA-ohjelmistolla. Tutkitut ajanjaksot olivat: Etelä-Pohjanmaa (ennusteet vuosille 1997-2026), Häme-Uusimaa (1999-2028), Kaakkois-Suomi (1997-2026) ja Lounais-Suomi (1998-2027). Myös näissä laskelmissa lähtötietoina on käytetty 9. valtakunnan metsien inventoinnin maastomittausten tietoja. Laskentamenetelmä on kuvattu tarkemmin julkaisuissa Hirvelä ym. (1998), Hirvelä (1999, 2000) ja Nuutinen & Hirvelä (2000a, 2000b).

MELA-laskelmien tulokset esitetään puuston viiden senttimetrin rinnankorkeusläpimittaluokien (6-10 cm ja 11-15 cm). Tulokset eivät siis sisällä em. läpimittaluokkia järempien puiden latvaosista saatavaa kuitupuuta eivätkä tukkivähennystä eli järeydeltään tukkikokoista mutta laatunsa vuoksi kuitupuuksi luokiteltavaa puutavaraa. MELA-laskelmissa kuitupuun minimiläpimittana käytettiin männyllä 63 mm ja koivulla 65 mm ja kuitupuupölkyn minimipituutena molemmilla puulajeilla 2,0 m.

Nämä raja-arvot poikkeavat jonkin verran puukaupassa tavanomaisista kuitupuun minimimitoista.

2.4 Raaka-aineen tehdashinnat ja rakennepuutuotannon talous

Yksi ensiharvennuspuun hyödyntämistä rajoittava tekijä ovat korkeat puunkorjuukustannukset. Ensiharvennuspuun korjuun yksikkökustannukset ovat jopa kolminkertaiset päätehakuilta saatavan puutavaran kustannuksiin verrattuna (Örn 2002). Korjuun yksikkökustannuksia nostavat käsiteltävien runkojen suuri määrä puutavaran tilavuusyksikköä ja leimikon pinta-alayksikköä kohti, varovainen ja osin talvikauteen rajattu työskentely jäävän puuston vaurioiden minimoimiseksi, puutavaran pienet hehtaarikohtaiset kertymät (tyypillisesti 40-50 m³/ha) sekä pieniläpimittaisen puun kuormien alhaisempi tiiviys metsä- ja kaukokuljetuksessa.

Koska korjuu pienpuuta eli latvaläpimitaltaan alle 15 cm:n puutavaraa tuottavilla ensiharvennusleimikoilla ja muilla kasvatushakuuleimikoilla tehdään nykyisin yli 80-prosenttisesti koneellisesti (Örn 2002), sen tehostamiseksi on kokeiltu mm. joukkokäsittelyä, jossa hakkuukoneen kaatopäähän kerätään useita runkoja, jotka karsitaan samassa nipussa (mm. Sikanen & Vesisenaho 1995). Lisäksi on kehitetty yhdistelmäkoneita, jotka tekevät sekä hakkuun että metsäkuljetuksen (esim. Rieppo 2001). Joukkokäsittelyhakkuukoneet sen paremmin kuin yhdistelmäkoneetkaan eivät ole toistaiseksi osoittautuneet erityisen kustannustehokkaiksi ratkaisuksi ensiharvennusleimikoiden korjuussa.

Tässä tutkimuksessa pienpuuraaka-aineelle laskettiin tehdashinnat kaavalla:

$$Th = Kh + Tj + K + Kk \quad (1)$$

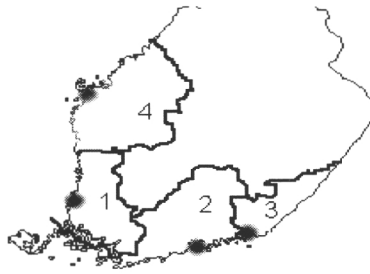
jossa Th = tehdashinta, Kh = puutavaran kantohinta, Tj = työnjohtokustannus, K = korjuukustannus, Kk = kaukokuljetuskustannus maantiekuljetuksena, kaikki yksiköllään €/m³ (kuorineen).

Kantohintatietoina käytettiin mänty- ja koivukuitupuun vuoden 2002 keskimääräisiä hintoja metsäkeskusalueittain. Hintatiedot haettiin Metlan Metinfo -palvelusta. Työnjohtokustannuksena (työ-, pääoma- ja hallintokustannukset ja organisaation yleiskustannukset) käytettiin 5,15 €/m³, joka oli laskettu ensiharvennusleimikoiden keskimääräiseksi työnjohtokustannukseksi Salon & Uusitalon (2001) tutkimuksessa. Työnjohtokustannus on voimakkaasti leimikon ominaisuuksista riippuva kustannuserä vaihdellen suurialaisten päätehakuuleimikoiden tasolta noin 1 €/m³ pienialaisten, huonojen kulkuyhteyksien päässä olevien ensiharvennusleimikoiden tasolle noin 12 €/m³.

Ensiharvennusten korjuukustannukset riippuvat oleellisesti puuston järeydestä, ts. rungon keskitilavuudesta sekä poistuman tiheydestä (Kuitto ym. 1994). Lähikuljetuskustannukset riippuvat mm. kuljetusmatkasta, maastoluokasta ja puutavaran järeydestä. Koska leimikkokohtaisia muuttujia ei voida määrittää suuralueitasolla ja keskimääräisten leimikkotietojen yleistämistä suuralueille ei katsottu mielekkääksi, käytettiin korjuukustannuksina aiemmista tutkimuksista saatuja keskimääräisiä arvoja. Kustannusten vaihtelun mahdollisuus pyrittiin ottamaan huomioon laskemalla tehdashintoja eritasoisilla korjuukustannuksilla (11, 13 ja 15 €/m³). Salon & Uusita-

lon (2001) tutkimuksessa pelkät hakkuukustannukset vaihtelivat harvennusleimikoiden koneellisessa hakkuussa välillä 5-10,5 €/m³.

Puutavaran kaukokuljetuskustannuksena käytettiin Metsäteho Oy:n tilastoista (Örn 2002) saatuja autokuljetuskustannuksia. Kuvassa 2 on esitetty tutkittujen metsäkeskusalueiden ja puutavaran kuvitteelliseksi käyttökohteiksi valittujen paikkakuntien sijainnit. Keskimääräinen kuljetusmatka kohteeseen laskettiin kyseisen metsäkeskuksen alueella sijaitsevien kuntien keskustaajamien ja kohdepaikkakunnan keskustaajaman välisten etäisyyksien keskiarvona. Etäisyydet määritettiin Tiehallinnon Internet-palveluna toimivan välimatkalaskurin avulla.



Kuva 2. Tutkitut metsäkeskusalueet ja raaka-aineen kuvitteelliset käyttökohdepaikkakunnat. 1. Lounais-Suomi (Rauma), 2. Häme-Uusimaa (Helsinki), 3. Kaakkois-Suomi (Kotka), 4. Etelä-Pohjanmaa (Vaasa). Metsäkeskusalueiden 2 ja 4 rannikko-osat kuuluvat Rannikon metsäkeskukseen, joiden puustotietoja ei tämän tutkimuksen MELA-laskelmissa otettu huomioon.

Niille tuotteille, joille voitiin löytää markkinahinnat, laskettiin keskimääräinen hintataso aikaväliltä 1996-2001. Levymäisten puutuotteiden hinnat ilmoitetaan yhdysvaltalaisissa tilastoissa muodossa \$/1000 ft² (neliöjalkaa). Muunnettaessa hintoja kuutiometri-perusteisiksi otettiin huomioon levyn paksuus. OSB-levyn hintatilastoissa seurataan yleisimmin 7/16"-paksuisen (n. 1 cm) levyn hintakehitystä. Kyseisellä levypaksuudella 1000 neliöjalkaa vastaa noin 1 m³:n tilavuutta. Raakapuun sekä sahatavaran ja palkkimaisten tuotteiden hinnat puolestaan ilmoitetaan Yhdysvalloissa muodossa \$/1000 bft (board foot, lautajalka). Raakapuun lautajalka on n. 4,5 dm³ ja havusahatavaran lautajalka n. 2 dm³. Hintoja verrattaessa on otettava huomioon myös hinnoitteluperuste. Pohjois-Amerikassa hinta ilmoitetaan yleensä tehtaalla ilman veroja (FOB). Rahtikustannukset korottavat hintaa.

OSL-palkille ei voitu määrittää markkinahintaa, koska tuotetta ei tiettävästi tällä hetkellä ole kaupan Euroopassa eikä pohjoisamerikkalaisiakaan hintatietoja saatu selville. OSB-levyä lukuun ottamatta tuotteiden hinta-arviot ovat muutoinkin osin harhaanjohtavia. Esim. vain yhden yrityksen valmistamien LSL:n ja PSL:n erikoistuotemainetta ja hintoja pidetään keinotekoisesti korkeina tuotantoa rajoittamalla.

Tuotteiden valmistuksen teknis-taloudellista kannattavuutta Suomessa tutkittiin markkinahintojen ja raaka-aineen tehdashintojen välisen erotuksen perusteella. Erotuksen pitäisi näin ollen kattaa tuotteen valmistuskustannukset, kotimaiset logistiikkakustannukset, markkinointikustannukset sekä yrityksen tavoitteellisen katteen. Laskelmissa oletetaan, ettei männystä ja koivusta valmistettujen tuotteiden hinnoissa ole eroja, jos tuotteiden lujuus- ym. tekniset ominaisuudet ovat toisiaan vastaavia. Käytännössä männyn ja koivun käsittely- ja prosessointikustannuksissa on todennäköisesti eroja, koska koivu on keskimäärin mäntyä tiheämpi ja siten esim. OSB-levyn valmistuksessa erilaisia puristusvoimia vaativa puulaji.

2.5 Standardit ja tuotesuojaukset

Standardeihin ja tuotesuojauksiin perehdyttiin kirjallisuustutkimuksena. Tarkastelussa oli mukana joukko painettuja ja internetistä haettuja rakennepuutuotteisiin liittyviä patenteja. Patentit jakautuivat tuotteita ja valmistusmenetelmiä yleisesti kuvaaviin sekä yksittäisiä valmistusvaiheita ja laitteita edellisiä yksityiskohtaisemmin kuvaaviin patenteihin. Koska patenttien tarkoituksena on suojata uusia keksintöjä ja menetelmiä kilpailijoilta, olennaiset asiat on esitetty niissä usein tietoisesti vaikeatajuisesti, moniselitteisesti ja kiertoilmauksia käyttäen. Tämän vuoksi halutun tiedon saaminen niistä voi olla vaikeata, mikä havaittiin tässäkin tutkimuksessa.

3 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

3.1 Tuotteiden raaka-ainevaatimukset

Rakennepuutuotteiden raaka-aineena hyödynnetään noin kolmeakymmentä puulajia. Näiden nimet ja pääasialliset käyttömaat on esitetty taulukossa 7. Erityisesti OSB:n valmistuksessa puulajivalikoima on maailmanlaajuisesti monipuolinen. Yhdysvalloissa OSB:n valmistuksessa käytetään yleisimmin haapaa, etelänmäntyä (10 lajia), paperikoivua, punavaahteraa, amerikansatiinipähkinäpuuta sekä tulppaanipuuta. Näiden pääpuulajien lisäksi käytetään sekaraaka-aineena pieniä määriä muita puulajeja. Kanadassa käytetään strobsumäntyä, kuusta, palsamipoppeleitä ja paperikoivua sekä maan länsiosissa myös haavan ja banksinmännyn sekoitusta. Teknisiltä ominaisuuksiltaan selvästi muista OSB:n raaka-aineista poikkeava puusuku on eukalyptuslajit, joissa puuaineen tiheys on verraten korkea. Eukalyptusta kuten myös kumipuuta käytetään Aasiassa ja Australiassa. Skotlannissa ja Ranskassa käytetään mm. metsämäntyä ja rannikkomäntyä.

LSL:n raaka-aineena käytetään USA:ssa haapaa ja tulppaanipuuta. PSL:n raaka-aineena käytetään tulppaanipuun lisäksi douglaskuusta, lännenhemlokkia, etelänmäntyä, poppeleita ja punavaahteraa.

OSB:n, LSL:n ja PSL:n raaka-aineina käytettyjen puulajien teknisistä ominaisuuksista (Forest Products...1999) laskettiin tuoteryhmittäin keski-, minimi ja maksimiarvot (taulukko 8). OSL-palkin valmistukseen käytettävistä puulajeista ei saatu erillistä tietoa, mutta puulajit ovat ainakin pääosin samoja, joista valmistetaan OSB-levyä. Lisäksi kerättiin eri lähteistä tiedot mekaanisista ominaisuuksista ja kuiva- tuoretiheydestä (ρ) tukkikokoisista männyn, kuusen, koivun ja haavan virheettömistä koekappaleista mitattuina (taulukko 8) (Jalava 1945, 1957, Uusvaara 1974, Hakkila 1979, Kärkkäinen ja Dumell 1983, Hakkila ym. 1995, Fagerstedt ym. 1996, Verkasalo 1998, Forest Products...1999, Kärki 2001, Möttönen & Luostarinen 2001, Hakkila ym. 2002, Heräjärvi 2002).

Taulukko 7. OSB:n, LSL:n ja PSL:n valmistuksessa käytettäviä puulajeja (Verkasalo 1990, Lowood 1997, Nelson 1997, Forest Products... 1999, ICBO 2000).

Tuote	Puulaji englanniksi	Puulaji latinaksi	Puulaji suomeksi	Käyttömaa
OSB	Paper birch	<i>Betula papyrifera</i>	Paperikoivu, amerikanhieskoivu	USA, Kanada
	Red maple	<i>Acer rubrum</i>	Punavaahtera	USA, Kanada
	Sweetgum	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Amerikansatiinipähkinäpuu	USA
	Yellow-poplar, tulip tree	<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulppaanipuu	USA
	Balsam poplar	<i>Populus balsamifera</i>	Palsamipoppeli	USA, Kanada
	Rubberwood	<i>Hevea brasiliensis</i>	Kumipuu	Aasia, Australia
	American arborvitae, Northern white cedar	<i>Thuja occidentalis</i>	Kanadantuija	USA, Kanada
	Aspen	<i>Populus spp.</i>	Haapa	
	Quaking	<i>P. tremuloides</i>	Amerikanhaapa	USA, Kanada
	Bigtooth	<i>P. grandidentata</i>	Isohampainen haapa	USA, Kanada
	Eucalyptus	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eukalyptus	Aasia, Australia
	Jarrah	<i>E. marginata</i>	Jarrah	Aasia, Australia
	Karri	<i>E. diversicolor</i> F. Muell.	Karri	Aasia, Australia
	Red alder, Oregon alder	<i>Alnus rubra, A. oregona</i>	Punaleppä	USA
	Jack pine	<i>Pinus banksiana</i>	Banksinmänty	USA, Kanada
	Maritime pine	<i>Pinus pinaster</i>	Rannikkomänty, merimänty	Eurooppa
	Radiata pine	<i>Pinus radiata</i>	Montereynmänty, radiatamänty	Chile
	Scots pine	<i>Pinus sylvestris</i>	(Metsä)mänty	Eurooppa
	Red pine	<i>Pinus resinosa</i>	Amerikanpunamänty	USA
	Eastern white pine	<i>Pinus strobus</i>	Strobusmänty	Kanada
	Southern (yellow) pine	<i>Pinus spp.</i>	Etelän(kelta)mänty	USA
	Loblolly	<i>P. taeda</i>	Loblollymänty	USA
	Longleaf	<i>P. palustris</i>	Pitkäneulasmänty	USA
	Shortleaf	<i>P. echinata</i>	Lyhytneulasmänty	USA
	Slash	<i>P. elliotii</i>	Elliotinmänty	USA
	Spruce	<i>Picea spp.</i>	Kuusi	Kanada
	Black	<i>P. mariana</i>	Mustakuusi	Kanada
Engelmann	<i>P. engelmannii</i>	Engelmanninkuusi	USA, Kanada	
Red	<i>P. rubens</i>	Amerikanpunakuusi	USA, Kanada	
Sitka	<i>P. sitchensis</i>	Sitkankuusi	USA, Kanada	
White	<i>P. glauca</i>	Valkokuusi	USA, Kanada	
LSL	Aspen	<i>Populus spp.</i>	Haapa	
	Quaking	<i>P. tremuloides</i>	Amerikanhaapa	USA, Kanada
	Bigtooth	<i>P. grandidentata</i>	Isohampainen haapa	USA, Kanada
	Yellow-poplar, tulip tree	<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulppaanipuu	USA
PSL	Douglas fir	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglaskuusi	USA, Kanada
	Western hemlock	<i>Tsuga heterophylla</i>	Lännenhemlockki	USA, Kanada
	Red maple	<i>Acer rubrum</i>	Punavaahtera	USA
	Yellow-poplar, tulip tree	<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulppaanipuu	USA
	Southern (yellow) pine	<i>Pinus spp.</i>	Etelän(kelta)mänty	USA

Pieniläpimittaisen puuraaka-aineen tiheysarvojen vertailu rakennepuutuotteiden valmistuksessa käytettyjen puulajien tiheysarvoihin osoittaa, että suomalainen mänty- ja koivupienpuu ovat teknisten ominaisuuksiensa puolesta kilpailukykyistä raaka-ainetta perinteisten OSB:n, LSL:n, OSL:n ja PSL:n valmistuksessa käytettyjen raaka-aineiden kanssa. Raaka-aineominaisuuksiin perustuvaa estettä ei liene kotimaisen haavankaan hyödyntämiselle edellä mainituissa rakennepuutuotteissa.

Tulevaisuuden kotimaistakin puuraaka-ainepotentiaalia ajatellen mielenkiintoista hybridihaapaa on kokeiltu Yhdysvalloissa OSB-levyn raaka-aineena (Peters ym. 2002). Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin hybridihaaparaaka-aineen olevan mekaanisilta ominaisuuksiltaan risteyttämätöntä haapaa huonompaa, mikä heijastui myös levyjen ominaisuuksiin.

Taulukko 8. OSB:n, LSL:n ja PSL:n raaka-aineena käytettyjen puulajien mekaanisten ominaisuuksien sekä säteen suuntaisen (r), tangentin suuntaisen (t) ja tilavuuden (v) kutistumisen ja kuivatuoretiheyden keskiarvot ja käytännössä esiintyvät minimi- ja maksimiarvot. Lisäksi männyn, kuusen, koivun ja haavan vastaavat ominaisuudet virheettömistä koekappaleista mitattuina (Jalava 1945, 1957, Uusvaara 1974, Hakkila 1979, Kärkkäinen & Dumell 1983, Hakkila ym. 1995, Fagerstedt ym. 1996, Verkasalo 1998, Forest Products... 1999, Kärki 2001, Möttönen & Luostarinen 2001, Hakkila ym. 2002, Heräjärvi 2002).

	Taivutus- lujuus	Veto- lujuus	Puristuslujuus		Kimmo- kerroin	Kutistuminen			Kuivatuoretiheys kg/m ³
				⊥		r	t	v	
			MPa			%			
Rakennepuutuotteiden raaka-aineena käytetyt puulajit									
OSB									
Keskiarvo	81	3,2	43,4	4,3	11300	4,6	8,0	13,0	440
Min	58	1,8	29,3	2,6	8100	3,0	6,6	10,3	350
Max	139	5,2	74,5	7,0	17900	7,8	12,4	20,2	820
LSL									
Keskiarvo	64	2,8	34,7	3,0	9600	3,8	7,6	12,0	370
Min	58	1,8	29,3	2,6	8100	3,5	6,7	11,5	350
Max	70	3,7	38,2	3,4	10900	4,6	8,2	12,7	400
PSL									
Keskiarvo	84	3,0	48,0	5,0	12100	5,0	8,0	12,0	450
Min	70	2,0	38,0	3,0	10900	4,0	7,0	11,0	400
Max	95	4,0	54,0	6,0	13400	5,0	8,0	13,0	510
Kotimaiset puulajit									
Järeä puuraaka-aine									
Mänty	86	3,4	48,0	4,2	12500	3,7	7,8	12,3	400-420
Koivu	115	7,0	55,0		14500	5,3	7,8	14,0	480-520
Haapa	86	4,5	43,0		13200	3,5	8,5	10,0	400
Rinnankorkeusläpimittaluokat 7-17 cm ¹⁾									
Mänty	65 ²⁾		36 ²⁾						400
Koivu	77 ²⁾		42 ²⁾						470

¹⁾ Tätä pienempien rauduskoivujen keskimääräinen tiheys vaihtelee Vellingin (1979) mukaan välillä 400-430 kg/m³.

²⁾ Arvot on laskettu Armstrongin ym. (1983) esittämällä eksponenttiyhtälöillä. Kirjallisuustietoja mekaanisista ominaisuuksista kotimaiselle mänty- ja koivupienpuulle ei ollut kirjoitusajankohtana saatavilla, mutta Metlan vielä julkaisemattomissa tutkimuksissa tulokset ovat samansuuntaisia.

3.2 Laboratoriokokeet

Koekappaleiden tiheys ja kosteusturpoamat

Taulukossa 9 on esitetty yhteenveto eri raaka-ainelajien ilmakeivätiheys-, vesiabsorptio- ja kosteusturpoamatuloksista. Eri kohdista levyä sahattujen koekappaleiden tiheydet vaihtelivat varsin paljon. Suurimmillaan samasta raaka-ainelajista valmistettujen näytteiden ilmakeivätiheyden ero oli 275 kg/m^3 , pienimmilläänkin 125 kg/m^3 . Tärkein syy suuriin tiheysvaihteluihin lienee ollut lastujen epätasainen sirottelu. Keskimäärin toteutuneet tiheydet olivat kuitenkin melko lähellä tavoitettiheyksiä 600 ja 760 kg/m^3 .

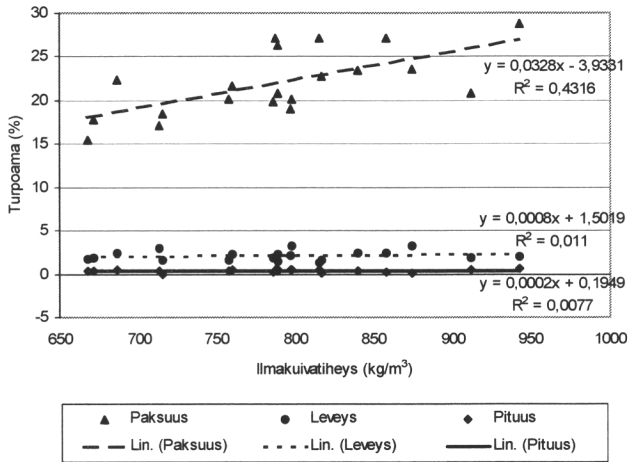
Taulukko 9. Koekappaleiden ilmakeivätiheyden, vesiabsorptio (12 %:n kosteussuhteesta täysin vettyneeksi) ja paksuus-, leveys- ja pituussuunnassa määritetyn kosteusturpoaman keskiarvot (*keskihajonnat*) 20 kappaleen otoksesta määritettynä raaka-ainelajeittain.

Raaka-ainelaji	Ilmakeivätiheys kg/m^3	Vesiabsorptio %	Turpoama %		
			Paksuus	Leveys	Pituus
1. Harvennuskappale					
Tavoitelastupaksuus 0,5 mm	640 (45)	73,9 (7,1)	17,3 (2,9)	1,0 (0,3)	0,2 (0,2)
Tavoitelastupaksuus 1,0 mm	626 (36)	72,2 (6,1)	15,8 (2,8)	1,3 (0,2)	0,3 (0,2)
2. Järeän männyn latvapölkkyt	635 (48)	74,0 (5,9)	20,2 (4,0)	1,2 (0,2)	0,3 (0,2)
3. Männyn tyvitukin pintaosa	771 (62)	52,3 (5,0)	18,2 (3,4)	1,6 (0,3)	0,1 (0,2)
4. Harvennuskoivupölkkyt	789 (75)	54,0 (6,8)	22,0 (3,8)	2,1 (0,6)	0,4 (0,2)
5. Järeän koivun latvapölkkyt	763 (44)	57,7 (5,1)	21,9 (3,3)	1,8 (0,5)	0,4 (0,2)

Keskimääräinen vesiabsorptio oli noin 20 prosenttiyksikköä pienempi järeän männyn tyvitukin pintaosasta, harvennuskoivusta ja järeän koivun latvasta valmistetuissa levyissä kuin harvennuskappaleista ja järeän männyn latvaosasta valmistetuissa levyissä. Vesiabsorptio myös pieneni levyn tiheyden kasvaessa. Levyn paksuusturpoama puolestaan kasvoi tiheyden kasvaessa, mikä on havaittu myös aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Linville 2000). Levyn pituus- ja leveysturpoamaan tiheyden kasvulla ei ollut vaikutusta. Kuvassa 3 on esitetty erisuuntaisten turpoama-arvojen riippuvuudet tiheydestä harvennuskoivulla. Raaka-ainelajien välillä ei ollut tässä suhteessa eroja.

Taivutuskokeet

Koekappaleiden syrjä- ja lapetaivutuskokeiden tulosten yhteenveto on esitetty taulukossa 10. Tulokset ovat 16 taivutuskokeen keskiarvoja lukuun ottamatta männyn latvapölkkyistä tehtyjen koekappaleiden syrjätaivutusta sekä harvennuskoivusta tehtyjen koekappaleiden lapetaivutusta, joissa keskiarvot on laskettu 15 taivutuksesta. Näissä yhden testin tulokset pilasi sähköhäiriö taivutuskokeen aikana.



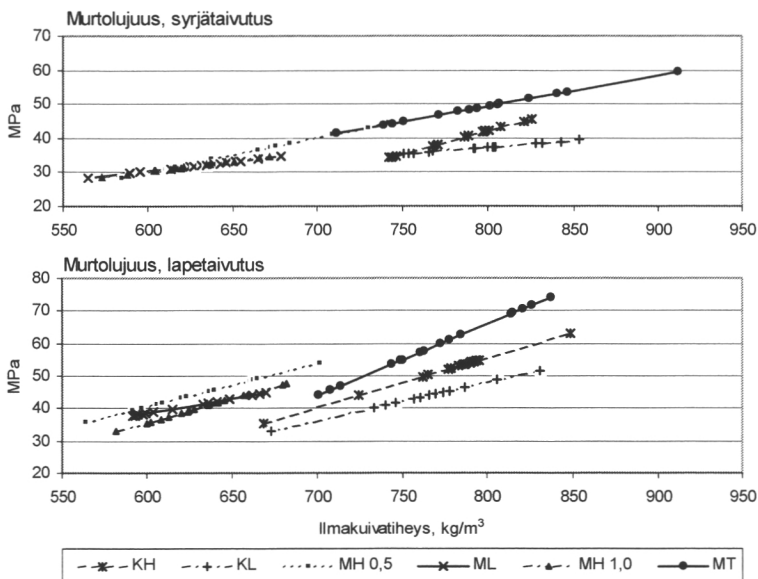
Kuva 3. Harvennuskoivusta valmistetun levyn paksuus-, leveys- ja pituusturpoamat levyn ilmakuivatiheyden funktiona.

Taulukko 10. Taivutuskoekappaleiden ilmakuivatiheyden (ρ_{12}), taivutuskimmokertoimen (MOE) ja -murtolujuuden (MOR) keskiarvot, -hajonnat ja ääriarvot raaka-ainelajeittain.

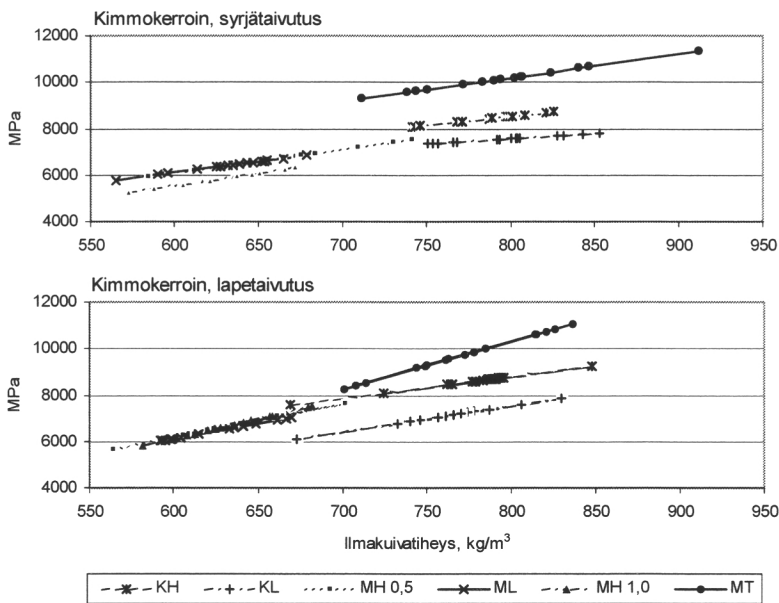
Raaka-ainelaji		Syrjätaivutus			Lapetaivutus		
		ρ_{12} kg/m ³	MOE MPa	MOR MPa	ρ_{12} kg/m ³	MOE MPa	MOR MPa
1. Harvennusmäntypökkyt							
Tavoitelastupaksuus 0,5 mm	\bar{X}	655	6654	35,5	632	6646	44,7
	s	47	534	5,6	34	541	5,1
	Min	585	5619	23,4	564	5356	32,9
	Max	742	7459	45,3	702	7416	50,5
Tavoitelastupaksuus 1,0 mm	\bar{X}	624	5819	31,6	631	6649	40,2
	s	27	444	2,9	28	548	5,4
	Min	573	4904	25,2	582	5443	29,8
	Max	672	6556	37,9	682	7641	49,3
2. Järeän männyn latvapökkyt							
	\bar{X}	632	6415	32,0	628	6496	41,1
	s	29	383	2,8	29	498	4,8
	Min	565	5497	25,3	592	5670	33,3
	Max	679	7115	35,2	682	7291	50,9
3. Männyn tyvitukin pintaosa							
	\bar{X}	795	10121	48,8	771	9727	59,5
	s	48	766	7,9	43	970	11,5
	Min	711	8219	35,2	701	8161	38,1
	Max	912	11104	61,8	837	11351	76,4
4. Harvennuskoivupökkyt							
	\bar{X}	788	8451	42,5	775	8637	51,8
	s	27	1056	8,0	38	969	8,1
	Min	742	5354	24,2	669	6185	29,1
	Max	826	9659	57,3	848	9729	62,2
5. Järeän koivun latvapökkyt							
	\bar{X}	795	7549	37,1	761	7087	43,4
	s	32	694	4,0	34	761	5,4
	Min	751	5868	28,7	673	5286	35,9
	Max	853	8507	44,0	830	8093	53,0

Koekappaleen taivutuskimmoisuuden ja –lujuuden riippuvuutta ilma-kuivatiheydestä tutkittiin lineaarisella regressioanalyysillä. Kuten kosteusturpoamakappaleissa, myös taivutuskappaleissa ilma-kuivatiheys vaihteli varsin paljon. Ääriarvojen oletettiin aiheuttavan vääristymiä keskitunnuksiin tai mekaanisten ominaisuuksien ja ilma-kuivatiheyden välisiin riippuvuussuhteisiin. Ääriarvojen vaikutuksen eliminoimiseksi aineistoa muokattiin siten, että tiheydeltään kolme pienintä ja kolme suurinta kappaletta poistettiin, jonka jälkeen aineistoon sovitettiin uudet lineaariset trendikäyrät. Pienennettyyn aineistoon sovitettujen regressiosuorien kulmakertoimet eivät poikenneet merkittävästi koko aineiston perusteella laadittujen suorien kulmakertoimista. Niinikään alkuperäisen ja pienennetyn aineiston väliset erot keskimääräisissä ilma-kuivatiheyksissä, taivutuskimmokertoimissa ja –murtolujuuksissa olivat hyvin pieniä, mikä osoittaa koko aineiston keskitunnusten kuvanneen varsin hyvin kappaleiden ominaisuuksia. Pienennetyn aineiston käsittelyä ei jatkettu tämän pidemmälle.

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty koekappaleiden taivutusmurtolujuuden ja -kimmokertoimen riippuvuudet ilma-kuivatiheydestä syrjä- ja lapetaivutuksissa. Sekä kimmokerroin että murtolujuus kasvoivat levyn ilma-kuivatiheyden noustessa kaikilla raaka-ainelajeilla. Tavoitetiheysluokassa 760 kg/m^3 parhaat kimmoisuus- ja lujuusarvot olivat mäntytukin pintapuulastuista valmistetuilla koekappaleilla. Tavoitetiheysluokan 600 kg/m^3 alhaisimmat tulokset saatiin $1,0 \text{ mm:n}$ lastupaksuuden harvennusmäntyraaka-aineesta valmistetuilla koekappaleilla. Tulos puoltaa hypoteesia, jonka mukaan oksaton pintapuu on tutkituista raaka-ainelajeista lähimpänä haluttua.



Kuva 4. Koekappaleiden murtolujuudet syrjätaivutuksessa (yläkuva) ja lapetaivutuksessa (alakuva) raaka-ainelajeittain ilma-kuivatiheyden funktiona. KH: harvennuskoivupölkkyt, KL: järeän koivun latvapölkkyt, MH 0,5: harvennusmäntypölkkyt $0,5 \text{ mm:n}$ tavoitelastupaksuudella, MH 1,0: harvennusmäntypölkkyt $1,0 \text{ mm:n}$ tavoitelastupaksuudella, ML: järeän männyn latvapölkkyt, MT: männyn tyvitukin pintaosa.



Kuva 5. Koekappaleiden kimmokertoimet syrjätaivutuksessa (yläkuva) ja lapetaivutuksessa (alakuva) raaka-ainelajeittain ilmakeiheyden funktiona. KH: harvennuskoivupölkkyt, KL: järeän koivun latvapölkkyt, MH 0,5: harvennusmäntypölkkyt 0,5 mm:n tavoitelastupaksuudella, MH 1,0: harvennusmäntypölkkyt 1,0 mm:n tavoitelastupaksuudella, ML: järeän männyn latvapölkkyt, MT: männyn tyvitukin pintaosa.

Mann-Whitneyn testin mukaan raaka-ainelajien erot taivutuslujuuksissa ja kimmokertoimissa olivat pääosin tilastollisesti merkitseviä (taulukko 11). Kappaleiden ilmakeiheyserot eivät sen sijaan olleet merkitseviä tavoiteteiheytsluokkien 600 kg/m^3 ja 760 kg/m^3 sisäisissä vertailuissa. Männyn latvapölkkyjen puusta valmistettujen koekappaleiden ominaisuudet eivät eronneet harvennusmäntypölkkyjen puusta valmistetuista, joissa tavoitelastupaksuus ei myöskään vaikuttanut ominaisuuksiin.

Koivun latvapölkkyjen puusta valmistettujen koekappaleiden kimmoisuus- ja lujuusarvot olivat sekä syrjä- että lapetaivutuksessa harvennuskoivupölkkyjen puusta valmistettuja alemmat. Ero voi johtua latvakoivuraaka-aineesta esiintyneistä epämuodostuneista lastuista, jotka aiheutuivat latvapölkkyjen suurista tuoreista oksista. Koko koivuaineiston koekappaleiden keskimääräinen ilmakeiveys ei eronnut mäntytukin pintaosan puusta valmistettujen koekappaleiden ilmakeiheydestä. Tiheysluokkien 600 kg/m^3 ja 760 kg/m^3 erot olivat merkitseviä kaikissa koekappaleiden tarkastelluissa ominaisuuksissa.

Koekappaleen lapetaivutuslujuus valittuun ilmakeiheyteen (ρ_{12}) puristettuna voidaan laskea yhtälöillä 2 (mänty) ja 3 (koivu), ja syrjätaivutuslujuus yhtälöillä 4 (mänty) ja 5 (koivu). Vastaavasti voidaan laskea lapetaivutuslukumokeroin yhtälöillä 6 (mänty) ja 7 (koivu) sekä syrjätaivutuslukumokeroin yhtälöillä 8 (mänty) ja 9 (koivu). Mäntyaineistosta poistettiin yhtälöiden laskennassa tyvitukin pintapuosa-aineisto, joka oli pienpuuaineistoista poikkeava. Koivulastuista valmistetuissa koekappaleissa syrjätaivutuslujuuden ja ilmakeiheyden (yhtälö 5) sekä syrjätaivutuslukumokertoimen ja ilmakeiheyden (yhtälö 9) väliset riippuvuudet olivat huomattavan alhaisia verrattuna lapetaivutuksessa havaittuihin riippuvuuksiin.

Ratkaisemalla yhtälöt ilmakeivätiheyden (ρ_{12}) suhteen voidaan määrittää, mihin tiheyteen levyaiho pitää puristaa haluttaessa kappaleelle määrätty taivutuslujuus tai -kimmokerroin lape- tai syrjätaivutuksessa. Syrjätaivutuslujuuden (yhtälö 5) ja -kimmokerroimen (yhtälö 9) riippuvuudet ilmakeivätiheydestä olivat koivulastuista valmistetuissa palkeissa alhaiset myös käännettyistä yhtälöistä määritettyinä, eivätkä siten soveltamiskelpoisia.

Taulukko 11. Mann-Whitneyn U-testien tulokset raaka-ainelajien taivutuskimmokerroimen (MOE), -murtolujuuden (MOR) ja ilmakeivätiheyden (ρ_{12}) pareittaisissa vertailuissa. Jos $p < 0,05$, ero on tilastollisesti merkitsevä.

Vertailupari	Syrjätaivutuskoekappaleet			Lapetaivutuskoekappaleet		
	MOE	MOR	ρ_{12}	MOE	MOR	ρ_{12}
	p-arvot					
Harvennussmäntypölkkyt, lastupaksuus 0,5 mm vs. Harvennussmäntypölkkyt, lastupaksuus 1,0 mm	0,000	0,010	0,080	0,780	0,014	0,897
Harvennussmäntypölkkyt, lastupaksuus 1,0 mm vs. Järeän männyn latvapölkkyt	0,000	0,338	0,270	0,402	0,696	0,780
Harvennuskoivupölkkyt vs. Järeän koivun latvapölkkyt	0,001	0,015	0,564	0,000	0,000	0,056
Koivupölkkyt vs. Männyn tyvitukin pintapuuosia	0,000	0,000	0,974	0,000	0,001	0,983
Tiheysluokan 600 kg/m ³ raaka-ainelajit vs. Tiheysluokan 760 kg/m ³ raaka-ainelajit	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\text{Lapetaivutus, mänty} \quad \text{MOR} = 0,126 * \rho_{12} - 37,245 \quad r^2: 0,492 \quad (2)$$

$$\text{Lapetaivutus, koivu} \quad \text{MOR} = 0,155 * \rho_{12} - 71,216 \quad r^2: 0,490 \quad (3)$$

$$\text{Syrjätaivutus, mänty} \quad \text{MOR} = 0,089 * \rho_{12} - 23,610 \quad r^2: 0,619 \quad (4)$$

$$\text{Syrjätaivutus, koivu} \quad \text{MOR} = 0,068 * \rho_{12} - 14,338 \quad r^2: 0,090 \quad (5)$$

$$\text{Lapetaivutus, mänty} \quad \text{MOE} = 14,729 * \rho_{12} - 2692,991 \quad r^2: 0,717 \quad (6)$$

$$\text{Lapetaivutus, koivu} \quad \text{MOE} = 19,121 * \rho_{12} - 6844,561 \quad r^2: 0,369 \quad (7)$$

$$\text{Syrjätaivutus, mänty} \quad \text{MOE} = 11,763 * \rho_{12} - 1195,509 \quad r^2: 0,590 \quad (8)$$

$$\text{Syrjätaivutus, koivu} \quad \text{MOE} = 3,938 * \rho_{12} + 4882,040 \quad r^2: 0,014 \quad (9)$$

Koska liiman massa ja lastumassa olivat laboratoriokekeissa vakiot, 0,5 mm:n lastuista valmistetuissa levyaihoissa liimaa käytettiin vähemmän lastujen kokonaistilavuuteen ja lastupinta-alaan nähden kuin 1,0 mm:n lastuista valmistetuissa levyaihoissa. Lisäksi ohuiden lastujen sirottelu-aika oli suunniteltua pidempi. Näiden seikkojen oletettiin vaikuttavan tutkittuihin taivutusominaisuuksiin heikentävästi. Kuitenkin ohuemmista lastuista valmistettujen koekappaleiden lujuudet ja syrjätaivutuksessa myös kimmoisuudet olivat paksummista lastuista valmistettuja merkitsevästi paremmat. Pienen aineiston vuoksi tulosta voidaan pitää vain suuntaa antavana.

Postin (1958) tutkimuksessa lastun ohentaminen sekä toisaalta liimamäärän lisääminen nostivat lastulevyn murtolujuutta. Myös Klauditz (1957) havaitsi lastulevyn taivutuslujuuden paranevan ohentamalla lastua. Valmistettaessa tuotteita tehdasmittakaavassa lastupaksuutta rajoittaa lastujen katkeilu-alttius, joka korreloi negatiivisesti lastun paksuuden ja positiivisesti sen pituuden kanssa (Meyers 2001).

OSL- tai LSL-palkin taivutuskimmokerroin ja -murtolujuus eivät ole oleellisesti riippuvaisia lastujen pituudesta ja leveydestä (Meyers 2001). Tulos perustuu kolmella eri lastupituudella (10 cm, 20 cm ja 30 cm) ja -leveydellä (1,25 cm, 1,9 cm ja 2,5 cm) valmistettujen palkkien veto- ja puristuslujuuksien vertailuun. Tärkeimmiksi palkin ominaisuuksiin vaikuttaviksi tekijöiksi osoittautuivat tuotteen tiheys ja lastujen suuntaus. Lastun pituudella on suurin merkitys suuntaamisen varmistamisessa. Shupe ym. (2001) määrittivät keskimäärin 7,6 cm pitkistä lastuista valmistetun OSL-palkin taivutuskimmokertoimeksi 12400 MPa.

Taulukossa 12 on esitetty raaka-ainelajeittain lastujen pituuden ja paksuuden suhde, *slenderness ratio*, joka suomennetaan tässä *hoikkuudeksi*. Tuotteen murtolujuuden on havaittu kasvavan hoikkuuden kasvaessa (Post 1958, Suchsland 1968). Lujuusarvot vakiintuvat asympotoottisesti tietyllä tasolla suurilla hoikkuusarvoilla (Thole 2002). Wangin ja Lamin (1999) tutkimuksissa optimaaliseksi hoikkuudeksi 5-10 cm pitkillä lastuilla saatiin 133, mikä oli myös käsillä olevassa tutkimuksessa parhaat kimmoisuus- ja lujuusarvot omanneen mäntytukin pintaosan puuaineesta valmistetun koekappaleen lastujen keskimääräinen hoikkuus. Koska lastudimensiot mitattiin tässä tutkimuksessa otoksesta 30 kpl/raaka-aine-erä koekappaleittaisten mittausten sijaan, hoikkuuden ja taivutusominaisuuksien välistä riippuvuutta ei voitu määrittää tarkasti.

Taulukko 12. Lastujen pituuden ja paksuuden suhde eli hoikkuus (*slenderness ratio*) raaka-ainelajeittain.

Raaka-ainelaji	Lastun hoikkuus \bar{X} (s)
1. Harvennismäntypölkkyt	
Tavoitelastupaksuus 0,5 mm	154 (63)
Tavoitelastupaksuus 1,0 mm	103 (43)
2. Järeän männyn latvapölkkyt	114 (42)
3. Männyn tyvitukin pintaosa	133 (52)
4. Harvennuskoivupölkkyt	113 (39)
5. Järeän koivun latvapölkkyt	96 (51)

Tulosten vertailu muihin puutuotteisiin

Taulukossa 8 (s. 28) esitettiin aiemmissa tutkimuksissa suomalaisen männyn, koivun ja haavan virheettömistä koekappaleista saatuja tuloksia kimmoisuudesta ja lujuudesta. Samassa yhteydessä todettiin kyseisten puulajien soveltuvan näiden ominaisuuksiensa puolesta niin OSB:n, LSL:n, OSL:n kuin PSL:nkin valmistukseen. Seuraavassa verrataan tässä tutkimuksessa valmistettujen, lähinnä OSL-palkkeja vastaavien koekappaleiden taivutusominaisuuksia muihin, mahdollisessa kilpailuasemassa oleviin puutuotteisiin.

Taulukossa 13 on esitetty kirjallisuuteen perustuvia taivutuskimmoisuus- ja -murtolujuusarvoja sahatulle massiivipuulle, LVL:lle sekä kuiviin käyttökohteisiin tarkoitettulle II-luokan OSB-levylle. OSB-levyn käyttökohteet poikkeavat sahatavaran ja LVL:n käyttökohteista, mutta OSB on otettu mukaan vertailuun OSL:n kanssa samanlaisten lastudimensioiden vuoksi. Vertailun perusteella tämän tutkimuksen koekappaleita vastaava tuote soveltuisi kimmoisuus- ja lujuusominaisuuksiensa puolesta käytettäväksi sahatavaran tai LVL:n korvaajana. Esimerkiksi lapetaivutuksessa 40 MPa:n lujuus täyttyi keskiarvoja tarkasteltaessa kaikilla tutkituilla raaka-ainelajeilla. On kuitenkin syytä pitää mielessä suuret hajonnat, joita tässä tutkimuksessa esiintyi koekappaleiden tiheydessä, kimmoisuudessa ja lujuudessa. Koekappaleiden paksuus-, leveys- ja pituusturpoamissa sen sijaan ei havaittu suurta hajontaa.

Taulukko 13. Tämän tutkimuksen koekappaleiden sekä koekappaleita vastaavan OSL-palkin (Shupen ym. 2001) taivutuskimmokerroin- ja -lujuudet verrattuna LSL:n ja PSL:n ominaisuuksiin (Holzbauhandbuch... 1997, ICBO 2000, Barnes 2002b, 2002d). Sahatavara: mitatut taivutuskimmokerroin- ja -lujuusarvot (Boren 2001). LVL ja OSB: EN-standardien mukaiset raja-arvot (EN Working draft 2001, National Research...2001).

Tuote	Kimmokerroin, MPa	Murtolujuus, MPa
OSL		
Tämän tutkimuksen koekappaleet	5800-10100	32-59
Shupe ym. (2001), lastun suuntaus tuotteen pituussuuntaan nähden:		
0°	12400	104
30°	5100	37
60°	1600	13
LSL	9500-14500	40-70 ¹⁾
PSL	12500-14500	50-80 ¹⁾
Sahatavara		
Mänty, nelisahattu lauta (kosteussuhde 20 %)	12000-13000	45-55
Kuusi, nelisahattu lauta (kosteussuhde 20 %)	12600-13100	46-54
LVL	10000-14500	40-50
OSB, II-luokka, paksuus 18-25 mm (kosteussuhde 2-12 %)	1400-3500	9-18
Lastulevyt	2900-4300	12-17

¹⁾ Likimääräisiä.

Puuraaka-aineen kulutus OSL-palkin valmistuksessa

Pyöreän puuraaka-aineen kulutusta OSL-palkin valmistuksessa tarkasteltiin lape-taivutuslujuusvaatimuksen perusteella. Yhtälöillä 2 ja 3 (sivu 33) määritettiin aluksi mänty- ja koivupienpuuraaka-aineesta valmistetun levyaihion ilmakeiivitiheys, kun palkin lapetaivutuslujuusvaatimuksena pidetään 40 MPa. Puuaineen kuivatuoretiheytenä käytettiin männyllä 400 kg/m³ ja koivulla 470 kg/m³. Tämän jälkeen laskettiin erikseen männylle ja koivulle raaka-aineen kulutus tuotettavaa palkkikuutiometriä kohden ottaen huomioon arvioitu 40 prosentin raaka-ainehävikki. Halutun 40 MPa:n

lapetaivutuslujuuden saavuttamiseksi mäntyraaka-aineesta pitää puristaa tiheydeltään 615 kg/m^3 ja koivuraaka-aineesta 720 kg/m^3 levyä. Näillä lapetaivutuslujuuden määrämällä tiheysarvoilla palkeille voidaan laskea taulukon 14 mukaiset lujuus- ja kimmisuusominaisuudet. Edellä esitettyjen lähtötietojen perusteella laskettiin OSL-tehtaan teoreettinen puuraaka-aineen kulutus (m^3/a) kolmella palkkien tuotantotavoitteella, 10 000, 50 000 ja 100 000 m^3/a . Tuottaessa palkkia 40 MPa:n lapetaivutuslujuusvaatimuksella, mänty- ja koivuraaka-aineen kulutuksessa ei ollut merkittäviä eroja. Sen sijaan tuottaessa palkkia vakiotiheyteen 650 kg/m^3 , jolloin männystä valmistettu palkki on noin 15 MPa koivusta valmistettua lujempaa, kuluu mäntyraaka-ainetta noin 17 % enemmän kuin koivuraaka-ainetta (taulukko 15).

Taulukko 14. Mänty- ja koivupienpuusta 40 MPa:n lapetaivutuslujuusvaatimuksella valmistetun palkin ilmakeiveys (ρ_{12}) (laskettu kääntäen yhtälöillä 2 ja 3), kyseisen tiheyden omaavan palkin lujuus syrjäitävyydessä (yhtälöillä 4 ja 5) sekä kimmokerroin lape- ja syrjäitävyydessä (yhtälöillä 6, 7, 8 ja 9).

Raaka-ainepuulaji	$\rho_{12}, \text{kg/m}^3$	MOR, MPa		MOE, MPa	
		Lapetaivutus	Syrjäitävyys	Lapetaivutus	Syrjäitävyys
Mänty	615	40	31	6370	6040
Koivu	720	40	35	6920	7720

Taulukko 15. Mänty- ja koivupienpuuraaka-aineen laskennallinen tarve valmistettaessa OSL-palkkia 40 MPa:n lapetaivutuslujuuteen 10 000, 50 000 ja 100 000 m^3/a (yläosa) ja raaka-aineen kulutusvertailu valmistettaessa palkkia vakiotiheyteen 650 kg/m^3 (alaosa). Valmiiseen palkkiin oletetaan saatavan 60 % pyöreän puun kuorellisesta tilavuudesta.

Raaka-aine ja tavoitetiheys	Palkin lapetaivutuslujuus MPa	Palkin tuotantomäärä, m^3/a		
		10 000	50 000	100 000
		Raaka-aineen kulutus, m^3/a		
Mänty, 615 kg/m^3	40	25 625	128 125	256 250
Koivu, 720 kg/m^3	40	25 532	127 660	255 319
Mänty, 650 kg/m^3	44,7	27 083	135 417	270 833
Koivu, 650 kg/m^3	29,5	23 050	115 248	230 496

3.3 Alueittaiset raaka-ainekertymät

Mäntyvaltaisten metsiköiden nykyiset hakkuutarpeet ja lähimmän viiden vuoden hakkuutarpeet ovat nuorissa kasvatusmetsissä tarkasteltujen metsäkeskusten alueilla yhteensä lähes 320 000 ha, varttuneissa kasvatusmetsissä yli 215 000 ha ja päätehakkuumetsissä lähes 340 000 ha (taulukko 16). Koivuvaltaisissa metsissä nykyiset hakkuutarpeet ja lähimmän viiden vuoden hakkuutarpeet ovat nuorissa kasvatusmetsissä yhteensä yli 115 000 ha, varttuneissa kasvatusmetsissä yli 45 000 ha ja hakkuukypsissä metsissä lähes 30 000 ha (taulukko 17). Luvut sisältävät puuntuotannossa olevat kivennäis- ja turvemaat, jotka luokitellaan metsämaaksi eli joilla keskimääräinen vuotuinen hehtaarikohtainen kasvu ylittää yhden kuutiometrin. Poikkeuksena on Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalue, jossa luvut tarkoittavat koko metsämaan pinta-alaa sisältäen siis myös puuntuotannon ulkopuolella olevat suojealueet. Koska tar-

kastelussa olivat mukana vain ne metsiköt, joissa mänty tai koivu on pääpuulajina, luvuista ei voida arvioida kaikkiaan korjattavaksi tulossa olevan mänty- ja koivupienpuutavaran määriä.

Taulukko 16. Puuntuotannossa olevien metsämaiden mäntyvaltaisten metsiköiden hakkuutarpeet tutkituilla metsäkeskusalueilla kehitysluokittain. Jo myöhässä olevat hakkuut (1) ja lähimmän 5-vuotiskauden aikana hakkuukypsiksi tulevat metsiköt (2) Lounais-Suomen, Häme-Uusimaan (lisättyä Rannikon metsäkeskuksen etelä-rannikolla), Kaakkois-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan (lisättyä Rannikon metsä-keskuksen Pohjanmaalla) alueilla. Laskettu kirjallisuudesta Tomppo ym. (1998, 1999, 2000) ja Korhonen ym. (2000a, 2000b).

	Nuori kasvatusmetsikkö		Kehitysluokka		Uudistuskypsä metsikkö	
	1	2	Varttunut kasvatusmetsikkö		1	2
			Hakkuun kiireellisyys			
			1	2		
Metsäkeskusalue			Hakkuutarve, 1000 ha			
1. Lounais-Suomi	26,5	53,0	20,0	38,4	14,8	72,7
2. Häme-Uusimaa	10,2	23,4	6,9	19,3	6,7	40,2
Etelärannikko	7,9	11,6	3,7	10,5	6,6	22,8
3. Kaakkois-Suomi	17,0	47,7	3,9	24,6	6,0	56,8
4. Etelä-Pohjanmaa*	23,4	66,2	18,5	50,9	7,3	68,1
Pohjanmaa	3,8	19,1	4,7	11,2	3,4	19,5
<i>Yhteensä</i>	<i>88,8</i>	<i>221,0</i>	<i>57,7</i>	<i>154,9</i>	<i>44,8</i>	<i>280,1</i>

* Sisältää koko metsämaan ml. suojelualueet.

Taulukko 17. Puuntuotannossa olevien metsämaiden koivuvaltaisten metsiköiden hakkuutarpeet tutkituilla metsäkeskusalueilla kehitysluokittain. Jo myöhässä olevat hakkuut (1) ja lähimmän 5-vuotiskauden aikana hakkuukypsiksi tulevat metsiköt (2) Lounais-Suomen, Häme-Uusimaan (lisättyä Rannikon metsäkeskuksen etelä-rannikolla), Kaakkois-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan (lisättyä Rannikon metsä-keskuksen Pohjanmaalla) alueilla. Laskettu kirjallisuudesta Tomppo ym. (1998, 1999, 2000) ja Korhonen ym. (2000a, 2000b).

	Nuori kasvatusmetsikkö		Kehitysluokka		Uudistuskypsä metsikkö	
	1	2	Varttunut kasvatusmetsikkö		1	2
			Hakkuun kiireellisyys			
			1	2		
Metsäkeskusalue			Hakkuutarve, 1000 ha			
1. Lounais-Suomi	14,2	7,0	5,9	2,5	0,3	0,8
2. Häme-Uusimaa	14,6	8,5	6,4	47,3	2,5	6,2
Etelärannikko	5,6	2,5	3,3	1,4	1,4	3,3
3. Kaakkois-Suomi	6,1	6,1	1,1	5,0	2,7	4,7
4. Etelä-Pohjanmaa*	15,7	17,9	3,5	6,0	0,9	3,5
Pohjanmaa	8,7	7,5	1,4	3,7	1,4	1,1
<i>Yhteensä</i>	<i>64,9</i>	<i>49,5</i>	<i>21,6</i>	<i>65,9</i>	<i>9,2</i>	<i>19,6</i>

* Sisältää koko metsämaan ml. suojelualueet.

Taulukossa 18 on esitetty kirjallisuudesta kootut mänty- ja koivukuitupuun alueittaiset suurimman kestävän hakkuumäärän arviot puuntuotannossa olevilla metsä- ja kitumaille lähimmällä kymmenvuotiskaudella sekä vuonna 2001 toteutuneet kuitupuuhakkuut. Metsäkeskusalueesta riippuen hakkuiden toteutuma oli 1/3 – 2/3 suurimman kestävän hakkuumäärän arviosta. Poikkeuksena oli Etelä-Pohjanmaan alue,

jossa hakkuut olivat vuonna 2001 lähes suurimman kestävän hakkuumäärän arvion mukaiset.

Edellisten kirjallisuusperusteisten tarkastelujen lisäksi pieniläpimittaiselle eli läpimittaluokkien 6-10 cm ja 11-15 cm männylle ja koivulle laskettiin alueelliset hakkuukertymät Metsäntutkimuslaitoksen MELA-ohjelmistolla jaksotettuna lähimmälle 30-vuotisjaksolle (taulukko 19). Tässä tarkastelussa ei ollut mukana Rannikon metsäkeskuksen etelärannikon ja Pohjanmaan alueita. Pinta-aloittaisten hakkuutarvetarkasteluiden perusteella arvioituna Rannikon metsäkeskuksen huomioon ottaminen olisi lisännyt Häme-Uusimaan (etelärannikko) ja Etelä-Pohjanmaan (Pohjanmaa) metsäkeskuksiin yhdistettyinä kertymiä vähintään kolmanneksella.

Kertymiä tarkastellaan rungon rinnankorkeusläpimittaluokittain hakkuutavoittain jaottelematta. Voidaan kuitenkin olettaa, että rinnankorkeusläpimittaluokkien 6-10 cm ja 11-15 cm hakkuukertymät koostuivat pääosin ensiharvennusvaiheen ja myöhempien harvennusten metsiköistä. Koska laskelmissa käytetty minimipituus kuitupuulle oli kaksi metriä mutta se on käytännössä tavallisesti 2,7 metriä, voidaan kertymäennusteita pitää lievinä yliarvioina. Yliarvion suuruutta ei voitu määrittää tässä tutkimuksessa käytettävissä olleiden tietojen perusteella.

Taulukko 18. Mänty- ja koivukuitupuun vuotuinen hakkuukertymä lähimmällä kymmenvuotiskaudella puuntuotannon metsä- ja kitumaalla tarkasteltavilla metsäkeskusalueilla suurimman kestävän hakkuumäärän arvion mukaisesti sekä vuonna 2001 toteutunut käyttö. Kertymät kirjallisuudesta Hirvelä ym. (1998), Hirvelä (1999, 2000), Nuutinen & Hirvelä (2000a, 2000b), toteutuneet hakkuut Peltolan (2002) mukaan.

Metsäkeskusalue	Hakkuukertymä		Toteutuneet hakkuut v. 2001	
	Mäntykuitupuu	Lehtikuitupuu	Mäntykuitupuu	Lehtikuitupuu
	Milj. m ³ /a			
1. Lounais-Suomi	1,44	0,65	0,72	0,31
2. Häme-Uusimaa	0,79	0,97	0,44	0,39
Etelärannikko	0,63	0,35	0,24	0,12
3. Kaakkois-Suomi	0,84	0,59	0,70	0,31
4. Etelä-Pohjanmaa	1,06	0,55	1,04	0,46
Pohjanmaa	0,48	0,36	0,34	0,22
<i>Yhteensä</i>	<i>5,24</i>	<i>3,47</i>	<i>3,48</i>	<i>1,81</i>

Taulukko 19. Männyn ja koivun alueellisten metsäohjelmien mukaiset vuotuiset kuitupuun hakkuukertymät rinnankorkeusläpimittaluokissa 6-10 cm ja 11-15 cm tarkasteltavilla metsäkeskusalueilla kymmenvuotiskausittain (1 = 1998-2027, 2 = 1999-2028, 3 = 1997-2026, 4 = 1997-2026). Huomaa ero taulukoihin 9, 10 ja 11 verrattuna: Rannikon metsäkeskuksen alueet eivät ole mukana tässä tarkastelussa.

Rinnankorkeus- läpimittaluokka, cm	1. Lounais-Suomi			2. Häme-Uusimaa			3. Kaakkois-Suomi			4. Etelä-Pohjanmaa		
	Hakkuukertymät 10-vuotiskausittain, 1 000 m ³ /a											
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Mänty											
6-10	41	76	73	54	59	19	56	51	15	34	38	30
11-15	167	187	246	123	155	179	159	145	90	163	182	163
<i>Yhteensä</i>	<i>208</i>	<i>263</i>	<i>319</i>	<i>177</i>	<i>214</i>	<i>198</i>	<i>215</i>	<i>196</i>	<i>105</i>	<i>197</i>	<i>220</i>	<i>193</i>
	Koivu											
6-10	30	44	48	42	63	20	30	40	20	33	33	50
11-15	120	116	142	90	109	121	74	89	112	121	143	130
<i>Yhteensä</i>	<i>150</i>	<i>160</i>	<i>190</i>	<i>132</i>	<i>172</i>	<i>141</i>	<i>104</i>	<i>129</i>	<i>132</i>	<i>154</i>	<i>176</i>	<i>180</i>
	Mänty + koivu											
6-10	71	120	121	96	122	39	86	91	35	67	71	80
11-15	287	303	388	213	264	300	233	234	202	284	325	293
<i>Yhteensä</i>	<i>358</i>	<i>423</i>	<i>509</i>	<i>309</i>	<i>386</i>	<i>339</i>	<i>319</i>	<i>325</i>	<i>237</i>	<i>351</i>	<i>396</i>	<i>373</i>

3.4 Raaka-aineen tehdashinnat ja rakennepuutuotannon talous

Taulukossa 20 on esitetty pienpuuraaka-aineen laskennalliset tehdashinnat tutkituilla metsäkeskusalueilla teoreettisiin käyttöpisteisiin kuljetettuna. Keskimääräiset kuljetusmatkat olivat: Kaakkois-Suomi 103 km, Häme-Uusimaa 96 km, Lounais-Suomi 91 km ja Etelä-Pohjanmaa 114 km. Metsätehon tilastossa (Örn 2002) vuonna 2001 keskimääräinen puun kaukokuljetusmatka autolla tehtaalle oli 103 km, mikä vastaa nyt laskettuja kuljetusetäisyyksiä. Kuvassa 6 tarkastellaan tehdashintojen vaihtelua korjuukustannusten ja kantohintojen suhteen metsäkeskuksittain.

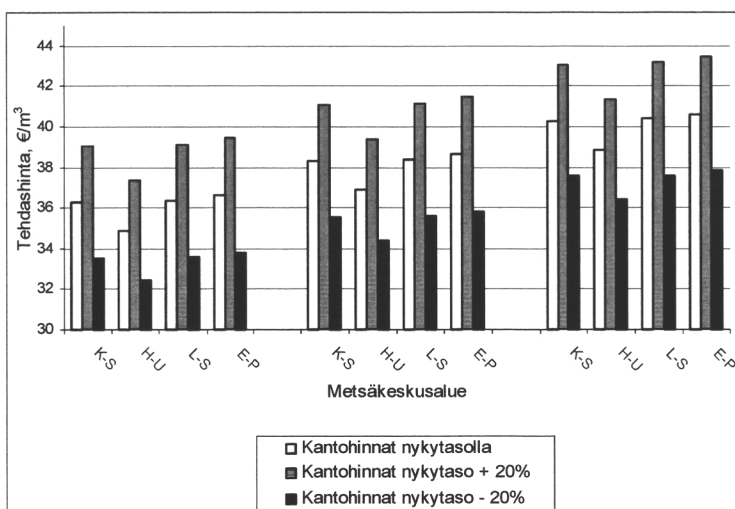
Salo & Uusitalo (2001) havaitsivat ensiharvennuspuun tehdashinnan asettuvan esimerkkileimikoissa kivennäismailla lähelle päätehakkuuleimikoilta korjattujen tukkien kantohintatasoa. Vaikka ensiharvennuspuun korjuukustannukset kuutiometriä kohden ovatkin päätehakkuuleimikoiden puuhun verrattuna jopa kolminkertaiset, ensiharvennuspuu on silti tehdashinnaltaan 10 – 15 €/m³ edullisempaa järeään tukki-puuhun verrattuna.

Salon & Uusitalon (2001) mukaan ensiharvennuksista mahdollisesti saatava pikukutkipuu vaikuttaa korkeamman kantohintansa kautta korottavasti puutavaran keskimääräiseen tehdashintaan. Nyt tehdyssä laskelmassa oletettiin, että leimikoilta ei korjata tukkipuuta, mikä tulee ottaa huomioon tehdashintoja vertailtaessa. Mäkisen (1997) tutkimuksessa puunhankintayritysten keskimääräinen tehdashinta kaikelle kuitupuulle oli 34,8 €/m³, joka pitää siis sisällään myös mänty- ja koivukuitupuuta kalliimman kuusikuitupuun.

Taulukko 20. Pieniläpimittaisen puun laskennalliset tehdashinnat teoreettisissa käyttöpisteissä tutkituilla metsäkeskusalueilla korjuukustannustasolla 13 €/m³. Kantohintoina käytetty vuoden 2002 keskihintaa ko. metsäkeskuksen alueella. Rannikon metsäkeskuksen alueen hakkuukertymiä ei ole otettu huomioon.

Metsäkeskus (käyttöpiste)	Tehdashinnan vaihteluväli, €/m ³		
	Mänty	Koivu	Mänty + koivu
1. Lounais-Suomi (Rauma)	39,1	37,4	38,4
2. Häme-Uusimaa (Helsinki)	36,5	37,4	36,9
3. Kaakkois-Suomi (Kotka)	38,4	38,2	38,3
4. Etelä-Pohjanmaa (Vaasa)	38,9	38,3	38,6

Taulukossa 21 on esitetty eräiden rakennepuutuotteiden markkinahintoja. Hintoja tarkasteltaessa on syytä huomata niiden voimakas vaihtelu. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa OSB-levyn hinta on kuluneen viiden vuoden aikajänteellä tarkasteltuna ollut korkeimmillaan lähes kolminkertainen nykytasoon nähden. LSL:n hintaan pitää suhtautua varauksella, koska eri lähteistä saatujen tietojen välillä oli suuri ero. LSL:n samoin kuin PSL:n valmistusmäärät on tarkoituksellisesti pidetty alhaisena ja hinta on näin pysynyt korkeana.



Kuva 6. Mänty- ja koivuraaka-aineen keskiarvoina lasketut tehdashinnat Kaakkois-Suomen (K-S, käyttöpaikkakunta Kotka), Häme-Uusimaan (H-U, Helsinki), Lounais-Suomen (L-S, Rauma) ja Etelä-Pohjanmaan (E-P, Vaasa) metsäkeskusalueilla korjuukustannustasoilla 11 €/m³ (vasen pylväikkö), 13 €/m³ (kesk. pylväikkö) ja 15 €/m³ (oik. pylväikkö) sekä kolmella eri kantohintatasolla. Rannikon metsäkeskuksen alueen hakkuukertymiä ei ole otettu huomioon.

Taulukko 21. Rakennepuutuotteiden markkinahintoja Euroopassa.

Tuote	Keskihinta 1996-2002, €/m ³
OSB 7/16 ^{a), c)}	200±60
LSL ^{b), d), e)}	500-800
PSL ^{d), e)}	500-800

^{a)} Randoms Lengths Yardstick & Newsletter, tiedot USA:n ja Kanadan markkinoilla.

^{b)} Hoglund, http://www.nwmissouri.edu/~pimmel/usitt/source_guide/issue10.htm.

^{c)} UNECE/FAO Forest Products Annual Market Review, 2001-2002.

^{d)} FORINTEK Corp., arvio, 2002.

^{e)} LSL ja PSL tuodaan Pohjois-Amerikasta, vuotuinen käyttö Euroopassa vain muutamia tuhansia kuutiometrejä.

Rakennepuutuotteiden valmistus-, logistiikka- ym. kustannusten kattamiseen käytettävissä olevaa teoreettista enimmäiskustannusta tutkittiin tuotteiden markkinahintojen ja raaka-aineen tehdashintojen välisenä erotuksena. Tuotantoketjun kustannusrakenne on esitetty taulukossa 22. Laskelmassa oletetaan, että kuorellisesta puutavarasta päätyy lopputuotteeksi keskimäärin 60 % ja puristuksen jälkeen tuotekuutiometriin tarvitaan 2,5 m³ raaka-ainetta. Hävikit koostuvat kuorinnan aikaisesta kuoren ja puu-aineen hävikistä, ei-kelvollisten lastujen hävikistä tuoreena tai kuivattuna (seulonta), kuivauskuutistumasta, kuivan raaka-aineen prosessointihävikistä (pöly yms.) sekä tuotteen mitallistamishävikistä. Ao. tarkastelu voitiin tehdä kohtuullisen luotettavasti vain OSB-levylle ja LSL-palkille, koska vain näistä tuotteista voitiin arvioida sekä markkinahinta että raaka-ainekustannus. OSL-palkin markkinahintaa ei tunneta, mutta suuntaa antavana arviona sille käytettiin arvoa 350 €/m³. Raaka-ainekustannuksena käytettiin kaikilla tuotteilla pienpuulle laskettua keskimääräistä tehdashintaa 35 €/m³.

Taulukko 22. OSB:n, LSL:n ja OSL:n tuotantokustannusten kannattava maksimitaso (T) ja raaka-ainekustannusten suhteellinen osuus (S) tuotteen markkinahinnasta (M, fob) käytettäessä mänty- ja koivupienpuuta tehdashintatasolla (R) 35 €/m³.

Tuote	Raaka-aineen tehdashinta €/m ³ R	Tuotteen markkinahinta (fob) €/m ³ M	Tuotantokustannusmaksimi €/m ³ T = M - 2,5R	Raaka-ainekustannuksen osuus tuotteen markkinahinnasta % S = (2,5R / M) * 100
OSB	35	200	112,5	43,8
LSL	35	500	412,5	17,5
OSL	35	350	262,5	25,0

3.5 Standardit ja tuotesuojaukset

Standardit

Liitteeseen 1 on koottu rakenne- ja muita puutuotteita koskevia termejä määriteltiin. Rakennepuutuotteita koskevien standardien lukumäärä vaihtelee tuotteittain. Esimerkiksi OSB-levyä, joka on tärkein pienpuuraaka-aineesta valmistettava rakennepuutuote, koskevia standardeja on runsaasti, kun taas tätä harvinaisempia tuotteita, esim. Scrimberia koskevia standardeja on vähän. Jos vain yksi yritys valmistaa tuotetta, voidaan sen käyttämää valmistusmenetelmää pitää tuote- tai tuottajakohtaisena ”standardina.” Monet rakennepuutuotteet ovat pioneerivaiheessa ja standardeja kehitetään jatkuvasti, mm. amerikkalaisessa ASTM:ssa (American Society for Testing

and Materials). Standardien lisäksi rakennepuutuotteiden valmistajat ovat yleensä hankkineet valmistamilleen tuotteille kansallisten määräysten mukaiset hyväksynnät, esimerkiksi Suomessa ympäristöministeriön tyyppihyväksynnät ja USA:ssa *Building Codes*.

Karkeasti ottaen voidaan erotella tuotteen valmistusta koskevat sekä valmistus- ja tuotestandardeilla on runsaasti yhtäläisyyksiä ja tuotteiden valmistusprosessit vaikuttavat tuotteiden lopullisiin ominaisuuksiin, valmistus- ja tuotestandardeja ei jaotella tässä tutkimuksessa omiksi ryhmikseen.

Standardit määrittävät maksimiarvot kuorman vaikutuksesta syntyvälle taipumiselle, paksuusturpoamiselle ja pituuslaajenemiselle sekä minimiarvot lujuudelle ja jäykkyydelle. Mekaanisten ja muiden ominaisuuksien testausta on kehitetty useissa amerikkalaisissa tutkimusorganisaatioissa. Esimerkiksi U.S. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, on kehittänyt kuormituksen keston vaikutusta taipumaan kuvaavan ns. Madisonin käyrän, joka on sittemmin hyväksytty osaksi amerikkalaista ohjeistoa *National Design Specification for Wood Construction (NDS)* (Loferski 1997).

Ns. toimivuusstandardit, *Performance standards*, asettavat vaatimukset tuotteen ominaisuuksille loppukäytössä, kun taas perinteiset standardit asettavat vaatimuksia tuotantoprosessille. Toimivuusstandardien tavoite on tarjota ohjeiden joustavuuden myötä mahdollisuuksia uusiin tuotannollisiin innovaatioihin, esim. perinteisistä standardeista poikkeavien puulajien käyttöön. Puupohjaisten levyjen toimivuusstandardit soveltuvatkin kaikille levytyypeille valmistusmenetelmästä riippumatta. APA –The Engineered Wood Association on kehittänyt toimivuusstandardeja, jotka on jaettu kolmeen loppukäyttöryhmään: lattioiden, seinien ja kattojen verhoukseen (*APA Rated Sheathing*); yksikerroslattiapäällysteet (*APA Rated Stud-I-Floor*); ulkovuoraus (*APA Rated Siding*) (Oriented... 2000). Taulukossa 23 on esitetty rakennepuutuotteita koskevia standardeja.

Suojaamattomien puurakenteiden palonkesto-ominaisuuksien testausta koskeva standardi on *ASTM E119 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials* (Slifka 1997). Useimmat rakennepuutuotteet on joko tarkoitettu sisäkäyttöön tai ne on kosteussuojattava rakenteellisesti tai käsiteltävä pinnoitteilla. Ulkoilmassa ja voimakkaalle kosteudelle alttiina olevissa käyttökohteissa tarvitaan erikoiskäsiteltyjä rakenteita. Näissä rakenteissa käytettävien aineiden ominaisuuksia on määritelty standardissa *ASTM D2559 Standard Specification for Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions* (Loferski 1997). Useimpia rakennepuutuotteita voi myös kylästä. Rakennepuutuotteiden kyllästyksessä käytetään ilmeisesti samoja menetelmiä, kemikaaleja ja standardeja kuin massiivipuunkin kyllästyksessä.

Taulukko 23. Rakennepuutuotteita koskevia standardeja.

Tuote	Laatijaorganisaatio	Standardi
OSB	CEN (Comité Européen de Normalisation)	- EN 300:1997 Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications
	U.S. Department of Commerce	- PS 2-92 Performance Standard for Wood-Based Structural-Use Panels
	APA – The Engineered Wood Association	- APA PRP-108 performance standard
	Canadian Standards Association	- CSA 0325 Construction Sheathing - CSA 0437 OSB and Waferboard
	Japanese Standards Association	- JAS standard for structural panels
LSL	ASTM International.	- ASTM D5456 Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products
	Trus Joist, Weyerhaeuser Corp.	- Timberstrand® LSL Manufacturing Standard
PSL	ASTM International	- ASTM D5456 Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products
	Trus Joist, Weyerhaeuser Corp.	- Parallam® PSL Manufacturing Standard

Tuotesuojaukset

Erilaisia tuotesuojauksen muotoja ovat tavaramerkit, mallisuojauskset, patentit ja hyödyllisyysmallit (Patentti- ja rekisterihallitus 2002). Pääsääntöisesti suojaukset ovat kansallisia ja ne on hyväksyttävä erikseen jokaisessa maassa.

Tavaramerkki on tunnus, jonka avulla voidaan erottaa yhden valmistajan markkinoille tarjoamat tuotteet tai palvelut toisten valmistajien tuotteista tai palveluista. Tavaramerkki sisältää yksinoikeuden: ainoastaan merkin haltija saa tuotteen tai palvelun tunnuksena käyttää merkkiä. Esimerkkinä rakennepuutuotteiden tavaramerkeistä voidaan mainita TimberStrand® LSL, joka Euroopassa markkinoidaan tavaramerkillä Intrallam® LSL.

Mallioikeus on suojamuoto, jonka avulla voidaan saada yksinoikeus mallille ja siten torjua suojattujen tuotteiden jäljentäminen. Suojan kohteena on yksinomaan tuotteen ulkomuoto.

Patentilla suojataan keksintö, joka on uusi ja eroaa olennaisesti ennestään tunnetuista. Keksintö voi olla uusi tuote, laite, menetelmä tai jonkin tällaisen käyttö. Patentilla tarkoitetaan keksijälle hakemuksesta määrääjäksi myönnettyä yksinoikeutta ammattimaisesti valmistaa ja pitää kaupan keksimäänsä tuotetta tai soveltaa keksimäänsä menetelmää.

Hyödyllisyysmalli on tarkoitettu etenkin sellaiseen keksintöön, joka ei täytä patentoitavalta keksinnöltä vaadittavaa keksinnöllisyysvaatimusta. Hyödyllisyysmallilla tarkoitetaan hakijalle hakemuksesta määrääjäksi rekisteröityä yksinoikeutta hyväksikäyttää ammattimaisesti keksintöä. (Patentti- ja rekisterihallitus 2002).

Tässä yhteydessä keskitytään rakennepuutuotteisiin ja niiden valmistukseen liittyvien patenttien tarkasteluun. Patentit voidaan karkeasti ottaen ryhmitellä seuraavasti:

- erilaisten tuotteiden (mm. OSB, Scrimber, puupalkit) valmistusmenetelmiä yleisesti kuvaavat patentit,
- lastujen valmistusmenetelmiä kuvaavat patentit,
- lastujen lajittelua ja suuntaamista koskevat patentit,
- tuotteen puristamista ja kuivaamista koskevat patentit.

Liitteessä 2 on esitetty rakennepuutuotteita koskevia patenteja sisältökuvauksineen. Useissa patenteissa on esitetty varsin niukasti konkreettisia valmistusmenetelmiä ja tuotteita kuvaavia lukuja ja mittoja, mikä lienee usein tarkoituksellista. Eniten on mainintoja lastukoosta, joskin niistäkin on esitetty suosituksia varsin lavein vaihteluvälein. Valmistusmenetelmissä käytettäviä lämpötiloja ja puristuspaineita on kuvattu huonosti. Muutamissa patenteissa olevat havainnollistamiskuvat helpottavat kokonais käsityksen saamista keksinnöstä tai menetelmästä. Toisista patenteista kuvat puuttuvat kokonaan.

Tarkastelluissa patenteissa kuvatut lastun valmistusmenetelmät (sektoripilkonta, viilutus + pilkonta) soveltunevat paremmin järeälle raakapuulle kuin pienpuulle. Patenteissa ei mainita läpimittarajoja raakapuulle, mutta viiluttamiseen perustuva lastunvalmistus pieniläpimittaisesta puusta ei ole teknillisesti mahdollista. Pienillä pölkkyjen läpimitoilla, esimerkiksi 5-7 cm, myös sektoripilkonta on todennäköisesti vaikeaa. Lastuamiseen liittyviä patenteja on olemassa sekä lastuamismenetelmästä että lastun ominaisuuksista.

Tarkastelluista patenteista lastujen lajittelua käsitellään ainoastaan yhdessä. Tämän mukaan lyhyet lastut erotetaan pitkistä pudottamalla lyhyet lastut gravimetrisesti lastuvirrasta kahden kuljettimen välistä pitkien lastujen jatkaessa toiselle kuljettimelle. Tuotteen valmistukseen sopivan lastukoon ohella oleellista on lastujen suuntaaminen kappaleen pituusakselin suuntaisesti, mitä lähes kaikissa patenteissa korostetaan. Tarkastellut lastujen suuntaamista koskevat patentit käsittelevät suuntaamista lähinnä OSB-levyn valmistuksessa. Silti, kuten aiemmin mainittiin, lastujen suuntauksen onnistuminen on keskeinen kriteeri myös palkkituotteiden mekaanisten ominaisuuksien kannalta.

Nimellä Scrimber tunnetun rakennepuutuotteen patentit muodostavat oman kokonaisuutensa, joskaan nimi Scrimber ei esiinny useimmissa patenteissa. Tässä valmistusmenetelmässä kokonaiset, kuoritut rungot ajetaan puristavien telojen välistä, jolloin rungon rakenne hajoaa säleiksi. Nämä säleet voidaan tarvittaessa leikata sopivan kokoisiksi, jonka jälkeen ne liimoitetaan, asetetaan muottiin kappaleen pituusakselin suuntaisesti ja puristetaan valmiiksi kappaleeksi, joka voidaan edelleen kuivauksen jälkeen leikata määrämitta. Ulkonäöltään Scrimber muistuttaa PSL:ää. Käytettävien pölkkyjen minimiläpimitaksi Scrimberin valmistuksessa mainitaan 70 mm pölkyn tyvipäästä mitattuna ja kannattavaksi maksimiläpimitaksi 150-200 mm, koska tätä suuremmat rungot on kannattavampaa käyttää sahaukseen. Scrimber-tyyppisen tuotteen puristukseen on mahdollista käyttää jatkuvatoimista puristusta tai kertapuristusta. Nykyisin Scrimberin valmistuksen mahdollistavat patentit ovat yhdysvaltalaisen metsäteollisuusyrityksen omistuksessa. Tästä huolimatta Scrimber on yksi potentiaalinen vaihtoehto pienpuun käytön lisäämiseen.

4 PÄÄTELMÄT JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

Jo vakiintuneiden rakennepuutuotteiden (Engineered Wood Products eli EWP) kuten LVL:n ja liimapuun käyttö kotimaisessa julkisessa, teollisessa ja osin myös yksityisessä talonrakentamisessa on kasvanut viimeksi kuluneiden vuosien aikana. Valmiiden katto-, seinä- ja lattiaelementtien hallitut lujuusarvot ja nopea asennettavuus säästävät kustannuksia ja raaka-ainetta platform- ja pre-cut rakentamisessa perinteiseen sahatavarasta rakentamiseen verrattuna.

Markkinoille tarjottavat puutuotteet nähdään tulevaisuudessa samanlaisina laadultaan tasaisina ja halutunlaisina kulutushyödykkeinä kuin tällä hetkellä ovat muovi- ja metallituotteet (ks. Poutanen 2000). Nykyisen kaltainen sahatavarakauppa, jossa vielä loppukäyttäjänkin tuotteessa on suuria laatuvarioita ja lopputyössä ja asennuksessa syntyy merkittäviä hävikkejä, vaikeutuu tulevaisuudessa.

Luontaisesti epähomogeenisesta puusta tehtyjen tuotteiden laadun tasaisuus voidaan taata loppukäyttäjälle asti kahdella tavalla: 1) massiivipuutuotteiden entistä tarkempi lujuus- ja laatulajittelu sekä erilaisten tuote-erien kappalekohtainen erillään pitäminen; 2) uusien, laadultaan tasaisten ja hallittujen tuotteiden valmistus. Ensin mainitussa toimintatavassa voi olla vaikeuksia, koska se lisää laaduntarkkailun kustannuksia ja voi aiheuttaa huonojen laatuisten markkinointiongelmia. Jälkimmäinen toimintatapa, halutunlaatuisten tuotteiden valmistaminen mm. rakennustuotemarkkinoille on potentiaalinen keino elvyttää puun käyttöä Euroopassa. Pohjois-Amerikassa tähän suuntaan on edetty määrätietoisesti jo muutamien vuosikymmenten ajan ja sama trendi on nykyisin nähtävissä myös Japanissa (esim. Cohen & Gaston 2003).

Rakennepuutuotteet mahdollistavat paitsi laadun tasaisuuden myös puutuotteiden perinteistä monipuolisemman hyödyntämisen, koska mm. lujuus- ja kosteuselämisominaisuuksia sekä dimensioita voidaan säädellä laajasti. Tällä hetkellä rakennepuutuotteita valmistetaan ja kulutetaan kasvavilla markkinoilla erityisesti Pohjois-Amerikassa ja Kaakkois-Aasiassa mutta myös Keski-Euroopassa. OSB-levy voi valata tuotannon lisääntyessä ja kulutustottumusten muuttuessa Euroopassakin markkinoita havuvanerilta alhaisemman hintansa vuoksi. Suomalainen OSB-tehdasinvestointi lienee silti epätodennäköinen lähitulevaisuudessa. Keski- ja Pohjois-Euroopassa ollaan totuttu käyttämään lastulevyjen ohella vaneria ja kotimaiset havuvaneritehtaat ovat moderneja ja tehokkaita. Lisäksi oletettavat OSB-levyn päämarkkina-alueet Keski-Euroopassa ovat jo nyt kovasti kilpaillut ja pääosin paikallisen tuotannon kyllästävät. Myös uusia OSB-levytehtaita on rakenteilla ja suunnitteilla Keski- ja Itä-Euroopassa.

Edellä mainittujen syiden perusteella Suomessa voitaisiin harkita investointia lähinnä johonkin OSB-levyä pienemmällä tuotantovolyymilla valmistettavaan *palkki-tuotteeseen*. Jos ryhdytään jatkojalostamaan jo nykyisin Suomessa tuotettavia vanereita, LVL:ää ja massiivisahatavaraa, puiset I-palkit ovat huomattavaa kasvupotentiaalia omaava tuoteryhmä. Muutamassa vuosikymmenessä I-palkit ovat muuttaneet olennaisesti talonrakennustapaa Pohjois-Amerikassa; Euroopassa niiden valmistusta on vasta käynnistetty. Aika näyttää, tullaanko Euroopassakin siirtymään asuin- ja toimistorakennusten vaaka- ja vinokannatteissa kevyisiin, mittatarkkoihin ja nopeasti asennettaviin puisiin I-palkkeihin. Lattiaikätyössä niiden askelääneneristävyys ei täytä normeja Euroopassa yhtä hyvin kuin Pohjois-Amerikassa, jossa ääneneristävyyttä on voitu parantaa kokolattiamatoilla. Samalla on kuitenkin vaikutettu vahingollisesti

sisäilman laatuun. Kattorakenteissa I-palkkien käytöllä sen sijaan voitaneen saavuttaa Euroopassakin kustannussäästöjä.

Oman mielenkiintoisen tuoteryhmänsä muodostavat erilaiset liimapuurakenteet (levyt tai palkit), joita voidaan valmistaa myös sahauskelpoisesta pienpuusta. Muutamia tällaisia tuotteita valmistetaan kotimaassa. Kovin suurta menestystä ne eivät kuitenkaan ole toistaiseksi saavuttaneet. Ongelmana pidetään mm. riittävän laadukkaan mutta edullisen raaka-aineen saatavuutta ohi selluloosa- ja paperitehtaiden tarpeen. Tästä syystä tuotteet, joiden valmistusprosessi ei perustu sahaukseen vaan esimerkiksi lastuamiseen, ovat lähtökohtaisesti kiinnostavampia.

Tutkimuksen empiirisessä osassa havaittiin, tosin pienten aineistojen perusteella, että suomalaisesta puusta valmistetuista, kooltaan OSB-levylle tyypillisistä lastuista voidaan valmistaa lujaa rakennepuupalkkia. Tehdyssä koevalmistuksessa lastut valmistettiin laboratorikäyttöön suunnitellulla teräkehälastuajalla ja siroteltiin käsin. Jos käytettävissä on suurikapasiteettinen, pieniläpimittaisen puun lastuamiseen soveltuva laite sekä riittävän tehokas ja toimiva lastujen suuntaamismenetelmä, suomalaisen pienpuun käytölle vastaavassa tuotteessa ei ole puuteknisiä esteitä.

Laboratoriomittakaavan kokeissa koelevyjen väliset erot mm. lastujen suuntauksessa ja levyn tiheydessä olivat niin suuria, että esimerkiksi eri puulajeista valmistettävien lastujen sekoittamisella aikaan saatavia tuotteen ominaisuusvaihteluita ei kannattanut tutkia tässä tutkimuksessa. Tämä voi kuitenkin olla perusteltua jatkossa.

Jos kotimaassa otetaan harkintaan kokonaan uudenlaisen ensiasteen jalosteen tuottaminen, pienpuusta valmistettavissa olevalla OSL-palkilla olisi tämän esitutkimuksen perusteella mahdollisuuksia muodostua kannattavaksi tuotteeksi. Taulukon 22 perusteella näyttäisi myös siltä, että OSL-palkkia voidaan valmistaa kannattavasti. Raaka-ainekustannukset muodostavat pienpuuta käytettäessä esimerkkilaskelmassa vain noin 25 % tuotteen arvioidusta markkinahinnasta.

Puristettaessa tuotetta määrätiheyteen mäntyraaka-aineen kulutus on suurempi kuin tätä tiheimmällä koivulla. Jos sen sijaan halutaan määrälajuuteen puristettua tuotetta, raaka-aineen kulutuksessa ei ole merkittäviä eroja puulajien välillä.

Raaka-ainevarojen perusteella tutkituilla metsäkeskusalueilla on pääsääntöisesti joko ennallaan pysyvä tai kasvava vuotuinen kuitupuun hakkuupotentiaali. Tässä tutkimuksessa hakkuupotentiaaleja tarkasteltiin ainoastaan Etelä-Suomen rannikoihin rajoittuvien metsäkeskusten alueilla. Pienpuun saatavuuden ja hyödyntämistarpeiden kannalta muita merkittäviä tekijöitä, joihin tässä tutkimuksessa ei voitu paneutua, ovat muutokset:

- energiapuun käytössä ja sen vaikutuksissa teollisuuden raaka-ainepotentiaaliin,
- koivu- ja mäntykuitupuun tuonnissa,
- kuiduttavan teollisuuden ja pienpuusahojen raakapuun tarpeessa,
- turvemaiden puustojen hyödyntämisteossa,
- pienpuun hankinnan kustannusrakenteissa (pikkutukki, kuitupuu, energia-puu),
- nykyisen teollisuuden tuottaman jätepuun hyödyntämisessä,
- metsien suojelutavoitteiden toteutumisessa ja sen vaikutuksissa järeää tukkia käyttävän teollisuuden toimintaedellytyksiin,
- puunmyynnissä vuoden 2006 alussa kaikissa metsälöissä voimaan astuva puun myyntituloerotuksen vuoksi,
- pienpuun hintatasossa pitkällä aikavälillä, ottaen huomioon kaikki yllä mainitut tekijät.

OSL-palkin tyyppisen tuotteen valmistaminen näyttäisi olevan Suomen oloissa mahdollista ottaen huomioon tuotesuojaukset ja pienpuuraaka-ainepotentiaalin. Teknologia 10-15 cm pitkän lastun valmistukseen, lajitteluun ja liimoitukseen on saatavissa kotimaisilta laitetoimittajilta. Myöskään palkkiaihioiden puristusteknologian saatavuus ei ole ongelma, tosin nykyinen teknologia ei toimi vielä aukottomasti lyhyiden lastujen valmistuksessa. Epämuodostuneiden, haljenneiden tai katkenneiden lastujen osuus on esim. tavallisia OSB-lastuajia käytettäessä suuri. Kuten tämän tutkimuksen laboratoriokokeissa havaittiin, vioittuneiden lastujen osuus oli suurin työstettäessä suurioksaista, järeiden puiden latvasta saatavaa pienpuuta.

Toistaiseksi ratkaisematon ongelma OSL-palkin valmistuksessa on verrattain lyhyiden, alle 15 cm:n lastujen suuntaus siten, että palkkiin saadaan riittävä lujuus ja jäykkyys. OSB-levyn valmistuksessa käytettävät lastun suuntaimet eivät takaa rakenteellisten OSL-palkkien vaatimukset täyttävää suuntausta (ks. taulukko 13, OSB-levyn kimmokertoimet ja murtolujuudet). Nähtävästi juuri tästä syystä Pohjois-Amerikassakin lyhytlastuista OSL-palkkia valmistetaan vain vähän ja tuotteen taivutusominaisuudet eivät ole lähellekään yhtä hyvät kuin pitkälastuisella LSL-palkilla, joka puolestaan on patentoitu tuote. Toisaalta OSL-tyyppisen tuotteen lujuuteen ja jäykkyyteen vaikuttavien tekijöiden tutkimukseen on Pohjois-Amerikassa panostettu voimakkaasti viime vuosina. Voidaankin olettaa, että OSL on seuraava suurimittakaavaiseen tuotantoon otettava rakennepuutuote, kunhan valmistusteknologia, lähinnä lastujen suuntaaminen, saadaan riittävän toimivaksi. Tätä paikkaa tavoittelisi epäilemättä myös LSL, ellei se olisi patentein varjeltu yhden yrityksen omistama tuote. Käytännössä LSL valmistettaneen Pohjois-Amerikassakin suhteellisen järeistä tukeista, jolloin ehjinä pysyvien lastujen valmistaminen on yksinkertaisempaa kuin käytettäessä pienpuuta. Pituudeltaan 30 cm:n lastujen valmistaminen pienpuusta hyvällä saannolla ei nähtävästi ole mahdollista nykymenetelmillä. Tästäkin syystä OSL on lyhyempine lastuineen mielenkiintoisempi rakennepuutuote kuin LSL.

Tekniikka 7-15 cm pitkien lastujen riittävän hyvin suunnattuun sirotteluun on OSL-palkin tuotannon avainkysymys. Mikäli lastut pystytään suuntaamaan ± 10 asteen suuntaopikkeaman rajoissa palkin pituussuuntaan nähden, voidaan jo varsin pitkälle kehittyntä OSB-levyteknologiaa valjastaa tätä arvokkaamman ja Suomen oloissa paremmin tuotettavaksi soveltuvan OSL-rakennepuupalkin valmistukseen.

Tämän esiselvitysraportin pohjalta muodostuneiden käsitysten perusteella voidaan esittää rakennepuutuotteisiin, -tuotantoon ja tuotemarkkinoihin liittyen seuraavia jatkotutkimustarpeita:

- tuotannon alueittaisen (maiden välinen, maiden sisäinen) teknistä taloudellisen kannattavuuden tarkastelut ja siihen liittyvät herkkyysoanalyysit tätä tutkimusta tarkemmilla lähtöarvoilla, sisältäen riskianalyysijä ja erilaisten investoinnin kannattavuutta kuvaavien tunnuslukujen laskentaa ja analysointia (ns. feasibility study),
- yksityiskohtaiset selvitykset teknologian tasosta ja tärkeimmistä puutteista kone- ja laitekannassa, kun halutaan valmistaa pienpuusta rakennepuutuotteita,
- markkina-analyysit Euroopassa ja muilla mahdollisilla ventialueilla*
 - kilpailu muiden tuottajien ja tuotteiden kanssa,
 - rakennepuutuotteiden korvaavuus puu-, metalli- ja muovituotteille,
 - nykyinen ja odotettavissa oleva kysyntä,

- kuluttajien, jakelijoiden, arkkitehtien ja rakennustoimistojen tietoisuus rakennepuutuotteiden ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista,
- tutkimukset raaka-ainehuollon ja tuotannon integroimisesta muuhun puuta käyttävään teollisuuteen.

Puutuotteiden pakollinen CE-merkintä voi muuttaa sahatavaran ja rakennepuutuotteiden välistä kilpailuasetelmaa. CE-merkinnän tarkoituksena on osoittaa, että tuote on eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin mukainen ja täyttää rakennustuotedirektiivissä esitetyt turvallisuus- ja terveellisyysvaatimukset. Puulevyjen CE-merkintä on vaihtoehtoinen tuotehyväksyntäjärjestelmä kansallisten menettelytapojen rinnalla EU- ja EFTA-alueilla 1.4.2003-1.4.2004 välisenä siirtymäaikana, jonka jälkeen merkinnästä tulee pakollinen. Vuosina 2004-2006 saman järjestelmän piiriin tulevat liimapuu, rakenteellinen sahatavara, puiset pylväät, ristikkorakenteet, puiset lattiapäällysteet, LVL sekä puupaneelit ja -verhoukset (Leskelä 2003). CE-merkinnän piiriin tulee tuotteita joko eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin (HEN) tai eurooppalaisen teknisen hyväksyntäohjeen (ETAG) perusteella. Puulevyistä HEN-merkinnän piiriin tulevat vanerit, lastu- ja kuitulevyt, liimalevyt, OSB ja sementtilastulevy. Mm. I-palkkien CE-merkintä tapahtuu sen sijaan ETAG:in perusteella.

* Rakennepuutuotteiden markkinakysymyksistä on odotettavissa lisätietoja Pellervon Taloudellisen Tutkimuslaitoksen ja Metlan yhteishankkeen keväällä 2003 julkaistavassa loppuraportissa.

KIRJALLISUUS

Armstrong, J.P., Skaar, C. & de Zeeuw, C. 1983. The effect of specific gravity on several mechanical properties of some world woods. *Wood Sci. Technol.* 18(2): 137-146.

Avain Suomen metsäteollisuuteen. 2000. Metsäteollisuus ry. 124 s.

Baileys, J.K., Marks, B.M., Ross, A.S., Crawford, D.M., Krzysik, A.M., Muehl, J.H. & Youngquist, J.A. 2003. Providing moisture and fungal protection to wood-based composites. *For. Prod. J.* 53(1): 76-81.

Barnes, D. 2001. A model of the effect of strand length and strand thickness on the strength properties of oriented wood composites. *For. Prod. J.* 51(2): 36-46.

- 2002a. A model of the effect of strand angle and grain angle on the strength properties of veneer and strand wood composites. *For. Prod. J.* 52(4): 39-47.

- 2002b. A model of the effect of fines content on the strength properties of oriented strand composites. *For. Prod. J.* 52(5): 55-60.

- 2002c. A model of the effect of orienter design and operating variables on the mean angular deviation of oriented strand wood strands. *For. Prod. J.* 52(7/8): 63-71.

- 2002d. Orientation of OSB and particleboard strands for high-strength oriented strand lumber and panel products. *For. Prod. J.* 52(9): 31-39.

Bodig J. & Jayne, B.A. 1982. *Mechanics of wood and wood composites.* Van Nostrand Reinhold, New York. 712 s.

Boren, H. 2000. Pienpuun käytön lisääminen mekaanisessa puunjalostusteollisuudessa. Esiselvityksen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 761. 43 s. + liitteet 14 s.

- 2001. Factors affecting the knottiness, twisting and mechanical properties of pith enclosed round and sawn timber of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) from thinnings in Southern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 807. 164 s.

-, Kärki, T. & Lindblad, J. 1998. Pyöröpuutuotteiden markkinat Englannissa ja Saksassa. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 72. 34 s.

-, Pietilä, J., Lehtoviita, T., Meuronen, T. & Suonio, J. 2000. Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa I. Pyöreän puun lujuus, mänty ja kuusi, pyöreän puun liitoskoheet. Maatalouden tutkimuskeskus, VAKOLAn tiedote 81/2000. 24 s.

- Bozo, A.M. 2002. Spatial variation of wood composites. Ph.D. thesis. Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering. 284 s.
- Cabangon, R.J., Cunningham, R.B. & Evans, P.D. 2002. Manual strand orientation as a means of improving the flexural properties of wood-wool cement boards in the Philippines. *For. Prod. J.* 52(4): 53-59.
- Cates, P.J. 2002. Dowel bearing strength and bolted connection behavior of oriented strand lumber. M.Sc. thesis. Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering. 220 s.
- Cohen, D.H. & Gaston, C. 2003. The use of engineered wood products in traditional Japanese wood house construction. *Wood Fiber Sci.* 35(1): 102-109.
- EN 408. 1995. Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. 19 s.
- EN Working draft. 2001. Timber structures – Structural laminated veneer lumber – Requirements. 20 s.
- Epmeier, H., Westin, M., Rapp, A.O. & Nilsson, T. 2003. Comparison of properties of wood modified by 8 different methods – durability, mechanical and physical properties. Julkaisussa: van Acker, J. & Hill, C. (toim.). Proceedings of the first European conference on wood modification. Ghent, Belgium, 3rd-4th April 2003. Ss. 121-142.
- Erdil, Y.Z., Zhang, J. & Eckelman, C.A. 2002. Holding strength of screws in plywood and oriented strandboard. *For. Prod. J.* 52(6): 55-62.
- Fagerstedt, K., Pellinen, K., Saranpää, P. & Timonen, T. 1996. Mikä puu – mistä puusta. Yliopistopaino, Helsinki. 180 s.
- Forest Products Laboratory. 1999. Wood Handbook – Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTP-113, Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 s.
- Fröblom, J. 2001. Pienpuun käyttö jalostuksessa. Julkaisussa: Riekkinen, M., Kärki, T. & Verkasalo, E. (toim.). Pienpuun käytön uudet haasteet: Seminaaripäivän esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 823: 17-23.
- Hakala, H. 1992. Mäntytukkien sahausjärjestyksen mukainen taloudellinen tulos ja siihen vaikuttavia tekijöitä. *Acta For. Fenn.* 226. 74 s.
- Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. *Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Comm. Inst. For. Fenn.* 96(3): 1-59.
- , Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s. + liitteet 6 s.

- , Saranpää, P. & Repola, J. 2002. Ensiharvennusmänty ja –kuusi kuitupuuna. Julkaisussa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.). Itä-Suomen puunlaatu ja käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 855: 73-86.
- Heikkinen, P. 1999. Koivun käyttö huonekaluteollisuuden raaka-aineena. Insinööri-työ. Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu, Metsä- ja puutalouden markkinoinnin koulutusohjelma. 70 s. + liite 7 s.
- Heräjärvi, H. 2002. Properties of birch (*Betula pendula*, *B. pubescens*) for sawmilling and further processing in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 871. 52 s. + liitteet.
- , Boren, H., Pietilä, J. & Stöd, R. 2000. Properties and potential of Scots pine and Norway spruce harvested in first commercial thinnings for manufacture of round timber and saw milling. Julkaisussa: Usenius, A. & Kari, P. (toim.). Proceedings of the third workshop on Measuring of wood properties, grades and qualities in the conversion chains and global wood chain optimisation, 19th-21st June, 2000, Dipoli, Espoo, Finland. COST Action E10 Wood properties for industrial use. Ss. 103-122.
- & Verkasalo, E. 2002. Timber grade distribution and relative stumpage value of mature Finnish *Betula pendula* and *B. pubescens* when applying different bucking principles. For. Prod. J. 52(7/8): 40-51.
- Hirvelä, H. 1999. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1997-2026 Kymen metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 3B/1999: 587-601.
- 2000. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1997-2027 Rannikon metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 1B/2000: 233-253.
- , Nuutinen, T. & Salminen, O. 1998. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1997-2026 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2B/1998: 279-291.
- Holzbauhandbuch. 1997. Informationsdienst Holz, Teil 4, Holzwerkstoffe, Folge 1, Konstruktive Holzwerkstoffe. 22 s.
- ICBO. 2000. Evaluation Service Inc., Evaluation Report ER-4979. Structural composite lumber; TJ-strandTM, Rim board; and SpacemakerTM trusses. 13 s.
- Jalava, M. 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. Comm. Inst. For. Fenn. 33 (3): 1-66.
- 1957. Puun käyttöön vaikuttavat ominaisuudet. Julkaisussa: Jalava, M., Lihtonen, V., Heiskanen, V. & Sippola, H. (toim.). Metsäkäsikirja, 2. osa. Ss. 755-791.

- Jastrzebski, Z.D. 1987. The nature and properties of engineering materials. 3rd edition. John Wiley & Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. 636 s.
- Jouhiaho, A. & Uusitalo, J. 2001. Ensiharvennumännyn oksaisuuslaatu Pohjois-Karjalan alueella. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantaja 130. 39 s.
- Juslin, H. & Hansen, E. 2002. Strategic marketing in the global forest industries. Authors Academic Press. 607 s.
- Juvonen, R. & Kariniemi, J. 1984. Vaneriteollisuus. Mekaaninen metsäteollisuus 1. Ammattikasvatusthallitus – Suomen puutalousinsinöörien yhdistys ry. 189 s.
- Kellomäki, S., Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatuksavatus. *Silva Carelica* 23. 133 s.
- Kivinen, T. & Pietilä, J. 2000. Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa III. Rakenteet, liitokset, rakennusesimerkit. Maatalouden tutkimuskeskus, VAKO-LAn tiedote 83/2000. 34 s.
- Klauditz, W. 1957. Entwicklung und Stand der Holzspanplattenherstellung. *Holz-Zentralblatt* 83: 87-91.
- Koch, P., Keegan C.E.III, Burke, E.J. & Brown, D.L. 1989. Proposed wood products plant to utilize sub-sawlog size and dead Lodgepole pine in Northwestern Montana – A technical and economic feasibility analysis. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. General Technical Report INT-258. 145 p.
- Koponen, H. 1995. Puulevytuotanto. Gummerus Oy Kirjapaino, Saarijärvi. 212 s.
- Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A. & Tonteri, T. 2000. Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1964-98. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2000: 337-411.
- , Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A. & Tonteri, T. 2000. Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1965-99. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/2000: 489-566.
- Korpilahti, A., Varhimo, A., Keskinen, S. & Lemmetty, J. 1995. Mäntykuitupuun minimilatvaläpimitan vaikutus puunhankintaan ja sellunvalmistukseen. *Metsätehon katsaus* 6/1995. 6 s.
- Kuitto, P-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. *Metsäteho*, Tiedotus 410. 38 s. + liitteet 23 s.

- Kärki, T. 2001. Variation of wood density and shrinkage in European aspen (*Populus tremula*). *Holz als Roh- und Werkstoff* 59: 79-84.
- Kärkkäinen, M. 1980a. Mäntysahatukin laatuluokitus. *Comm. Inst. For. Fenn.* 96(5): 1-152.
- 1980b. Tuloksia Rauman alueen mäntytukkien sahauksesta. *Comm. Inst. For. Fenn.* 96(7): 1-43.
- 1985. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy, Sotkamo. 415 s.
- 2003. Puutieteen perusteet. Metsälehti Kustannus. Karisto Oy, Hämeenlinna. 451 s.
- & Dumell, O. 1983. Shrinkage properties of Norway spruce wood. *Seloste: Kuusen puuaineen kutistuminen. Silva Fenn.* 19(1): 67-72.
- Lehtimäki, J., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2002. Harvennuskoivu sahauksessa ja jatkojalostuksessa. *Julkaisussa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.). Itä-Suomen puunlaatu ja käyttö, Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. Metsän-tutkimuslaitoksen tiedonantoja 855: 23-37.*
- Leskelä, J. 2003. Puulevyjen CE-merkintä ensimmäisenä puutuotteena alkaa huhtikuun alussa. *Puumies* 48(2): 1.
- Lewis, W.C. 1971. Board materials from wood residues. U.S.D.A. Forest Service, Research Note FPL-045. 11 s.
- Liiri, O. & Nykänen P. 1958. Lastulevykäsikirja. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos. Sarja 1 – Puu. 5. VTT Rotaprintinpaino, Helsinki. 141 s.
- Linville, J.D. 2000. The influence of a horizontal density distribution on moisture-related mechanical degradation of oriented strand composites. M.Sc. thesis. Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering. 121 s.
- Loferski, J. R. 1997. Long Term Performance and Durability of Engineered Wood Products. *Julkaisussa: Smulski, S. (toim.). Engineered Wood Products: A guide for specifiers, designers and users. Ss. 193-221.*
- Lowood, J. 1997. Oriented Strand Board and Waferboard. *Julkaisussa: Smulski, S. (toim.). Engineered Wood Products: A guide for specifiers, designers and users. Ss. 147-172.*
- Maloney, T.M. 1993. Modern particleboard & dry-process fibreboard manufacturing. Updated edition. Miller Freeman Inc., San Francisco. 681 s.
- Meyers, K.L. 2001. Impact of geometry and orientation on mechanical properties of strand composites. M.Sc. thesis. Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering. 116 s.

- Moriarty, C.J. 2002. The effect of lab-made flakes on physical and mechanical property variability of laboratory flakeboard. *For. Prod. J.* 52(2): 69-73.
- Möttönen, V. & Luostarinen, K. 2001. Istutuskoivun ominaisuudet sahatavarana: kaatoajankohdan, varastointiajan ja kasvupaikan vaikutus saheiden värin- ja muodonmuutoksiin kuivauksessa. Julkaisussa: Verkasalo, E., Sipi, M., Möttönen, V. & Kärki, T. (toim.). Kotimaisen koivun, haavan ja lepän ominaisuudet ja niiden hyödyntäminen mekaanisessa puuteollisuudessa, Tutkimuskonsortion tulosten yhteenveto. Helsingin yliopisto, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun yliopisto. Ss. 35-49.
- National Research Council Canada. 2001. CCMC Evaluation Report: TimberStrand® LSL. NRC-CNRC Registry of Product Evaluations, 2001 Edition: 503-510.
- Nelson, S. 1997. Structural Composite Lumber. Julkaisussa: Smulski, S. (toim.). *Engineered Wood Products: A guide for specifiers, designers and users.* Ss. 123-145.
- Niemi, S., Finér, L., Laukkanen, H., Nousiainen, M., Sikanen, L. & Väätäinen, K. (toim.). 2002. Suometsät – tulevaisuuden tukkipuustot, ”Harvennetaan suometsät – tulevaisuuden tukkipuustot” yhteiskehityshankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 830. 73 s.
- Nurmi, J. 2002. Istutettujen pellonmetsitysmänniköiden ulkoinen laatu Savossa ja Pohjanmaalla. Julkaisussa: Nurmi, J., Verkasalo, E. & Kokko, A. (toim.). *Pohjanmaan puunlaatu ja käyttö.* Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861: 61-67.
- Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2000a. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1998-2027 Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja 2B/2000:* 413-428.
- & Hirvelä, H. 2000b. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999-2028 Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja 3B/2000:* 567-583.
- , Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. *Silva Fenn.* 34(2): 131-153.
- Oriented Strand Board. 2000. APA – The Engineered Wood Association. 12 s.
- Palka, L.C. 1973. Predicting the effect of specific gravity, moisture content, temperature and strain rate on the elastic properties of softwoods. *Wood Sci. Technol.* Vol. 7: 127-141.
- Peltola, A. 2002. (toim.). *Metsätilastollinen vuosikirja 2002.* SVT Maa-, metsä- ja kalatalous. Metsäntutkimuslaitos. 378 s.

- Peters, J.J., Bender, D.A., Wolcott, M.P. & Johnson, J.D. 2002. Selected properties of hybrid poplar clear wood and composite panels. *For. Prod. J.* 52(5): 45-54.
- Pietilä, J., Heräjärvi, H. & Stöd, R. 2000. Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa II. Suomen rakennuspuuvarat, rakennuspuun korjuukustannukset, rakennuspuun tuotantokustannukset. Maatalouden tutkimuskeskus, VAKOLAn tiedote 82/2000. 32 s.
- Post, P.W. 1958. Effect of Particle Geometry and Resin Content on Bending Strength of Oak Flake Board. *For. Prod. J.* October: 317-322.
- Poutanen, T. 2000. Puurakentamisen mahdollisuudet. Julkaisussa: Seppälä, R. (toim.). Suomen metsäklusteri tienhaarassa. Tekesin julkaisuja. 138 s.
- Ranta, E. Rita, H. & Kouki J. 1994. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino, Helsinki. 569 s.
- Ranta-Maunus, A. 1996. Viilupuu ja muut uudet rakenteelliset puutuotteet. Julkaisussa: Kurkela, J., Lahtinen, R., Muilu, J. & Mäki-Ketelä, L. (toim.). Puurakenteet: suunnitteluperusteet, materiaaliominaisuudet, rakenneosat, liitokset. STEP 1. Ss. A9/1-A9/7.
- Ranta-Maunus, A. (toim.). 1999. Round small-diameter timber for construction. Final report of project FAIR CT 05-0091. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 383. 191 s. + liitteet 19 s.
- Rieppo, K. 2001. Yhdistelmäkoneiden kilpailukyky. Julkaisussa: Hämäläinen, J., Gustafsson, M., Kariniemi, A. & Leustu, R. (toim.). Kehittyvä puuhuolto 2001, Seminaarijulkaisu. Ss. 65-70.
- Salo, T. & Uusitalo, J. 2001. Ensiharvennusmännyn tehdashinnan kustannusrakenne. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 127. 53 s.
- Saranpää, P. 2002. Ensiharvennusmänty ja -kuusi kuituraaka-aineena. Julkaisussa: Nurmi, J., Verkasalo, E. & Kokko, A. (toim.). Pohjanmaan puunlaatu ja käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861: 15-23.
- Sarvas, R. 2002. Havupuut. 2. painos. Metsälehti Kustannusosakeyhtiön kustantama näköispainos vuonna 1964 ilmestyneestä 1. painoksesta. Karisto Oy, Hämeenlinna. 531 s.
- Shupe, T.F., Hse, C.Y. & Price, E.W. 2001. Flake orientation effects on physical and mechanical properties of sweetgum flakeboard. *For. Prod. J.* 51(9): 38-43.

- Sikanen, L. & Vesisenaho, T. 1995. Raw material balance for debarking and chipping of pine pulpwood from first thinnings at a Finnish pulp mill. Tiivistelmä: Ensiharvennuskuitupuun rumpukuorinnan ja haketuksen raaka-ainetase eräällä suomalaisella sellutehtaalla. Paperi ja Puu – Paper and Timber 77(5): 345-350.
- Sipi, M. 1998. Sahatavaratuotanto. Hakapaino Oy, Helsinki. 192 s.
- Slifka, M. J. 1997. Fire Protection Design and Engineered Wood Products. Julkaisussa: Smulski, S. (toim.). Engineered Wood Products, A guide for specifiers, designers and users. PFS Research Foundation, Madison, Wisconsin. Ss. 173-191.
- Smulski, S. 1997. (toim.). Engineered Wood Products, A guide for specifiers, designers and users. PFS Research Foundation, Madison, Wisconsin. 294 s. + Liitteet.
- Stöd, R. 2002a. Ensiharvennuskuitupuun ja -kuusikoiden teknillinen laatu sahausseksessä. Julkaisussa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.). Itä-Suomen puunlaatu ja käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 855: 67-72.
- 2002b. Ensiharvennuskuitupuun ja -kuusen teknillinen laatu pyöreänä rakennuspuuna. Julkaisussa: Nurmi, J., Verkasalo, E. & Kokko, A. (toim.). Pohjanmaan puunlaatu ja käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861: 25-30.
- Suchsland, O. 1968. Particle-board from southern pine. Southern Lumberman. December 1968: 139-144.
- Tanttu, V., Siren, M. & Aaltio, H. 2002. Harvennuskertymän rakenne ja energiapuun määrä ensiharvennuskuitupuussa. Julkaisussa: Siren, M. (toim.). Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Tekesin osarahoittaman tutkimushankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837: 27-36.
- Thole, V. 2002. New applications of OSB with modified strands. Eurowood Workshop on Engineered Wood Products. Espoo, Otaniemi, June 27-28, 2002. Seminaariesitelmän tiivistelmä.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkilä, H., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968-97. Metsätieteen aikakauskirja 2B/1998: 293-374.
- , Korhonen, K.T., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Heikkinen, J. 1999. Kymen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1966-98. Metsätieteen aikakauskirja 3B/1999: 603-681.

- , Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Tonteri, T., Heikkinen, J. & Henttonen, H. 2000. Skogstillgångarna inom Kustens skogcentral och deras utveckling 1965-98. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2000: 83-232.
- Tsai, S.W. & Hahn, H.T. 1980. *Introduction to composite materials*. Technomic Publishing Company, Inc. 455 s.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Comm. Inst. For. Fenn.* 80(2): 1-105.
- 1985. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. *Seloste: Viljelymänniköistä saatavan sahatavaran laatu ja arvo. Comm. Inst. For. Fenn.* 130: 1-53.
- van Acker, J. & Hill, C. 2003. (toim.). *Proceedings of the first European conference on wood modification*. Ghent, Belgium, 3rd-4th April 2003. 414 s.
- Vanerikäsikirja. 2001. *Metsäteollisuus ry.* 65 s.
- van Houts, J.H., Winistorfer, P.M. & Wang, S. 2003. Improving dimensional stability by acetylation of discrete layers within flakeboard. *For. Prod. J.* 53(1): 82-88.
- Varis, N. 2000. Rauduskoivusahatavaran laatu ja saanto läpisahauksessa kahden ja neljän metrin tukkeina. *Insinööriyö. Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu, Puutekniikan koulutusohjelma.* 28 s. + liite 1 s.
- Varis, A. 2002. Pieniläpimittaisen koivun sahaus ja käyttö liimalevyteollisuudessa. *Insinööriyö. Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu, Puutekniikan koulutusohjelma.* 45 s. + liitteet 3 s.
- Veistinen, J. & Pennala, E. 1997. *Finnforest Vanerikäsikirja.* 195 s.
- Velling, P. 1979. Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa. *Folia For.* 416. 24 s.
- Verkasalo, E. 1990. Koivu ja haapa mekaanisen metsäteollisuuden raaka-aineena Yhdysvalloissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 367. 93 s.
- 1998. Raudus- ja hieskoivun laatu puuaineen tiheyden perusteella arvioituna. *Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.). Rauduskoivu tänään – ja tulevaisuudessa. Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 668: 127-140.
- 2001. Havupienpuun käytön uudet haasteet. *Julkaisussa: Riekkinen, M., Kärki, T. & Verkasalo, E. (toim.). Pienpuun käytön uudet haasteet. Seminaaripäivän esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 823: 7-16.

- Viitaniemi, P. 2002. Modifioidun puun reaktiomekanismit. Julkaisussa: Paavilainen, L. (toim.). Metsäalan tutkimusohjelma WOOD WISDOM, Loppuraportti: 185-192.
- Wall, T. 2001. Havupienpuun kertymät ja laatu erityyppisissä hakkuukohteissa. Julkaisussa: Riekkinen, M., Kärki, T. & Verkasalo, E. (toim.). Pienpuun käytön uudet haasteet. Seminaaripäivän esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 823: 25-28.
- 2002. Havupienpuun käytön haasteet ja harvennusmännyn sahaus. Julkaisussa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.). Itä-Suomen puunlaatu ja käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 855: 57-65.
- , Fröblom, J., Heikkilä, A., Kilpeläinen, H., Lindblad, J., Song, T., Stöd, R. & Verkasalo, E. 2003. Harvennusmännyn hankinnan ja sahauksen kehittäminen, WOOD WISDOM –tutkimusohjelman hankekonsortion loppuraportti. Käsikirjoitus, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus.
- Wang, K. & Lam, F. 1999. Quadratic RSM models of processing parameters for threelayer oriented flakeboard. Wood Fiber Sci.. April 1999, 31(2): 173-186.
- Westin, M, Lande, S. & Schneider, M. 2003. Furfurylation of wood – process, properties and commercial production. Julkaisussa: van Acker, J. & Hill, C. (toim.). Proceedings of the first European conference on wood modification. Ghent, Belgium, 3rd-4th April 2003. Ss. 289-306.
- Xu, W. 2002. How to analyze strand alignment of oriented strandboard. For. Prod. J. 52(4): 48-52.
- Yadama, V. 2002. Characterization and modeling of oriented strand composites. Ph.D. thesis. Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering. 208 s.
- Zobel, B.J. & van Buijtenen, J.P. 1989. Wood variation – its causes and control. Springer Verlag, Berlin. 363 s.
- Örn, J. 2002. Puunkorjuun ja puutavaran kaukokuljetuksen kustannukset vuonna 2001. Metsäteho, tilastoliite. 4 s.

INTERNET-LÄHTEET

- Patentti- ja rekisterihallitus 2002. Patentti- ja rekisterihallituksen internetsivut, www.prh.fi. Luettu 16.7. 2002.

Rakenne- ja muita puutuotteita koskevien termien määritelmiä

Ristikkäisviittauksissa selite löytyy yleisimmin käytetyn termin kohdalta. Laaja englanninkielinen termisanasto on mm. teoksessa Maloney (1993). Suomenkielinen metsäteollisuuden yleissanasto on teoksessa Avain...(2000). Ajantasainen puutieteellinen suomi-englanti –sanasto on esitetty teoksessa Kärkkäinen (2003).

Aihio, Billet (engl.), Preform (engl.)

Asiakaskohtainen puolivalmiste, jota edelleen työstetään asiakkaan prosessissa.

Billet (engl.)

Ks. Aihio

Blockboard (engl.)

Ks. Rimalevy

Cement chipboard (engl.)

Ks. Sementtilastulevy.

Chipboard (engl.)

Ks. Lastulevy.

Com-ply (engl.)

Yhdysvalloissa valmistettu levytuote, jonka rakenteen perustana on kahden viilukerroksen väliin jäävä lastulevykerros.

Component (engl.)

Ks. Komponentti

Composite (engl.)

Ks. Komposiitti.

Construction strand lumber (engl.)

Ks. OSL.

CSL Construction strand lumber (engl.)

Ks. OSL.

Edge glued panel (engl.)

Ks. Liimalevy.

Egyptinparru

Veistetty tai nykyisin tavallisesti sahattu latvaa kohti kapeneva parru, jonka ei tarvitse olla täyssärmäinen. Tuotanto viedään Egyptiin rakennusmateriaaliksi.

Energiapuu, Energy wood (engl.), Fuel wood (engl.)

Lämpöenergian tuotantoon käytettävä puuraaka-aine.

Energy wood (engl.)

Ks. Energiapuu.

Engineered wood parquet flooring (engl.)

Ks. EWF.

Engineered wood product (engl.)

Ks. Rakennepuutuote.

Ensiharvennuspuu, Wood from first commercial thinning (engl.)

Ensimmäisessä kaupallisessa harvennushakkuussa korjattava puuraaka-aine, tav. pääosin pienpuuta. Ensiharvennus tehdään tavallisesti metsikön iän ollessa 20-40 vuotta, Etelä-Suomessa ja rehevillä kasvupaikoilla aiemmin, Pohjois-Suomessa ja karuilla kasvupaikoilla myöhemmin.

EWF, Engineered wood parquet flooring (engl.)

Kahdesta, kolmesta tai useammasta lamellista liimattu lattia-aine.

EWP

Ks. Rakennepuutuote.

Fibreboard (engl.)

Ks. Kuitulevy.

Flakeboard (engl.)

Lastulevytyyppi, jossa lastut ovat suurempia kuin chipboardissa mutta eivät leveyttään pidempiä kuten strandboardissa.

Flange (engl.)

Ks. Paarre.

Fuel wood (engl.)

Ks. Energiapuu.

Glued laminated beam (engl.)

Ks. Liimapalkki.

Glued laminated board (engl.)

Ks. Liimalevy.

Glued laminated timber (engl.)

Ks. Liimapuu.

Gypsum board, (engl.)

Ks. Kipsilevy.

Hardboard (engl.)

Ks. HDF.

Harvennuspuu, Thinning wood (engl.)

Harvennushakkuilta korjattava puutavara, joka voi olla tukkia, pikkutukkia, kuitu- tai energiapuuta.

Havuvaneri, Softwood plywood (engl.)

Vaneri, joka on valmistettu yksinomaan havupuuviiiluista.

HDF, High density fibreboard (engl.), Hardboard (engl.), Kovalevy

Kuitulevy, jonka tiheys on yli 1000 kg/m³.

High density fibreboard (engl.)

Ks. HDF.

Huokoinen kuitulevy, Insulation board (engl.), Noncompressed fibreboard (engl.), Porous fibreboard (engl.)

Pääasiassa eristyslevynä käytettävä kuitulevy, jonka tiheys on alle 400 kg/m³.

I-beam (engl.)

Ks. I-palkki.

I-joist (engl.)

Ks. I-palkki.

Insinööripuutuote

Ks. Rakennepuutuote

Insulation board (engl.)

Ks. Huokoinen kuitulevy.

Intrallam®

Ks. LSL.

I-palkki, I-joist (engl.), I-beam (engl.)

Kahdesta paarteesta l. laipasta (lujuuslajiteltua massiivipuuta, liimapuuta, PSL-, LSL- tai LVL-palkkia) ja niiden väliin lappeelleen sijoitetusta uumalevystä (esim. vaneria tai OSB-levyä) liimattu I-kirjaimen muotoinen kantava rakenne, jolla haetaan hyvää paino-taivutuslujuus/jäykkyys –suhdetta. Käytetään talojen lattioissa, välipohjarakenteissa ja katoissa sekä valumuottien tukirakenteina erityisesti Pohjois-Amerikassa. Pohjois-Amerikassa I-palkista käytettiin aiemmin nimitystä I-beam, nykyisin I-joist. Esim. Australiassa ja Uudessa Seelannissa sen sijaan käytetään edelleen nimitystä I-beam.

Kerto®

Finnforest Oy:n tuotemerkki yhtiön valmistamalle LVL-palkille ja –levylle.

Kertopuu

Ks. LVL.

Keskiraskas kuitulevy

Ks. MDF.

Kipsilevy, Gypsum board (engl.)

Sisäseinien, kattojen ja lattioiden alusrakenteena käytettävä palonkestävä ja hyvin ääntä eristävä levytuote, jonka sydän on kipsiä ja pintaosa kartonkia.

Koivuvaneri, Birch plywood (engl.)

Vaneri, joka on valmistettu yksinomaan koivuvuiluista.

Komponentti, Component (engl.)

Asennusvalmis tuotteen osa.

Komposiitti, Composite (engl.)

Rakenne, jossa on sekoitettu kahta materiaalia (esim. puu ja muovi) toisiinsa tavoitellen hyviä lujuus-, mittapysyvyy-, palonkesto- tms. ominaisuuksia. Eroa kemiallisesta *yhdisteestä* siinä, etteivät materiaalit ole reagoineet keskenään. Myös puuta sellaisenaan voidaan pitää komposiittina, jossa kuidut on kiinnitetty toisiinsa käyttäen ligniiniä liima-aineena.

Kovalevy

Ks. HDF.

Kuitulevy, Fibreboard (engl.)

Yleisnimitys puu- tai muusta kuitumassasta liimatuille ja puristetuille levytuotteille, joka päällystetään usein sopivalla pintamassalla. Käytetään mm. rakennus- ja huonekalulevyinä.

Kuitupuu, Pulpwood (engl.)

Paperi- tai selluloosateollisuuden raaka-aineeksi käytettävä pyöreä puutavara. Vähimmäislatvaläpimittä yleensä 6-7 cm.

Laippa

Ks. Paarre.

Lamella (engl.)

Ks. Lamelli

Lamelli, Lamella (engl.), Lamina (engl.)

Lappeistaan (esim. vaneri, liimapalkki, sälelevyn sydänosa) tai syrjistään (esim. liimalevy, rimalevyn sydänosa) yhteen liimatun elementin yksi osa.

Lamellihirsi

Ks. Liimahirsi.

Lamina (engl.)

Ks. Lamelli

Laminated strand lumber (engl.)

Ks. LSL.

Laminated veneer lumber (engl.)

Ks. LVL.

Lastulevy, Chipboard (engl.)

Pienikokoisesta lastumateriaalista puristettu ja liimattu levytuote huonekaluihin, kiintokalusteisiin, oviin, lattioihin ja väliseiniin.

Lehtipuuvaneri, Hardwood plywood (engl.)

Vaneri, joka on valmistettu yksinomaan lehtipuuviiiluista, Suomessa yleensä koivusta.

Liimahirsi, Lamellihirsi

Vähintään kahdesta (tav. kolmesta) sahatusta ja lappeistaan toisiinsa liimatusta lamellista valmistettu poikkileikkaukseltaan pyöreä tai nelikulmainen hirsituote. Liimahirsien etuna pidetään mm. niiden vähäisempää halkeilua, vääntyilyä ja painumista massiiviseen pyörö- tai höylähirteen verrattuna.

Liimalevy, Glued laminated board (engl.), Edge glued panel (engl.)

Syrjistään toisiinsa kiinni liimatuista sahatavaralamelleista valmistettu massiivipuuksi luettava levytuote. Käytetään erityisesti huonekaluteollisuudessa.

Liimapalkki, Glued laminated beam (engl.)

Lappeistaan toisiinsa kiinni liimatuista sahatavaralamelleista valmistettu palkkituote. Käytetään esim. sahatavaran, LSL:n, LVL:n, OSL:n tai PSL:n tapaan kantavissa rakenteissa.

Liimapuu, Glued laminated timber (engl.)

Yleisnimitys lappeistaan toisiinsa kiinni liimatuista sahatavaralamelleista valmistetuille tuotteille.

Log (engl.)

Ks. Tukki

LSL, Laminated strand lumber (engl.), Intrallam®, Timberstrand®

150-300 mm pitkistä, 0,5-1,0 mm paksuista ja 20-30 mm leveistä lastuista liimattu palkkituote. Valmistetaan lastuamalla kuorittua puuta. Lastut kuivataan ja liimoitetaan pyörivässä rummussa. Palkkiaihiot puristetaan kuumapuristimessa. LSL:ää käytetään talojen runkomateriaalina, kannatinpalkkeina, juoksuina sekä mm. ovenkarmeina ja I-palkkien paarteina.

LVL, Laminated veneer lumber (engl.), Microlam®, Kertopuu, Viilupuu

Yhdensuuntaisista viiiluista liimattu palkki- tai levytuote kantaviin rakenteisiin.

Massiivipuutuote, Solid wood product (engl.)

Puutuote, jonka koossapysyminen a) ei vaadi liiman käyttöä (esim. sahatavarakappale) tai b) on liimattu vain syrjistään yhteen (liimalevy).

MDF, Medium density fibreboard (engl.), Keskiraskas kuitulevy

Hienojakoiseksi jauhetusta puusta puristettu ja liimattu puolikova kuitulevytuote. Käytetään erityisesti huonekaluissa ja kiintokalusteissa lastulevyn korvaajana. Tiheys 600-1000 kg/m³.

Medium density fibreboard (engl.)

Ks. MDF.

Microlam®

Ks. LVL.

Monikerroslevy, Multilayer board (engl.)

Levytuote, joka on liimattu useista ohuemmista levyistä, jotka voivat olla myös eri materiaalia.

Multilayer board (engl.)

Ks. Monikerroslevy.

Noncompressed fibreboard (engl.)

Ks. Huokoinen kuitulevy.

Oriented strand board (engl.)

Ks. OSB.

Oriented strand lumber (engl.)

Ks. OSL.

OSB, Oriented strand board (engl.), suuntaissiroteltu suurlastulevy

75-150 mm pitkistä, 12-25 mm leveistä ja 0,5-0,75 mm paksuista lastuista valmistettu levytuote. Lastukerrokset sirotellaan kohtisuoraan edellisen kerroksen kanssa. OSB kilpailee käyttökohteista lähinnä havuvanereiden kanssa.

OSL, Oriented strand lumber (engl.)

OSB-lastuista valmistettava palkkituote, käytetään vastaavasti kuin LSL:ää. Synonyymi tuotenimelle CSL.

Paarre, Laippa, Flange (engl.)

I-palkin ylä- ja alareunan muodostava jäykiste, joka tehdään tavallisesti LVL:stä tai massiivipuusta.

Parallam®

Ks. PSL.

Parallel strand lumber (engl.)

Ks. PSL.

Particleboard (engl.)

Yleisnimitys erityyppisille lastupohjaisille liimatuille levyille (sis. chipboard, flakeboard, strandboard, waferboard). Eri levytyyppien välinen raja on häilyvä mutta liittyy lastun kokoon, muotoon ja suuntaukseen.

Peeler core (engl.)

Ks. Purilas

Peeling (engl.)

Ks. Sorvaus.

Pellet (engl.)

Ks. Pelletti

Pelletti, Pellet (engl.)

Höylälastuista tai sahanpurusta valmistettu, matriisin läpi puristettu energiapuutuote.

Pienpuu, Small-sized timber (engl.)

Tässä tutkimuksessa pienpuulla tarkoitetaan latvaläpimitaltaan 6-15 cm:n kokoista pyöreätä puutavaraa, jota saadaan joko harvennushakkuuleimikoista tai päätehakkuuleimikoiden latvapölkyistä.

Pikkutukki, Small-sized log (engl.)

Latvaläpimitaltaan tavallisesti 8-15 cm:n paksuinen puutavara, joka käytetään mekaaniseen puunjalostukseen, yleensä sahaukseen.

Platform framing (engl.)

Ks. Platform-rakentaminen.

Platform-rakentaminen, Platform framing (engl.)

Puutalon rakennusjärjestelmä, ns. kerrosrankarakenne, joka perustuu kerrokselliseen rakentamiseen määrämittaisella sahatavaralla ja levyillä niin, että ylempi kerros rakennetaan alemman kerroksen tason päälle.

Plywood (engl.)

Ks. Vaneri.

Pole Joist (engl.), pyöröpalkki

I-palkki, jossa paarteina on käytetty pyöreätä, osin profiloitua tai halkaistua pienpuuta, uumalevynä joiko havuvaneria tai OSB-levyä. Kirjoittajien tietämyksen mukaan ei kaupallisessa tuotannossa.

Porous fibreboard (engl.)

Ks. Huokoinen kuitulevy.

Precut (engl.)

Työstää tehtaalla aihio mittoihin ja muotoihin. Aihiot voidaan jatkokäsittelyssä liimata valmiiksi tuoteosiksi l. komponenteiksi.

Prefabricated wood product (engl.)

Puutuote, joka on täysin asennusvalmis komponentti. Voi koostua useista yhteen liimatuista erimuotoisista aihioista.

Preform (engl.)

Ks. Aihio

PSL, Parallel strand lumber (engl.), Parallam®

Sorvatuista havupuuperäisistä viiluista liimattu palkkituote. Valmistusprosessissa noin 3 mm paksut viilut kuivataan ja paloitellaan noin 16 mm leveiksi suikaleiksi, jotka liimoitetaan ja puristetaan aihioiksi. Liima kovetetaan mikroaaltojen avulla ja aihioista sahataan halutun kokoisia palkkiprofiileja, joita käytetään mm. pitkien jännevälien kannatinpalkkeina. Alkujaan PSL piti valmistaa vaneri- tai LVL-tehtailta saatavista jäteviiluista mutta sopivan jäteraaka-aineen riittämättömyyden vuoksi nykyisillä kolmella tehtaalla PSL-viilut sorvataan tukeista.

Pulpwood (engl.)

Ks. Kuitupuu.

Purilas, Peeler core (engl.)

Viilun sorvauksen jälkeen jäänyt sorvipölkyn sisäosa.

Puupohjainen levy, Wood-based panel (engl.)

Yleisnimitys puusta valmistetuille levytuotteille (vanerit, lastu- ja kuitulevyt)

Pyöröpalkki

Ks. Pole Joist.

Päätehakkuupuu, Wood from final felling (engl.)

Pääte-/uudistushakkuista korjattava puutavara, joka voi olla tukkia, pikkutukkia, kuitu- tai energiapuuta.

Raakapuu, Roundwood (engl.), Timber (engl.)

Metsäteollisuuden puuraaka-aine pölkyiksi katkottuna mutta pidemmälle jalostamattomana.

Rakennepuutuote, "Insinööripuutuote", Engineered wood product (engl.), EWP

Puutuote, joka on valmistettu sahaamalla, viiluttamalla, hakettamalla, lastuamalla, soiroamalla tai jauhamalla puu pienempiin osiin ja liimaamalla uudestaan kasaan. Näin valmistettuun tuotteeseen haetaan lujuutta, mittapysyvyyttä ja ominaisuuksien tasaisuutta; mm. oksien, halkeamien ja muiden puun luontaisten epäjatkuvuuskohtien vaikutukset häviävät.

Rimalevy, Blockboard (engl.), Rimboard (engl.)

Vanerituote, jonka sydän on tehty 7-30 mm leveistä lappeilleen asetetuista ja syrjistään toisiinsa liimatuista rimoista.

Rimboard (engl.)

Ks. Rimalevy.

Rotary cutting (engl.)

Ks. Sorvaus.

Roundwood (engl.)

Ks. Raakapuu.

Sahaus, Sawing (engl.)

Prosessi, jossa pyörivillä tai edestakaisin liikkuvilla sahanterillä leikataan tukista sahatavarakappaleita.

Sawing (engl.)

Ks. Sahaus.

SCL, Structural composite lumber (engl.)

Yhteisnimitys sahatavaran korvikkeena käytettäville rakennepuutuotteille (liimapalkki, -puu, LSL, LVL, OSL, PSL).

Scrimber®

Australiassa kehitetty rakennepuutuote, jossa raaka-aineena käytetään kokonaisia runkoja. Rungot kuoritaan ja ajetaan puristustelojen välistä, jolloin niiden rakenne murskaantuu. Murskattu puuainees liimoitetaan, ajetaan muottiin, puristetaan palkiksi, kuivataan ja leikataan määrämittaan. Valmistusoikeudet yhdysvaltalaisella Georgia-Pacific Corporationilla mutta tuotetta ei tiettävästi valmisteta tällä hetkellä.

Sekavaneri

Vaneri, jossa on vuorotellen koivu- ja havupuuviiiluja, päälimmäisenä aina koivuviilu.

Sementtilastulevy, Cement chipboard (engl.)

Levynä valmistettava puu-sementtikomposiitti, jota käytetään lähinnä rakennusteollisuudessa. Etuja palonkesto ja ääneneristävyys.

Small-sized log (engl.)

Ks. Pikkutukki

Small-sized timber (engl.)

Ks. Pienpuu.

Solid wood product (engl.)

Ks. Massiivipuutuote.

Sorvaus, Peeling (engl.), Rotary cutting (engl.)

Viilun valmistus leikkaamalla pituusakselinsa ympäri pyörivästä sorvipölkystä terällä yhtenäistä viilumattoa.

Strand board (engl.), suurlastulevy

Lastulevytyyppi, jossa lastut ovat yli kaksi kertaa leveyttään pidempiä.

Structural composite lumber (engl.)

Ks. SCL.

Suuntaissiroteltu suurlastulevy

Ks. OSB.

Suurlastulevy

Ks. Strand board.

Sälelevy

Levytuote, jonka sydänosa on tehty syrjälleen asetetuista, lappeistaan yhteen liimatuista säleistä, joiden leveys on alle 7 mm. Levyn ylä- ja alapinnat ovat vaneria.

Thinning wood (engl.)

Ks. Harvennuspuu.

Timber (engl.)

Ks. Raakapuu

Timberstrand®

Ks. LSL.

Triboard™

Uudessa Seelannissa valmistettava kolmikerroslevytuote, jossa keskimäinen kerros on OSB-levyä ja pintakerrokset MDF-levyä.

Tukki, Log (engl.)

Sahaukseen tai viilun valmistukseen käytettävä, tietyt mitta- ja laatuvaatimukset omaava puutavarapölkky. Havupuutukkien minimilatväläpimita on yleensä 15-16 cm, lehtipuutukkien 18 cm. Pituudet vaihtelevat tavallisesti 3-6 metrin välillä.

Uumalevy, Web (engl.)

I-palkin keskiosa, joka valmistetaan puisissa I-palkeissa tavallisesti OSB-levystä tai havuvanerista. Uuma voidaan valmistaa myös esim. vinotuetuista sahatavarakappaleista. Uumalevy kiinnitetään paarteisiin liimalla.

Vaneri, Plywood (engl.)

Sorvatuista tai leikatuista viiluista ristikkäin liimaamalla valmistettu levytuote.

Veneer(sheet) (engl.)

Ks. Viilu.

Viilu, Veneer(sheet) (engl.)

Järeistä havu- tai lehtipuutukeista tavallisesti sorvaamalla valmistettava yhtenäinen puumatto, jota käytetään esim. vanerin ja LVL:n valmistukseen sekä huonekalujen pinnoitukseen. Viilu voidaan tehdä myös leikkaamalla tukista tangentin suunnassa ohuita suikaleita. Leikattua viilua käytetään erikoistarkoituksiin, esim. arvokkaina sisustusmateriaaleina.

Viilupuu

Ks. LVL.

Waferboard (engl.)

OSB-levyn edeltäjä, jota ei tiettävästi enää valmisteta. Periaatteessa OSB:tä vastaava tuote, mutta waferboardin lastut ovat OSB:n lastuja lyhyempiä ja leveämpiä. Waferboardin varhaisemmissa tuoteversioissa lastut siroteltiin satunnaisesti, mutta tuotteen myöhemmässä kehitysvaiheessa lastujen suuntauksella waferboardin yhdensuuntaista lujuutta saatiin nostettua. Tämä johti OSB-levyn kehittymiseen.

Web (engl.)

Ks. Uumalevy.

Wood-based panel (engl.)

Ks. Puupohjainen levy.

Wood from final felling (engl.)

Ks. Päätehakkuupuu.

Wood from first commercial thinning (engl.)

Ks. Ensiharvennuspuu.

Rakennepuutuotteita koskevia patenteja

- 1 *Nimi* Structural members of composite wood material and process for making same
Numero US4241133
Julkaisupäivä 23.12.1980
Keksijät Adams, R.D. (USA); Lund, A.E. (USA); Kruger, G.P. (USA); Nicholas, D.D. (USA)
Kuvaus/suojaukset Lastuista valmistettu palkki. Sisältö kattaa lastujen suuntauksen (vähintään 90 % lastuista palkin pituusakselin suuntaisia), liimoituksen (org. polyisosyanaatit) ja puristuksen. Lastukoko: pituus n. 1-10 cm, pituus-leveyssuhde 4:1-10:1, paksuus 0,25-1,25 mm. Tuotetta voidaan käyttää esim. I-palkeissa.
- 2 *Nimi* Method for making structural products from long, thin, narrow, green wood strands
Numero US5067536
Julkaisupäivä 26.11.1991
Keksijät Liska, F.T. (Kanada); Liska, F.F. (Kanada)
Kuvaus/suojaukset Pitkistä lastuista valmistettu rakennepuupalkki. Lastukoko: pituus 10-120 cm (suosit. vähintään 30 cm), leveys 6,25-12,5 mm, paksuus 1,25-12,5 mm. Käyttö esim. I-, U-, T- ja L-palkkien valmistuksessa. Vaiheet: lastun valmistus, siirtäminen kuljettimilla lastujen suunta säilyttäen, lastujen kuivaus, liima-aineen (nestemäinen/jauhemainen) ja mahdollisten muiden (lahonsuoja-aineet yms.) kemikaalien sekoittaminen, maton/aihion muodostus, puristus, kuivaus.
- 3 *Nimi* Manufacture of consolidated composite wood products
Numero US5755917
Julkaisupäivä 26.05.1998
Keksijä Barnes, D. (Kanada)
Kuvaus/suojaukset Lastuista (pituus 15-30 cm) valmistettavan, levymäisen komposiittirakenteen valmistus. Liima-aine levitetään tuoreisiin lastuihin lastujen katkeilun ja vaurioitumisen minimoimiseksi. Lastujen käsittelylämpötila 20-60°C, liima-aineena polyisosyanaatit/fenoli-formaldehydi.
- 4 *Nimi* Surfaced oriented strand board
Numero US4364984
Julkaisupäivä 21.12.1982
Keksijä Wentworth, I. (USA)
Kuvaus/suojaukset Pinnoitetun OSB-levyn valmistus, levy koostuu kolmikerroksisesta ydinlevystä ja kahdesta pinnoitekuitulevystä. Sisimmän kerroksen lastusuunta on kohtisuorassa ylä- ja alakerroksen lastusuuntaan nähden. Ydinlevyn lastukoko: pituus 12-150 mm, leveys 2-20 mm, paksuus 0,2-0,6 mm. / Liimoitus, puristus ja kuivaus.

- 5 *Nimi* Flat oriented strand board-fiberboard composite structure and method of making the same
Numero US5718786
Julkaisupäivä 17.02.1998
Keksijät Lindquist, C.R. (USA); Macdonald, M.J. (USA); Clarke, J.T. (USA); Walsh, J.P. (USA); Chin, P.P.S. (USA)
Kuvaus/suojaukset Pinnoitetun OSB-levyn valmistus, levy koostuu kolmi-kerroksisesta peruslevystä ja pinnoitelevystä. Sisin kolmesta kerroksesta on hieman muita ohuempi ja koostuu mahdollisesti suuremmista lastuista. Sisimmän kerroksen lastusuunta on kohtisuorassa ylä- ja alakerroksen lastusuuntaan nähden. / Liimoitus, puristus ja kuivaus.
- 6 *Nimi* Wood board and flooring material
Numero US5554429
Julkaisupäivä 10.09.1996
Keksijät Iwata, R. (Japani); Takahashi, H. (Japani); Suzuki, S. (Japani); Endo, T. (Japani)
Kuvaus/suojaukset OSB-tyyppinen, pinnoitettu levy lattioihin yms. käyttöön. Paksuun ydinlevyyn liimattu ohuet pintalevyt. Lastukoko: pituus 40-120 mm, leveys 6-120 mm.
- 7 *Nimi* Composite wood structure
Numero US5439749
Julkaisupäivä 08.08.1995
Keksijät Klasell, T.A. (USA); Miller, L.R. (USA)
Kuvaus/suojaukset Komposiittirakenne ovi- ja ikkunavalmistukseen. Kerrosmainen rakenne, esim. massiivipuusta sorvattu pintaviilu, runko MDF-levyä tai LVL:ää.
- 8 *Nimi* Phenol formaldehyde steam pressing of waferboard
Numero US5217665
Julkaisupäivä 08.06.1993
Keksijät Lim, J.T.C. (Kanada); Chiu, S.-T. (Kanada)
Kuvaus/suojaukset Waferboard-tyyppisen levyn valmistus höyrypuristusmenetelmällä, liima-aineena fenoli-formaldehydi. Vaiheet: lastuaminen, nestemäisen liiman lisääminen, jauhemaisen liiman lisääminen, levymaton muodostaminen, puristaminen höyrypuristuksessa.
- 9 *Nimi* Waferboard lumber
Numero EP0259069
Julkaisupäivä 09.03.1988
Keksijä Barnes, D. (Kanada)
Kuvaus/suojaukset Waferboard-tyyppisen paksuhkon (esim. 50 mm) levyn valmistus. Lastujen liimoitus, suuntaus, puristus, määrämittaan leikkaaminen. Tuotteen tiheys 25-50 lb/ft³

- 10** *Nimi* Long wafer waferboard panels
Numero US4610913
Julkaisupäivä 09.09.1986
Keksijä Barnes, D. (Kanada)
Kuvaus/ Pitkistä lastuista (väh. 15 cm, suosit. 30 cm) valmistettu waferboard-
suojaukset levy (lastun leveys 7,5-50 mm). Liima-aine fenoliformaldehydi.
- 11** *Nimi* Built-up I-beam with laminated flange
Numero US6012262
Julkaisupäivä 11.01.2000
Keksijä Irving, D.C. (USA)
Kuvaus/ I-palkki, paarteet ja uumalevy OSL:ää, myös LVL-paarteet
suojaukset mahdolliset. Sormijatkettavissa. / Palkin rakenne, muotoilut, uritukset.
- 12** *Nimi* Products of converted lignocellulosic materials
Numero US4061819
Julkaisupäivä 06.12.1977
Keksijä Barnes, D. (Kanada)
Kuvaus/ Raakapuun kuiduttaminen ja kuitujen lajittelu edelleen edullisimpaan
suojaukset ja tuottoisampaan käyttöön. Pienimmät kuidut selluun/kuitulevyvalmistukseen, keskikokoiset lastu- tai OSB-levyihin, suuret kuidut rakennepuun valmistukseen. Raaka-aineeksi mainitaan käyvän mikä tahansa puumainen aines. Lastukoot tuoteryhmittäin: rakennepuu (15-120 cm), OSB-levy tai vastaava (5-15 cm), lastulevy (1,25-5 cm), kuitulevy (alle 1,25 cm), sellu (hienojakoinen sahajauho/pöly).
- 13** *Nimi* Reconsolidated wood product
Numero US4232067
Julkaisupäivä 04.11.1980
Keksijä Coleman, J.D. (Australia)
Kuvaus/ Scrimber-puupalkin valmistusmenetelmä. Rungon kuorinta,
suojaukset "murskaus" telojen välissä, liimoitus, kokonpuristus ja kuivaus.
- 14** *Nimi* Three-step process for preparation of long wood strands
Numero US4371020
Julkaisupäivä 01.02.1983
Keksijät Barnes, D. (Kanada); Churchland, M.T. (Kanada); Herndier, A.W. (Kanada); Schilling, W.W. (Kanada); Welsh, J.K. (Kanada)
Kuvaus/ Pitkien lastujen kolmivaiheinen valmistusmenetelmä. Puu pilkotaan
suojaukset aluksi sektorimaisiksi paloiksi (työntämällä läpi kehästä, jossa on sektoriterät), jotka edelleen hajotetaan pienemmiksi "listoiksi" (työntämällä sektorimainen kappale peräkkäisten viistoterien läpi) ja nämä edelleen lastuiksi (ohuet listat ajetaan telamaisten leikkuuterien välistä).

- 15** *Nimi* Method and apparatus for making vertical grain wood strands
Numero US5711358
Julkaisupäivä 27.01.1998
Keksijä Willis, B.G. (USA)
Kuvaus/ suojaukset Lastujen valmistusmenetelmä, eräänlainen viiluttaminen. Kuoritusta pölkystä halkaistaan puristavien terien avulla halutunkokoisia lastuja, jotka irrotetaan sorviterän avulla. Soveltuu parhaiten järeälle raakapuulle.
- 16** *Nimi* Wood chip strand splitter
Numero US5533684
Julkaisupäivä 09.07.1996
Keksijä Bielagus, J.B. (USA)
Kuvaus/ suojaukset Lastujen valmistusmenetelmä. Isommat puukappaleet johdetaan leikkaustelojen väliin, jolloin syntyy pienempää lastua.
- 17** *Nimi* Method and apparatus for producing engineered wood flakes, wafers or strands
Numero US4681146
Julkaisupäivä 21.07.1987
Keksijät Liska, F.F. (Kanada); Liska, F.T. (Kanada)
Kuvaus/ suojaukset Lastujen valmistusmenetelmä, jossa pölkystä sorvataan ensin viilu, joka edelleen pilkotaan pyörivän terän avulla halutunkokoisiksi lastuiksi. Soveltuu järeälle raakapuulle. Tarkoitettu ilmeisesti PSL:n valmistukseen.
- 18** *Nimi* Method and apparatus for sorting elongate articles
Numero US4546886
Julkaisupäivä 15.10.1985
Keksijät Churchland, M.T. (Kanada); Schilling, W.W. (Kanada)
Kuvaus/ suojaukset Lastujen pituuslajittelumenetelmä. Kaksi kuljetinta on asetettu peräkkäin niin, että pitkät lastut jatkavat kulkuaan toiselle kuljettimelle ja lyhyet putoavat kuljetinten välistä pois. Kuljettimien päissä puristavat rullat, joiden välistä lastut kulkeutuvat.
- 19** *Nimi* Short strand orienter
Numero US5487460
Julkaisupäivä 30.01.1996
Keksijä Barnes, D. (Kanada)
Kuvaus/ suojaukset Lyhyiden lastujen suuntaamismenetelmä. Lastut syötetään kuljettimella kolmitasoiseen levypyöräsuuntaajaan, josta lastut putoavat edelleen suunnattuina kuljettimelle.

- 20** *Nimi* System for oriented strand layup
Numero WO9201541
Julkaisupäivä 06.02.1992
Keksijät Parker, D.J. (Kanada); Churchland, M.T. (Kanada); Schilling, W.W. (Kanada); Komori, L.J. (USA); Pearson, M.T. (Kanada)
Kuvaus/sojaukset OSB-levymaton muodostamismenetelmä. Useista suuntaajista ja kuljettimista koostuva menetelmä. Muodostaa levymaton, jossa on lastusuunnaltaan toisiinsa nähden kohtisuorassa olevia lastukerroksia.
- 21** *Nimi* Method for pressing a composite assembly
Numero US4517148
Julkaisupäivä 14.05.1985
Keksijä Churchland, M.T. (Kanada)
Kuvaus/sojaukset Puulasturakenteen (esim. OSB-levy) puristusmenetelmä, ns. hihnavulkanointipuristin. Muodostettu levymatto (liimoitetut, suunnatut lastut) johdetaan kuljettimen avulla jatkuvatoimiseen hihnapuristimeen. Tuloksena levy, joka kuljetetaan edelleen kuivaukseen (esim. mikroaaltokuivaus).
- 22** *Nimi* Wood composite forming and curing system
Numero WO9201540
Julkaisupäivä 06.02.1992
Keksijät Parker, D.J. (Kanada); Churchland, M.T. (Kanada); Pearson, M.T. (Kanada); Schilling, W.W. (Kanada); Watson, K.C. (Kanada); Barr, J.D. (Kanada); Jonas, J.L. (Kanada)
Kuvaus/sojaukset Puukomposiittirakenteen muodostus-, puristus- ja kuivausmenetelmä. Vaiheet: maton muodostus (liimoitus, suuntaus), esimittaus, yhdistetty puristus ja liiman mikroaaltokuivaus, jälkimittaus.

ISBN 951-40-1877-X
ISSN 0358-4283