



Universitatea *Transilvania* din Braşov

TEZĂ DE ABILITARE

**Dezvoltarea materialelor compozite din lemn
și alte resurse ligno-celulozice**

Domeniul: Inginerie forestieră

**Prof.univ.dr.ing.dr. BARBU Marius Cătălin
Universitatea Transilvania din Braşov
Facultatea de Ingineria Lemnului**

Braşov, 2017

CUPRINS

(A) SUMMARY	.....3
<u>(B) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI</u>	
(B-i) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE	
INTRODUCERE	.....5
(B-i1) Direcția de cercetare 1: COMPOZITE DIN MATERIALE LIGNO-CELULOZICE	
1.1 GENERALITĂȚI DESPRE MATERIALELE COMPOZITE	.....8
1.2 MATERIALE COMPOZITE DIN LEMN	11
1.2.1 Lemnul - material compozit natural	11
1.2.2 Generalități și clasificarea materialelor compozite din lemn	14
1.3 STRUCTURI COMPOZITE LIGNO-CELULOZICE	.....21
1.3.1 Deșeuri ligno-celulozice reciclabile	.....21
1.3.1.1 Lemn din „pădurile urbane”	.....21
1.3.1.2 Reciclarea plăcilor din construcții și mobilier	.....23
1.3.2 Resurse vegetale ligno-celulozice	.....24
1.3.2.1 Plante fibroase	.....26
1.3.2.2 Plante perene	.....30
1.3.2.3 Plante agricole	.....36
1.3.2.4 Coaja arborilor	.....43
(B-i2) Direcția de cercetare 2: STRUCTURI COMPOZITE CU GREUTATE REDUSĂ	
2.1 PLĂCI UȘOARE PENTRU MOBILĂ	.....65
2.2 PLĂCI CU MIEZ DIN SPUMĂ EXPANDATĂ ÎN SITU	.....71
2.3 PLĂCI UȘOARE CU MIEZ DIN CHERESTEȘTEA ȘI GEOMETRIE PROIECTATĂ	.....74
2.4 SOLUȚII UȘOARE PENTRU APLICAȚII STRUCTURALE	.....76
2.5 DEZVOLTĂRI VIITOARE ȘI PERSPECTIVE	.....78
(B-i3) Direcția de cercetare 3: TEHNOLOGII MODERNE ȘI IMPLEMENTARE INDUSTRIALĂ	
3.1 PLĂCI DIN FIBRE DE LEMN CA MIEZ PENTRU HÂRTIA STRATIFICATĂ DENSIFICATĂ	.....79
3.2 OPTIMIZAREA SORTĂRII AUTOMATE NEDISTRUCTIVE A CHERESTEȘTEI PENTRU GLT	.....80
3.3 TĂIEREA PLANĂ A CHERESTEȘTEI PENTRU PRODUCEREA LAMELELOR	.....82
3.4 MACROÎMBINAREA ÎN DINȚI A PLĂCILOR AUTOPORTANTE CLT	.....83
3.5 FABRICAREA OSB DIN SPECII LEMNOASE SUBUTILIZATE	.....84
3.6 IMPLEMENTAREA PRESELOR CONTINUE CU ZONĂ DE RĂCIRE ȘI PREÎNCĂLZIRE LA MDF.....85	
3.7 OPTIMIZAREA EPURĂRII APELOR REZIDUALE ȘI FILTRĂRII AERULUI UZAT DE LA MDF	.....87
(B-ii) PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI	
1 EXPERIENȚA PROFESIONALĂ ȘI DIDACTICĂ	.....89
2 EXPERIENȚA ÎN ACTIVITATEA DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ	.....92
3 PLANURI DE DEZVOLTARE A ACTIVITĂȚII DIDACTICE	.....95
4 PLANURI DE DEZVOLTARE A ACTIVITĂȚII DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ	.....96
(B-iii) BIBLIOGRAFIE	

(A) SUMMARY

The habilitation thesis "Development of wood and lignocellulosic based composites" presents the author's contributions in the fields of theoretical, experimental and industrial research or implementation in production processes; conducted after graduating two doctoral studies in 1996 (Braşov) and the 1997 (Vienna). The thesis is structured in three parts: scientific and professional achievements (B-i), career development plans (B-ii), and references (B-iii). Chapter B-i contains three distinct topics that are the most important aspects of the author's research, conducted from 2002 to 2016. Chapter B-ii includes the evolution of professional experience, teaching and research, also the development plans of the activities in these areas.

This habilitation thesis contains some of the research conducted by the author during his activity within Transilvania University of Brasov (UTBv), but also at the University of Natural Resources and Life Sciences (Boku) Vienna, Ludwig Maximilian University (LMU) Munich, Leopold Franzen University Innsbruck (UIbk), Holzforschung Austria (HFA) Vienna, Technical University Graz (TUG), Salzburg University of Applied Sciences (FHS), Hamburg University (UHH) and Technical University in Munich (TUM).

The research activity is presented in three main directions (B-i):

- 1 - development of wood and other lignocellulosic based composites, including issues related to technology, testing and identification of new uses (B-i1);
- 2 - optimization of lightweight composites using low densities core and adaptation of these innovations in the state of the art applications (B-i2); and
- 3 - development and optimization of manufacturing technologies and implementation of prototype equipment for reducing consumption and ecological footprints (B-i3).

The first main direction of research (B-i1) includes composite materials made under author's supervision from lignocellulosic plant fibres (e.g. flax, coconut shell nuts etc.), perennials (e.g. bamboo, date palm, coconut tree wood etc.), agriculture residues (e.g. corn, sugar cane etc.) and from tree bark. Research with flax fiber resulted in the reinforcement of particleboard, coconut fiber for high pressure laminates (HPL), a partial replacement for phenol-formaldehyde (PF) resin made of coconut shells, multi-layered solid wood panels (SWP) from coconut tree wood with decorative but also structural function for cross laminated timber (CLT), oriented strands lumber (OSL) made of bamboo stripes, thermal insulation materials from straw fibres, etc. Research on tree bark resulted in the prototype densified thin decorative layers, blocks for (euro)pallets, insulation boards with oriented particle structure, glued with formaldehyde-based resins, but also with tannins. A patent for "Heat insulation boards made of tree bark" was obtained in Austria (AT512707A1 / 10.15.2013); two doctoral theses were completed and several articles were published in ISI indexed journals.

The second research direction (B-i2) included innovation with lightweight boards, with a primary emphasis in furniture construction. The author coordinated research teams that have developed, for example, a technology for boards with foam core expandable in situ; another one focussed on the core layers with a predefined geometry and the optimization of existing technologies for panels with honeycomb cores, and also included controlled reduced density of classic solid wood boards (SWB), plywood (PY), particleboard (PB), fibreboard (MDF) etc. Thus resulted an European patent "Lightweight wood-based board and process for producing it" (EP63424/06.12.2007) issued for Australia (2007332593/12.05.2013) Canada (CA2672169A1/19.06.2008), China (200 780 051 220), CIS (015 211/30.06.2011), Indonesia (IDP0033156/01.03.2013), Japan (JP2002338373A), New Zealand (NZ578195/28.02.2012), USA (US2010/0098933A1/22.04.2010), two co-supervised doctoral theses were completed and several articles were published papers in ISI/BDI indexed journals. Other boards with core lamellae arranged in a predefined network variable geometry with hollows are patent pending.

The third research direction (B-i3) included in this habilitation thesis deals with the optimization of technological processes for the production of wood based composites and especially with the analysis of production processes in order to optimize the parameters and product performance, implementation of prototypes in already existing production technologies, mitigating the impact of technology of wood industry on the environment (water, air), developing and implementing non-destructive techniques (NDT) to online quality control processes. Most of these projects involved industrial partners and thus were confidential, so the results have been partially published or completely after a specified period of time,

only by mutual consent. Another European patent (EP1185587B1/19.02.2003), titled, "Wood-fibre semi-finished product and method for producing the same" was developed. Manufacturing of lamellae from timber by slicing, using band saws with thin blades, non-destructive grading of lamellae using X-ray technology, ultrasounds and microwave and achieving the first finger joint for CLT boards were innovative technologies that were successfully implemented in production; and now are considered state-of-the-art in the timber industry.

Chapter B-ii presents the progress and career development plans from the professional, scientific and academic point of view. Professional and teaching experience includes many foreign universities where the author was involved as visiting professor. The courses taught in multiple languages at these higher education institutions are cataloged in tables. Also mentioned are the graduation works coordinated by the author and the international collaboration during the last 15 years of activity. Scientific research experience is reflected by the number and type of international projects in which the author was established as a manager or expert. This section also includes doctoral supervision held at higher education institutions in Europe; and the organizing, management and moderation at national and international scientific events. Career development plans are focused on maintaining and developing collaboration agreements with universities in Europe, Asia, North and South America, Africa. This includes further supporting the Faculty of Wood Engineering in Braşov by supervising doctoral theses, organizing training courses for specialists from Romania and other countries, and strengthening Faculty for Wood Engineering's relations with the socio-economic environment.

(B-i) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE

INTRODUCERE

Prin această lucrare se prezintă și dezvoltă un concept nou de analiză și valorificare superioară a resurselor ligno-celulozice, cu scopul de a obține materiale compozite cu proprietăți performante predefinite, ușor și complet reciclabile. În această secțiune sunt prezentate realizările științifice ale autorului după finalizarea primei teze de doctorat (1995), intitulată „Structuri compozite optimizate din lemn și alte materiale” și susținută la Universitatea Transilvania din Brașov (UTBv) și celei de-a doua teze de doctorat (1997), cu titlul „Verfahrenstechnische Optimierung des Material- und Maschineneinsatzes bei der Herstellung von MDF-Leichtplatten” (Optimizarea consumului de material și a procesului tehnologic de fabricare a plăcilor MDF cu greutate redusă), finalizată la Universität für Bodenkultur (Boku), Viena. Centrele universitare în care a avut loc activitatea didactică și de cercetare a autorului după 1995 sunt UTBv, dar mai ales la Boku Viena (1995-2000, 2002-2011), LMU München (2002-2003), Fachhochschule Rosenheim (FHRo) (2001-2003, 2007), Leopold Franzen Universität Innsbruck (Uibk) (2002-2007), Holzforschung Austria Wien (HFA) (2002-2006), Technische Universität Graz (TUG) (2002-2003), Fachhochschule Salzburg (FHS) (2002-2003, 2005, 2008-2016), Universität Hamburg (UHH) (2006-2011), Universidade Federal do Parana (UFP) Curitiba (2008-2010), Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) (2008), Walailak University Nakon Si Thammarat (2009, 2011), Technische Universität München (TUM) (2013-2016), Fachhochschule Rottenburg (FHRb) (2013), Karadeniz University Trabzon (KTÜ) (2011, 2014), University of Tennessee (UT) Knoxville (2014-2016), University of Stellenbosch (US) (2011, 2014-2016), Shizuoka University (SU) (2010, 2012, 2014-2016) etc.

Prima teză de doctorat a fost elaborată între anii 1992-1995 la Institut für Holzforschung (Boku) Viena (cu bursa ÖAAD) și Institut für Holzforschung (LMU) München (cu bursa DAAD) sub coordonarea științifică a prof.univ.dr.ing. Alexandru Mitișor (UTBv), dar și cu sprijinul prof.univ.dr. Helmuth Resch (Boku), prof.univ.dr.drs.h.c. Gerd Wegener (LMU) și a regretatului prof.univ.dr.ing. drs.h.c. Ioan Curtu. Autorului i s-a acordat de către UTBv titlul științific de doctor inginer în domeniul fundamental științe inginerești, conform diplomei seria N nr.000463 din 12.02.1996 (Brașov). Într-o primă etapă rezultatele cercetărilor acumulate în acest domeniu au fost prezentate de autor în prima sa carte de specialitate „Materiale compozite din lemn” (240 pag.) [Barbu, 1999], în capitolul „Materia primă ligno-celulozică” (32 pag.) din cea de a doua sa carte [Barbu, 2002], urmată de numeroase lucrări prezentate la conferințe internaționale, publicații în revistele de specialitate din străinătate și teze de doctorat conduse și finalizate cu succes de proprii doctoranzi la UHH [Malanit, 2009] și la TUM [Kain, 2016], precum și lucrări de diplomă, de disertație și de licență îndrumate de autor la UHH, FHS, KTÜ, UT etc. În ultimii ani autorul a fost invitat să publice capitole în domeniul materialelor compozite ligno-celulozice în edituri prestigioase din străinătate: IGI Global - Engineering Science Reference – Hershey, „Lignocellulosic Composites” (38 pag.) [Barbu et al., 2014c] și subcapitolele „Andere zellulosehaltige Pflanzen” (15 pag.) și „Zellulosehaltige Verbundwerkstoffe” (33 pag.) din „Holzwerkstoffe der Moderne” DRW-Verlag [Paulitsch&Barbu, 2015]. A doua teză a fost elaborată între anii 1994-1997 la Boku (Viena) cu bursa ÖAAD-Viena „Bertha von Suttner” pentru studii doctorale, în colaborare cu firmele Leitgeb (Kühnsdorf), ulterior Funder Industrie (St.Veit/Glan), sub coordonarea științifică a prof.univ.dr. Helmuth Resch (Boku), dar și cu sprijinul Dr.habil. Manfred Dunky (Krems Chemie), în cadrul proiectelor de cercetare finanțate de fondul (austriac de stat) pentru subvenția cercetării (Forschungsförderungsfond, FFF) „Optimum: MDF-Leichtplatte mit vermindertem Materialaufwand” (FFF10905 - Partea 1: 1995-1996 și FFF11732 - Partea 2: 1996-1997). Autorului i s-a acordat titlul științific de doctor în științe naturale tehnice (doctor rerum naturalium technicarum) conform diplomei eliberate de Boku la 27.06.1997 (Viena). Aceste cercetări au fost continuate și dezvoltate în următorii ani pe parcursul unui stagi postdoctoral la Boku prin proiectele de cercetare finanțate de FFF (devenit ulterior Forschungsförderungsgesellschaft, FFG) „Compact-Entwicklung von Schichtstoffplatten mit Holzfaserkernlagen” (FFF13057 - Partea 1: 1997-1998 și FFG800798 - Partea 2: 1998-1999) în cooperare cu firma Funder Industrie (Kühnsdorf și St.Veit/Glan) pe care autorul le-a documentat, derulat și finalizat în întregime sub forma patentului european EP1185587 B1/19.02.2003 „Wood-fibre semi-finished product and method for producing the same” (Semifabricat din fibre de lemn și metoda de producere) [Barbu et al., 2003]. Într-o altă etapă rezultatele acestor cercetări

au fost sintetizate de autor în a doua sa carte de specialitate „MDF - plăci din fibre de lemn. Bazele producției” (240 pag.) [Barbu, 2002], urmată de mai multe lucrări prezentate la conferințe internaționale, publicații în revistele de specialitate din străinătate și tezele de doctorat conduse și finalizate de doctoranzii acestuia la UHH [Hengniran, 2010; Akrami, 2014] și în co-tutela la Mendel University (MendelU) Brno [Klimek, 2016], precum și lucrări de diplomă, de disertație și de licență, îndrumate de autor la UTBv, UHH, FHS, FHRo, US etc. În domeniul tehnologiilor materialelor compozite din lemn autorul a publicat în Brunel University Press – Londra „Wood-based Panel Technology” (94 pag.) [Irle&Barbu, 2010], CRC Press Taylor & Francis Group - Boca Raton „Wood Composites” (92 pag.) [Irle, Barbu et al., 2013], IGI Global - Engineering Science Reference - Hershey „Wood-based Composites” (45 pag.) [Barbu et al., 2014a] și „Holzwerkstoffe der Moderne” DRW-Verlag - Leinfelden-Echterdingen „Herstellung von Holzwerkstoffen”(519 pag.) [Paulitsch&Barbu, 2015].

Pentru această teză de abilitare, autorul a luat în considerare activitatea de cercetare, care s-a desfășurat numai din anul 2002 până în prezent, în special în proiecte de cooperare între instituțiile de învățământ superior, amintite deja din Austria (Boku, FHS, HFA, TUG, Ulbk), Germania (FHRo, LMU, TUM, UHH), împreună cu industria de prelucrare a lemnului din aceste țări, în special cu Franz Binder (cu numele actual Binderholz) și MDF-Hallein (închisă în 2014) și peste 20 de firme mici și mijlocii din aceste regiuni. Este de precizat că, din cauza gradului ridicat de confidențialitate al proiectelor de cercetare științifică derulate cu partenerii industriali mai sus amintiți, publicarea completă rezultatelor în revistele de specialitate nu a fost posibilă.

De asemenea s-au obținut alte două patente de invenții unul în (Austria AT512707A1/15.10.2013) „Dämmplatten aus Baumrinden” (Plăci izolante din coajă)[Kain, Barbu et al., 2013] și un altul european „Lightweight wood-based board and process for producing it” (Plăci ușoare pe bază de lemn și metoda de producere) (EP63424/06.12.2007)[Thömen et al., 2012], recunoscut și în Australia (2007332593/05.12.2013) [Thömen et al., 2013], Canada (CA2672169A1/19.06.2008) [Lüdtke et al., 2008], China (200780051220), CIS (015211/30.06.2011), Indonezia (IDP0033156/01.03.2013) [Lüdtke et al., 2013], Japonia (JP2002338373A), Noua Zeelandă (NZ578195/28.02.2012) [Barbu et al., 2012], SUA (US2010/0098933A/22.04.2010)[Lüdtke et al., 2010] etc.

Autorul a colaborat în aceeași perioadă și cu alte instituții de profil în cercetare și din afara Europei prin inițierea și conducerea de seminarii de instruire a specialiștilor cu studii superioare din industria lemnului în Stellenbosch (Africa de Sud), Curitiba (Brazilia), Pereira (Columbia), Shizuoka (Japonia), Knoxville (SUA), Nakon Si Thammarat (Thailanda), Trabzon (Turcia).

Temele de cercetare au avut ca bază experiența acumulată de autor prin tezele de doctorat, stagiul postdoctoral, practica didactică și expertiza acumulată timp de două decenii. Acestea s-au redat grupat în această teză pe trei mari direcții:

1 – proiectarea materialelor compozite din lemn și/sau din alte resurse ligno-celulozice, în care sunt analizate aspecte legate de pregătirea materiei prime, materiale și echipamente, determinarea performanțelor și identificarea de noi utilizări (B-i1);

2 – optimizarea structurilor compozite cu greutate redusă, prin folosirea unor resurse forestiere subutilizate în contextul introducerii acestora în tehnologiile actuale și identificarea unor noi direcții de valorificare superioară (B-i2) și

3 – dezvoltarea și optimizarea tehnologiilor de fabricație, implementarea unor utilaje-prototip în vederea valorificării superioare a resurselor forestiere prin reducerea consumurilor și impactului asupra mediului în contextul unei productivității ridicate (B-i3).

În prima parte a tezei de abilitare (B-i) autorul prezintă realizările obținute în perioada 2002-2016 pe aceste trei direcții principale de activitate de cercetare, dar și contribuția personală adusă (B-ii), alături de alți colegi din instituțiile din țară și din străinătate amintite, la dezvoltarea cooperării între institutele de învățământ superior și cercetare în domeniul compozitelor din lemn și alte materiale ligno-celulozice, atât în UE, dar și în afara acesteia. Schimbul de experiență și dezvoltarea profesională s-au realizat prin proiecte COST, DAAD, Erasmus, Fulbright, Marshal Plan, ÖAAD; burse pentru finalizarea studiilor master și doctorale, short scientific mission, teaching mobilities, training courses, expertiză pentru proiecte europene, arbitraje internaționale, moderări ale ședințelor de lucru ale asociațiilor profesionale de specialitate din străinătate, conduceri de grupuri de lucru în organizații europene și mondiale: COST E49 - WG1, DIN NA 042-04-03 AA, FAO, HVÖ, IUFRO - RG 5.04 și 5.05, lucrări de deschidere la conferințe și

paneluri de specialitate, recenzii de articole în reviste de specialitate etc., toate acestea desfășurate sub egida Facultății de Ingineria Lemnului (FIL) din cadrul UTBv.

În această perioadă, prin activitatea didactică și de cercetare desfășurată de autor, s-au finalizat 5 capitole în cărți de specialitate din edituri străine prestigioase, o carte de specialitate în limba germană, volumele a 6 conferințe internaționale, 2 patente de invenții europene (din care unul și în afara UE), 1 patent de invenție austriac, peste 70 de lucrări publicate în reviste de specialitate internaționale (peste 15 sunt indexate ISI, cca. 10 sunt indexate în diferite baze de date recunoscute), peste 40 de lucrări publicate în reviste de specialitate naționale, 115 de lucrări prezentate și publicate în volumele/proceedingurile unor conferințe internaționale (deseori ca moderator al sesiunilor științifice și uneori keynote speaker), peste 40 proiecte de cercetare cu participare ca expert sau conduse (inclusiv finanțarea) în Austria și Germania, peste 40 lucrări de diplomă (FHS, FHRo, UTBv, UHH), peste 35 lucrări de licență (bachelor) (FHS, UHH), peste 30 lucrări de disertație (master) (FHS, UHH), 3 conduceri doctorat finalizate (UHH), 2 cotutele doctorat finalizate (TUM, MendelU), 2 cotutele doctorat în curs (Sopron, Zvolen), peste 15 participări ca membru în comisii de doctorat (Brno, Hamburg, Kalmar, München, Nantes) și 2 participări la comisii de abilitare în străinătate (Viena, 2002 și Innsbruck 2016) și vizitat peste 50 de instituții de învățământ superior și de cercetare din Europa și din lume.

(B-i1) Direcția de cercetare 1: COMPOZITE DIN MATERIALE LIGNO-CELULOZICE

1.1 GENERALITĂȚI DESPRE MATERIALELE COMPOZITE¹

Autorul introducea, în anul 1999, după susținerea primei teze de doctorat în 1995 [Barbu, 1996], ca o premieră națională în literatura de specialitate, materialele compozite moderne pe bază de lemn, o categorie de produse noi, cu importanță deosebită din punct de vedere tehnic și economic. Caracteristicile acestora le pot depăși, de multe ori, pe cele ale componentelor tradiționale, luate individual. Unul din avantajele importante ale materialelor compozite constă în faptul că anumite proprietăți se pot obține în mod controlat, după un procedeu planificat și proiectat. În cărțile sale se preciza că în legătură cu materialele compozite este potrivită uneori folosirea noțiunii de sinergie, care desemnează rezultatul obținut prin asocierea și dozarea convenabilă a caracteristicilor unor componente. În acest caz deficiențele unora vor fi substituite de calitățile altora, conferind ansamblului proprietăți noi pe care niciun component inițial nu le are [Barbu, 1999; Barbu, 2002].

De regulă, structura materialelor compozite este modelabilă și se realizează din două componente de bază: matricea și elementele de inserție care, după unii autori [Schniewind et al., 1989; Ashby, 1999], se mai numesc și materiale complementare. Matricea constituie materialul suport cu caracteristici fizico-mecanice reduse sau medii. Inserția poate fi constituită din particule, fibre, pulberi, foi, folii etc. Matricea reunește materialele de inserție într-un corp continuu, le suportă și protejează, transferă tensiunile și redistribuie eforturile. Din matrice face parte și stratul de material care acoperă eventual elementele de inserție, în vederea stabilirii unei bune legături ale acestora cu matricea. Matricea în ansamblul ei are o greutate specifică redusă și rezistențe mecanice inferioare inserțiilor. În tehnologiile actuale se folosesc numeroase tipuri de matrice de natură organică, metalică, ceramică ș.a. [Barbu, 1999; Barbu, 2002].

Elementele de inserție (materialele complementare) sunt utilizate pentru inducerea unor proprietăți speciale materialului compozit sau în scopul ranforsării matricei și diferă între ele prin natura chimică și configurație. După configurație, elementele de inserție se împart în două mari categorii: fibre și particule, la rândul lor, fiecare categorie incluzând numeroase alte tipuri, diferențiate după mărime, raportul lungime-diametru și compoziția chimică pe secțiunea transversală.

Particulele, comparativ cu fibrele, sunt mai ușor de realizat și de înglobat în materialul matricei. În schimb, fibrele sunt de preferat dacă se urmărește obținerea unui compozit cu rezistențe mecanice mărite [Ștefănescu et al., 1996; Barbu, 1999].

Fibrele se obțin, de regulă, din substanțe chimice organice (naturale sau sintetice), metale, produse ceramice sau asocieri de materiale de forme și dimensiuni diferite, în funcție de natura matricei și scopul urmărit. După structură, fibrele pot fi policristaline, monocristaline sau amorfe, iar după raportul dintre lungime și diametre, fibrele pot fi continue ($l/d > 1000$), discontinue lungi ($l/d = 300 \dots 1000$), scurte ($l/d = 100 \dots 300$) și foarte scurte ($d < 1$ mm). Clasificarea fibrelor folosite la fabricarea materialelor compozite este, la rândul ei, complexă pornind de la formă, caracteristici specifice ale materialului (de exemplu modulul de elasticitate specific sau temperatura de topire). Fibrele sunt, în general, mult mai rezistente la tracțiune datorită structurii interne a acestora. În structura materialelor compozite moderne se utilizează, pe scară largă, fibrele de aramidă, carbon, sticlă, bor etc. dar și din fibre naturale ca in, cânepă, rami, sisal etc., fapt ce le conferă acestora valori superioare ale unor rezistențe mecanice [Barbu, 1999; Barbu 2002].

Din datele experimentale prezentate în tabelul 1.1.1 s-a ajuns la concluzia că fibrele de lemn au unele rezistențe mecanice comparabile cu cele de sticlă, carbon și titan. Fibrele de lemn sunt foarte elastice în comparație cu alte tipuri de fibre utilizate în structura materialelor compozite. Eficiența unei fibre, în raport cu greutatea ei, poate fi caracterizată de rezistența, cât și de elasticitatea specifică (tab.1.1.1). Fibrele și/sau particulele pot fi legate fizic, chimic sau mecanic într-o structură orientată uni-, bi- sau tridimensional, formând un element structural nou al materialelor compozite, numit lamină. Modul de

¹ Autorul a continuat cercetările privind optimizarea materialelor compozite ligno-ceulozice și după finalizarea primei teze de doctorat [Barbu, 1996] în colectivul UTBv format din Prof.univ.mult.drs.h.c.dr.ing. Ioan Curtu, Prof.univ.dr.ing. Alexandru Popa, Prof.univ.abil.dr.ing. Călin Roșca, Dr.ing. Romeo Crișan și a prezentat în perioada 1996-1999 peste 15 lucrări la conferințe naționale și internaționale și s-au generat mai multe teze de doctorat.

dispunere a fibrelor în lamină, determină așa numitele rețele cu o diversitate mare de forme și configurații: plane și spațiale, bi- și tridirecționale. Performanțele laminei sunt direct dependente de caracteristicile fizicomecanice ale fibrelor. Modul de aranjare a fibrelor în lamină, respectiv uni-, bi- sau multidirecțional influențează direct rezistența compozitului. Mai multe lamine suprapuse cu diverse orientări formează o structură complexă denumită laminat. Materialele compozite care au incluse inserții sub forma unor lamine cu diferite orientări, poartă denumirea de structuri armate sau ranforsate [Barbu, 1999].

Tabelul 1.1.1: Comparație între caracteristicile mecanice ale unor fibre [Barbu, 1999; Barbu, 2002]

Tip fibră	Diametrul [μm]	Greutatea specifică [kN/m^3]	Rezistența la întindere [GPa]	Rezistența specifică [km]	Modul de elasticitate E [GPa]	Elasticitatea specifică [Mm]
Aluminiu	5	26,3	0,6	24	73	2,8
Titan	-	46,1	1,9	41	115	2,5
Oțel	12,7	76,6	4,1	54	207	2,7
E-Sticlă	5-15	25,0	3,4	136	72	2,9
S-Sticlă	5-15	24,4	4,8	197	86	3,5
Carbon	-	13,8	1,7	123	190	14
Beriliu	125	18,2	1,7	93	300	16
Bor	<125	25,2	3,4	137	400	16
Grafit	5-10	13,8	1,7	123	250	18
Kevlar	-	14,2	2,7	190	130	9
Lemn	-	12,0	0,6-1,2	50-100	30-50	4,2

Cunoscând principalele elemente ale structurii materialelor compozite: fibre, lamine și matrice, se pot determina diferite relații între proporția acestora și caracteristicile produsului compozit. Pentru ca materialele compozite stratificate să poată fi mai bine definite, trebuie cunoscute câteva mărimi fizice, caracteristice structurii, care permit stabilirea compoziției, conținutului de fibre, inserții, lamine și matrice din masa noului produs. Principalele caracteristici fizice ale materialelor compozite sunt: masa și volumul relativ al fibrelor; masa și volumul relativ al matricei; densitatea materialelor compozite și grosimea stratului de fibre. Caracteristicile de elasticitate și de rezistență ale materialelor compozite sunt: modulul de elasticitate longitudinal; modulul de elasticitate transversal; coeficienții lui Poisson ai interacțiunii transversale și tensiunea de rupere. Materialele compozite au o comportare intermediară între cea a fibrelor și a matricei [Barbu, 1999].

Utilizarea noilor materiale performante de tipul materialelor compozite, în componența diverselor produse ale industriei aerospațiale, construcții, mobilier, mijloace de transport, ambalaje etc., a cunoscut o perioadă de dezvoltare fără precedent.

Scopul realizării acestor produse este obținerea de materiale cu structură predefinită și astfel de a pune în evidență performanțele produsului compozit. Economia de resurse, materii prime și energie, impune realizarea unor structuri cât mai ușoare, dar capabile să reziste anumitor solicitări, o perioadă îndelungată de timp. Soluția optimă a proiectării este aceea care conduce la cea mai bună alegere a valorilor variabilelor, în condițiile îndeplinirii tuturor restricțiilor impuse [Barbu, 1999].

Proprietățile materialelor compozite sunt determinate de:

- tipul și natura materialelor ce alcătuiesc matricea și elementele complementare;
- forma structurii;
- tipul legăturilor dintre matrice și elementele constitutive (fizice, mecanice, chimice);
- proporția volumetrică și gravimetrică între elementele constitutive;
- compatibilitatea mecanică, fizică și chimică între matrice și materialele complementare;
- procesul de fabricație;
- condițiile de solicitare în exploatare;
- agresivitatea mediului de exploatare etc.

Materialelor compozite le sunt specifice unele proprietăți de importanță deosebită, care le detașează net de materialele clasice sau chiar de proprietățile materialelor ce fac parte din componența acestor structuri. Cele mai importante proprietăți ale materialelor compozite sunt:

- caracteristici mecanice superioare (rezistențe, rigiditate, duritate, oboseală, uzură, șoc);

- conductivitate termică și electrică specifice;
- stabilitate dimensională ridicată la variația temperaturii, umidității și presiunii;
- densitate relativ redusă;
- prelucrabilitate ușoară;
- izolare fonică sporită;
- rezistențe mărite la temperaturi extreme (ridicate sau joase);
- difuzabilitate mare;
- rezistență ridicată la degradare chimică, fizică și biologică;
- rezistențe la radiații;
- proprietăți ecologice superioare;
- durată prelungită de viață;
- rezistență la șocul mecanic, termic, acusticitate;
- varietate nelimitată de forme și design;
- proiectare rapidă și ușoară a celor mai variate tipuri de structuri;
- recondiționare, re folosire și reciclare în condiții economice avantajoase;
- utilizare diversificată și specializată ș.a.

Domeniile de utilizare a materialelor compozite sunt deosebit de diversificate. Astfel, în prezent nu există sector industrial în care materialele compozite să nu-și găsească utilitatea, grație calităților deosebite ale acestora. Gradul lor de folosire este în strânsă legătură cu limitele performanțelor materialelor tradiționale, costul și disponibilitatea acestora.

În mod special, materialele compozite ranforsate cu fibre într-o multitudine de variante au invadat toate domeniile activității productive, înlocuind într-o proporție însemnată unele categorii de materiale clasice cum ar fi: lemnul, sticla, metalele, masele plastice etc.

Tabelul 1.1.2: Domeniile de utilizare a materialelor compozite din polimeri [Ștefănescu et al., 1996]

Domeniul	Aplicații
Industria aeronautică	Panouri fuzelaj, profiluri aerodinamice, arbori pt. rotoarele elicopterelor, carcase de motoare sau pompe, pale elice, lonjeroane, elemente pt. placarea aripilor, antene, piese de fixare și orientarea trenului de aterizare, elemente structuri interioare ale avioanelor
Tehnica spațială	Izolatoare termice, conducte sub presiune, rezervoare combustibil, piese rezistente la radiații cosmice, antene, piese componente laboratoare și vehicule cosmice
Industria chimică	Recipiente sub presiune, containere, elemente pentru placări anticorozive, exhaustoare, bazine, hote, coșuri de fum, turnuri de răcire, aparate cu utilizare în mediu coroziv, conducte
Agricultură	Panouri transparente și termoizolante, silozuri, ambalaje, piese mașini agricole, sisteme de irigație, rezervoare etc.
Industria alimentară	Camere și vitrine frigorifice, recipiente de dimensiuni mari, elemente etanșare rezistente la acțiunea microorganismelor, insectelor și animalelor, coșuri, cutii, structuri interioare igienice etc.
Construcții automobile	Rezervoare combustibil, pale ventilator, caroserii, carcase, scaune, pardoseli, apărătoare, panouri decorative, bord, radiatoare, uși etc.
Articole sportive	Ambarcațiuni, schiuri, căști protecție, pereți, balustrade, filtre, apărătoare, aparate gimnastică, articole de pescuit etc.
Industria optică	Carcase, rame, suporturi, piese aparate foto, proiectoare ș.a.
Transporturi și telecomunicații	Cisterne, piese pt. vagoane de marfă și călători, elemente mobilier mijloace de transport călători, piese pt. izolare termică și electrică, componente pt. ambarcațiuni, placare elemente metalice, antene satelit, carcase etc.
Electronică și electrotehnică	Suporturi circuite, întrerupătoare, angrenaje, carcase, izolatoare înaltă tensiune, comutatoare, platforme, cabine, corpuri de iluminat, cutii aparate, protecții diverse etc.
Industria mobilei	Elemente în componența dulapurilor, fotoliilor, scaunelor, paturilor, bibliotecilor, vitrinelor, birourilor, ornamentelor etc.
Construcții diverse	Panouri termoizolante, pereți, rame, tavane, conducte, cofraje, fațade, ornamente, storuri, lambriuri, acoperișuri, căzi baie, lavoare, obiecte igienico-sanitare etc.

Materialele compozite pe bază de polimeri sunt practic prezente în toate ramurile de vârf ale tehnicii sau în industriile tradiționale. Domeniile de utilizare a acestor tipuri de materiale compozite sunt prezentate centralizat în tabelul 1.1.2.

Un alt exemplu concludent de utilizare a materialelor compozite este sectorul articolelor sportive. Caracteristicile fizico-chimice ce se impun în acest caz unor produse cum ar fi schiurile, rachetele de tenis, croșele de hochei, unele ambarcațiuni, aparatele de gimnastică, arcurile, prăjinile de sărit ș.a. sunt pe deplin determinate de materialele compozite care pot simplifica tehnologiile particulare specifice acestor articole sportive. Unele caracteristici specifice acestor produse, cum ar fi:

- greutate redusă, dar rigiditate superioară, comparabilă cu cea a metalelor sau a lemnului, suficientă pentru a imprima maximum de energie și viteză;
- flexibilitate și elasticitate apropiate de cea a arcurilor;
- amortizare superioară a șocurilor și a vibrațiilor;
- rezistență sporită la șocuri și oboseală;
- prețuri moderate, în special, la producții de serii mari;
- posibilități de ameliorare a performanțelor sportive;
- tehnologii moderne de fabricație, sunt doar câteva dintre avantajele care recomandă aceste materiale la producția articolelor sportive.

Un domeniu de aplicație cu dezvoltare continuă este cel al construcțiilor, mobilierului, în special, de baie, bucătărie, laborator, din mijloacele de transport terestre, maritime și aeriene, unde părțile vizibile păstrează lemnul sau materialele pe bază de lemn, caracterizate prin aspectul lor natural. Piese care constituie structura de rezistență, respectiv armăturile, osaturile, carcasele, structurile de susținere, în condiții de greutate redusă, vibrații, diferențe de temperatură sporite, precum și cele supuse contactului permanent cu apa și umiditatea pot fi realizate cu succes din materiale compozite. O largă utilizare a materialelor compozite este apreciată și recomandată în componența mobilierului de grădină, structurile din construcțiile de diferite tipuri pentru exterior etc. [Barbu, 1999; Barbu, 2002]

1.2 MATERIALE COMPOZITE DIN LEMN²

Dintre primele materiale compozite naturale utilizate de om se poate menționa lemnul, care este un compus macromolecular natural de sine stătător cu o structură chimică complexă și proprietăți fizico-mecanice specifice. În evoluția societății au existat și există preocupări pentru găsirea de noi materiale și combinații pe bază de lemn, care să conducă la diminuarea unor defecte ale lemnului masiv (higroscopicitatea, instabilitatea dimensională, rezistența la atac foto-chimic, inflamabilitatea etc.) și să pună mai bine în valoare calitățile naturale ale acestuia (densitatea scăzută, prelucrabilitatea ușoară, conductivitatea termică scăzută, izolarea fonică ridicată, costuri relativ mici, posibilități nelimitate de utilizare, nepoluante etc.). Omenirea se străduiește de milenii să reducă instabilitatea dimensională a lemnului, material compozit natural și în tot atâtea milenii a învățat să realizeze construcții logice și utile, lăsând spațiile necesare umflării și contragerii sau impunând "blocarea" lemnului în dimensiuni fixe. Utilajele și tehnologiile pentru obținerea materialelor compozite din lemn au fost puse la punct într-un timp îndelungat. Mecanizarea fazelor și chiar automatizarea completă a proceselor au determinat deplasarea punctului de greutate de la meșteșugul tradițional manual al prelucrării lemnului la tehnologiile moderne, aproape integral automatizate [Barbu, 2002].

1.2.1 LEMNUL - MATERIAL COMPOZIT NATURAL

Lemnul are o structură celulară fiind alcătuit din membranele celulelor, variate ca formă, dimensiuni și constituție, după funcția pe care au avut-o de îndeplinit în timpul vieții arborelui: de conducere, înmagazinare sau rezistență (fig.1.2.1.1).

² Autorul a continuat cercetările privind optimizarea materialelor compozite din lemn și după finalizarea celei de a doua teze de doctorat [Barbu, 1997] în colectivul Boku condus de Prof.univ.dr. Hemulth Resch și parteneri din industria de profil (Austria) și a prezentat în perioada 1996-2000 peste 6 lucrări la conferințe internaționale și s-au pus bazele unui patent.

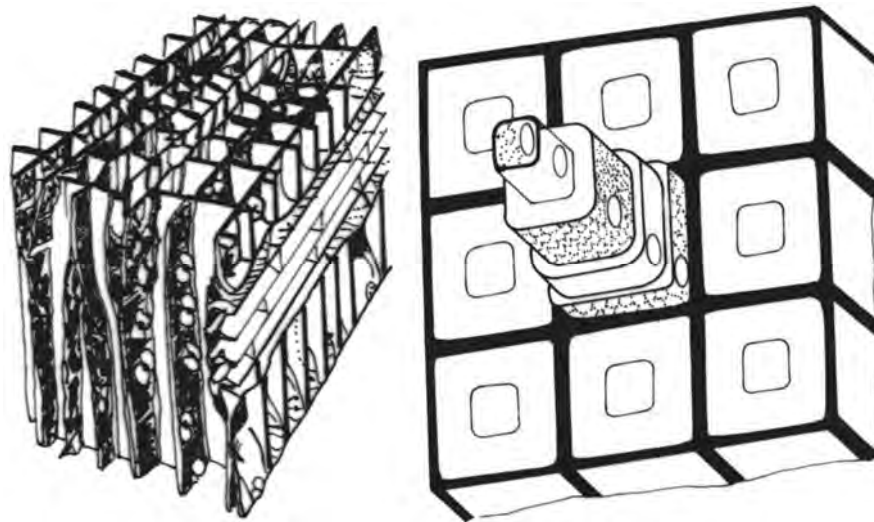


Figura 1.2.1.1: Lemnul - material cu structură alveolară multistratificată: a - structura macroscopică; b - organizarea și dispunerea elementelor constitutive ale peretelui celular [Barbu, 1999 după Wagenführ, 1999]

Formarea lemnului în arbore are loc prin activitatea țesuturilor generatoare, care produc celulele alungite ca formă, orientate paralel cu axa arborelui (fibre, traheide, elemente de vase și parenchim lemnos longitudinal) și alt tip de celule cu dimensiuni reduse, orientate în direcția radială și tangențială (după conturul inelelor anuale). În proporție mult mai mică sunt produse celulele cu axa longitudinală paralelă cu direcția radială (parenchim radial), care formează razele medulare. Prin acest mod de formare a lemnului se creează stări diferite pe cele trei direcții de creștere - longitudinală, transversală și radială - care se consideră, în general, ca direcții de referință, atât pentru prezentarea structurii, cât și pentru aprecierea comportării lemnului sub influența diversilor factori fizici și mecanici.

Prin activitatea țesuturilor generatoare ia naștere lemnul, ca un compozit complex, chimic, constituit fiind din celuloză, hemiceluloză și lignină, structural, diferit la speciile rășinoase, foioase cu porii inelari sau împrăștiați. De asemenea, în cuprinsul inelelor anuale din sezonul de vegetație se formează zone de lemn timpuriu (în timpul vieții arborelui cu funcția principală de circulație) și de lemn târziu (cu funcția principală de rezistență), zone mai evidente macroscopic la lemnul de rășinoase și de foioase cu porii din lemnul timpuriu dispuși inelar. Lemnul are o arhitectură complexă formată din pereții celulelor, așa încât proprietățile sale sunt determinate de structura acestora și de substanțele din care sunt constituiți. Structural, materia lemnoasă din pereții celulari se compune din:

- schelet, în principal, din celuloză;
- matrice, în special, din hemiceluloze;
- inserții, mai ales, din lignină.

Scheletul este format din lanțuri moleculare de celuloză, dispuse ordonat lateral în anumite zone (cristaline) și neregulat în zone intermediare (amorse), constituind astfel fibrilele elementare, identificate ca unitățile structurale fundamentale ale peretelui celular, ce formează la rândul lor microfibrilele. Legăturile chimice ale lanțurilor moleculare de celuloză în direcție longitudinală sunt mai puternice decât legăturile laterale dintre aceste lanțuri, ceea ce contribuie la comportamentul anizotrop al lemnului [Barbu, 2002]. Peretele celular are o structură stratificată, fiind format din peretele primar P, la exteriorul celulei și peretele secundar S, spre interior, triplu stratificat - stratul exterior S1, spre peretele primar, strat mijlociu S2 și stratul interior S3. Spre golul celular s-a identificat încă un strat W, cu aspect mamelonar (fig.1.2.1.1). Acești pereți și straturile lor au grosimi diferite, foarte subțiri fiind P, S1, S3 și W, iar cel mai gros este S2 în care microfibrilele sunt orientate aproape paralel cu axa longitudinală a celulei. Unghiul de înclinare al fibrilelor din stratul S2 este un factor important pentru majoritatea proprietăților fizice și rezistențelor mecanice. Compoziția chimică a materiei lemnoase din pereți și straturi indică faptul că stratul S2 este determinant pentru comportarea lemnului, având proporția cea mai ridicată de celuloză și cea mai mică de lignină, aceasta fiind, în cea mai mare parte, concentrată în peretele primar și lamela mijlocie, care realizează „lipirea” între celule. Hemiceluloza, substanțele pectice și lignina leagă celulele între ele și suportă scheletul celulozic, contribuind astfel la elasticitatea și rezistența mecanică a lemnului.

În stare uscată, legătura dintre celulele lemnului este puternică, pe când în stare umedă este redusă, diminuându-se deci rezistențele acestuia. Aceste substanțe fiind în cantități diferite pe pereții radiali și tangențiali ai celulelor, determină, de asemenea, o comportare anizotropă a lemnului. Lamela mijlocie radială conține mai multă lignină decât cea tangențială, ceea ce are ca efect o legătură diferită a celulelor pe cele două direcții. Lignina, dispusă între microfibrile, contribuie la stabilitatea dimensională a lemnului și la reducerea variației rezistențelor mecanice sub influența umidității, deoarece ocupă spațiile în care ar putea pătrunde apa [Filipovici, 1964; Ghelmeziu, 1957; Kollmann, 1982; Lunguleasa&Pescăruș, 2000; Wafenführ, 1999].

Cercetările experimentale au condus la concluzia că fibrele de lemn au rezistențe comparabile cu cele din sticlă, carbon, titan etc. și sunt foarte elastice ($E = 30 - 50 \text{ GPa}$) în comparație cu alte fibre utilizate în structura materialelor compozite. Aceste proprietăți fizico-mecanice, superioare ale peretului celular al fibrei de lemn, sunt generate de calitatea și orientarea microfibrilelor din fiecare strat, cât și de compoziția chimică foarte bogată în lanțuri celulozice (60 - 75%). Cu toate că lemnul are o densitate redusă, posedă o rezistență la tracțiune comparabilă cu cea a polimerilor, aliajelor ușoare și materialelor compozite din fibre scurte și este superioară betonului, care nu rezistă la tracțiune. Totodată rigiditatea lemnului este mai mare decât a polimerilor și se situează în plaja de valori a materialelor compozite realizate din fibre scurte și lungi [Barbu, 2002].

Comparativ cu materialele curent folosite - beton, metale, mase plastice ș.a. - lemnul și materialele pe bază de lemn posedă proprietăți fizico-mecanice remarcabile cum sunt:

- densitate variată și redusă ($200 - 1300 \text{ kg/m}^3$);
- rezistență la oboseală relativ ridicată;
- capacitate de amortizare a fenomenelor ce îl traversează (zgomote, vibrații, șocuri etc.)

și proprietăți tehnologice folosite încă de la debutul omenirii:

- prelucrabilitate ridicată;
- posibilități de îmbinare nelimitate;
- insensibilitate la coroziune;
- aspect plăcut, agreabil,

făcând astfel parte din patrimoniul tuturor civilizațiilor și culturilor umanității ș.a. Iată de ce lumea modernă nu se poate dispensa de lemn și materialele pe bază de lemn.

Desigur că lemnul prezintă și o serie de inconveniente:

- instabilitate dimensională;
- fiabilitate relativ redusă;
- inflamabil și combustibil;
- ușor degradabil și predispus descompunerii;
- posedă defecte naturale ș.a.,

dar și celelalte materiale compozite concurente - betonul, argila, sticla, metalele, masele plastice – au, la rândul lor, avantaje și dezavantaje [Barbu, 2002].

În funcție de anotimpul, locul și modul în care se realizează exploatarea, pregătirea lemnului rotund, transportul, depozitarea, prelucrarea și uscarea masei lemnoase, rezultă calitatea elementelor, în condițiile unui randament care depinde de tehnologie, dar și de aspecte economice, ca de productivitate [Barbu et al., 1984; Câmpean&Marinescu, 2012; Tudor, 1996/2004]. În cazul foioaselor, proporția de sclerenchim este reprezentată de "liberul fibros", iar la rășinoase de traheidele din lemnul târziu. Proporția de sclerenchim este diferită, în funcție de specia lemnoasă: la rășinoase 91-95% și foioase 66%, iar la plantele anuale mai puțin de 25%. Țesăturile de parenchim sau vasele sunt considerate elemente de umplură care, în general, influențează negativ rezistența la apă. În cazul materialelor compozite, în puține cazuri, există preferințe deosebite pentru tipul speciilor lemnoase. În general, diametrul și lungimea fibrelor se dorește a fi cât mai scăzut, așa încât gradul de compresibilitate a particulelor și elementelor din lemn care le conține să fie atins fără consum suplimentar de energie. Datorită perfecționărilor tehnologice existente, rășinoasele se prelucrează cu același succes ca și foioasele, iar materia primă lemnoasă specifică zonelor și anumitor condiții geografice date se poate utiliza superior. Din punct de vedere al componenților chimici de structură ai lemnului, se preferă speciile cu un conținut mare de celuloză și hemiceluloză și conținut redus de pentozane, deoarece din cauza hidrofilității acestora se creează dificultăți în tehnologia de fabricare, ca de exemplu la defibrare și încliere, dar și la utilizare

în condiții de utilizare mai umede. Compușii chimici secundari ai lemnului, cum sunt: rășina, substanțele tanante etc. modifică pH-ul și determină caracterul reacțiilor de policondensare a rășinii, optim fiind un pH slab acid, de 4,5-5. Conținutul bogat în pentozane poate conduce la "caramelizarea" suprafețelor plăcilor în timpul presării la cald. Densitatea lemnului influențează atât densitatea plăcilor, cât și consumul specific de lemn. Deci, se preferă speciile de rășinoase cu densitate ridicată și proporție mare de lemn târziu. De asemenea, se preferă lemnul matur din arborii cu diametre mari. Se folosesc frecvent însă și lemnul de pin, fag, plop, salcie, eucalipt, hevea etc. și, în special, sortimentele subțiri (crengi, vârfuri, lemn de celuloză) în diferite proporții. Pentru plăcile cu greutate redusă (ex. L-MDF) este absolut necesară folosirea rășinoaselor sau foioaselor moi, întrucât fibrele mai lungi se împăslesc mai bine, asigurând rezistențe mecanice suficiente, chiar dacă nu permit o comprimare excesivă prin presare. Umiditatea lemnului variază în limite largi. Umiditatea redusă a materiei prime poate crea dificultăți la prelucrarea prin așchiere determinând un conținut ridicat de particule fine, solicită un consum sporit de energie, necesită consumuri mari de rășină etc. și produce uzura rapidă a sculelor. Conținutul de coajă conduce la reducerea caracteristicilor mecanice, deprecierea aspectului estetic al suprafețelor plăcilor (puncte negre, până la pete și culoare neuniformă), absorbția mare de apă, un consum specific mărit de adeziv și lacuri și scăderea rezistenței la dezlipire a suprafețelor pentru structurile ce urmează a fi înobilate. Se solicită o atenție deosebită la tocătura din lemn, care rezultă în fabricile de cherestea, la care cojirea este frecvent parțială și nu completă. Conținutul mare de silicați ai cojii provoacă și o uzură accentuată a sculelor. Sortimentul de materie primă influențează în măsura în care are un conținut mare de elemente (anatomice) subdimensionate, fracționate sau o mare neuniformitate dimensională. La exploatarea lemnului, se pot sorta următoarele categorii: buștean fasonat, crăci, lemn subțire, rămășițe și capete rezultate în procesele de exploatare și prelucrare, așchii, talaș, rumeguș, tocătură de lemn. Rămășițele din lemn pentru plăcile din fibre se selecționează din lemn sănătos și nu trebuie să conțină resturi metalice, pietre, nisip și alte impurități. În urma prelucrării primare a buștenilor se pot utiliza: lemn despicat și rotund cu defecte de formă, crengi, snopi, role de la derulare, capete de bușteni, rămășițe de la cherestea, fâșii de furnire, resturi livrate în stare tocată, rumeguș, resturi de la prelucrarea chimică a lemnului etc., în rețete judicioase întocmite. Cercetările au arătat că prin adăugarea cojii, rumegușului și așchiilor, în procente determinate, nu se schimbă esențial caracteristicile mecanice și aspectul plăcilor. În special, în cazul acestor tipuri de materie primă, depozitarea poate influența direct calitatea lemnului. Umiditatea aerului, precipitațiile, radiația solară, temperatura pot favoriza deprecierea rapidă a materiei prime lemnoase prin uscare, colorare, atac biologic, modificarea compoziției chimice etc. În condiții optime de depozitare îndelungată apar modificări ireversibile ale densității, umidității, pH-ului și ale anumitor substanțe chimice din lemn și cu toate că aspectul, forma și masa au rămas relativ constante, însă compoziția chimică și mai ales pH-ul determină scăderea calității adeziunii și a anumitor caracteristici cu urmări directe asupra proprietăților plăcilor compozite [Barbu, 2002; Irle&Barbu, 2010; Irle&Barbu et al., 2013; Barbu et al., 2014; Paulitsch&Barbu, 2015].

1.2.2 GENERALITĂȚI ȘI CLASIFICAREA MATERIALELOR COMPOZITE DIN LEMN

Materialele compozite pe bază de lemn se realizează dintr-o diversitate de elemente ce se obțin din lemnul masiv, diferențiate prin formă și dimensiuni geometrice. Acest lucru este facilitat de tehnologii moderne care permit utilizarea tuturor părților unui arbore exploatat (trunchi, vârfuri, crăci, coajă), lemn cu defecte de creștere, resturi rezultate din diverse prelucrări mecanice, cât și din reciclarea altor produse lemnoase (ambalaje, lemn de construcții, mobilier etc.). Principalele sortimente de material lemnos, ce pot alcătui structura compozitelor pe bază de lemn sunt prezentate succesiv în figura 1.2.2.1. Acest "tabel al elementelor neperiodice" cuprinde 14 elemente de bază, din care 10 rezultă ca deșeuri inutilizabile la fabricarea cherestelei și a placajului (pozițiile 5-14). Elementele 7 sau 8 sunt indispensabile pentru producerea celorlalte materiale compozite din lemn.

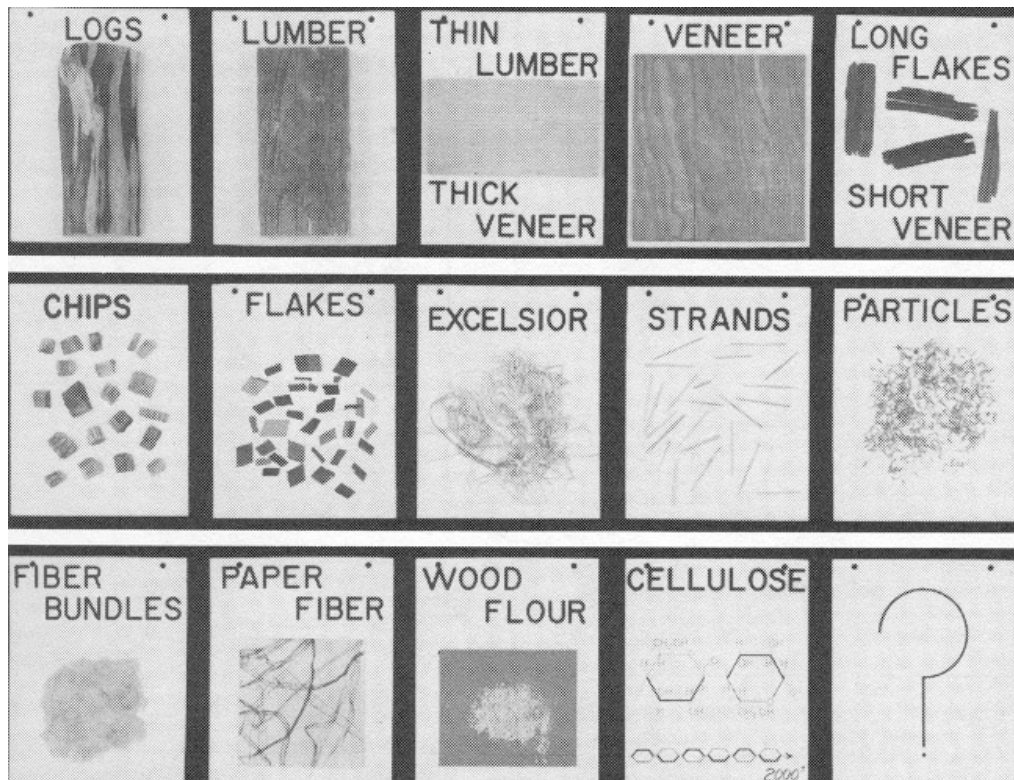


Figura 1.2.2.1: Sortimentele de material lemnos [Marra, 1992]

O altă prezentare mult mai expresivă a gamei de sortimente de materiale lemnoase care poate constitui materia primă pentru materiale compozite este ilustrată în figura 1.2.2.2. Sortimentele au fost ordonate vertical în coloane, care se diferențiază de sus în jos prin scăderea accentuată a lungimii de la bușteni la nivelul fibrelor celulozice. Pe orizontală, de la stânga la dreapta scad dimensiunile secțiunii transversale de la buștean la lâna de lemn (rândul 1), de la rondela la făină de lemn (rândul 2), de la fascicule de fibre la fragmente de fibre (rândul 3) și de la celuloză la derivații chimici (rândul 4) [Marra, 1992].

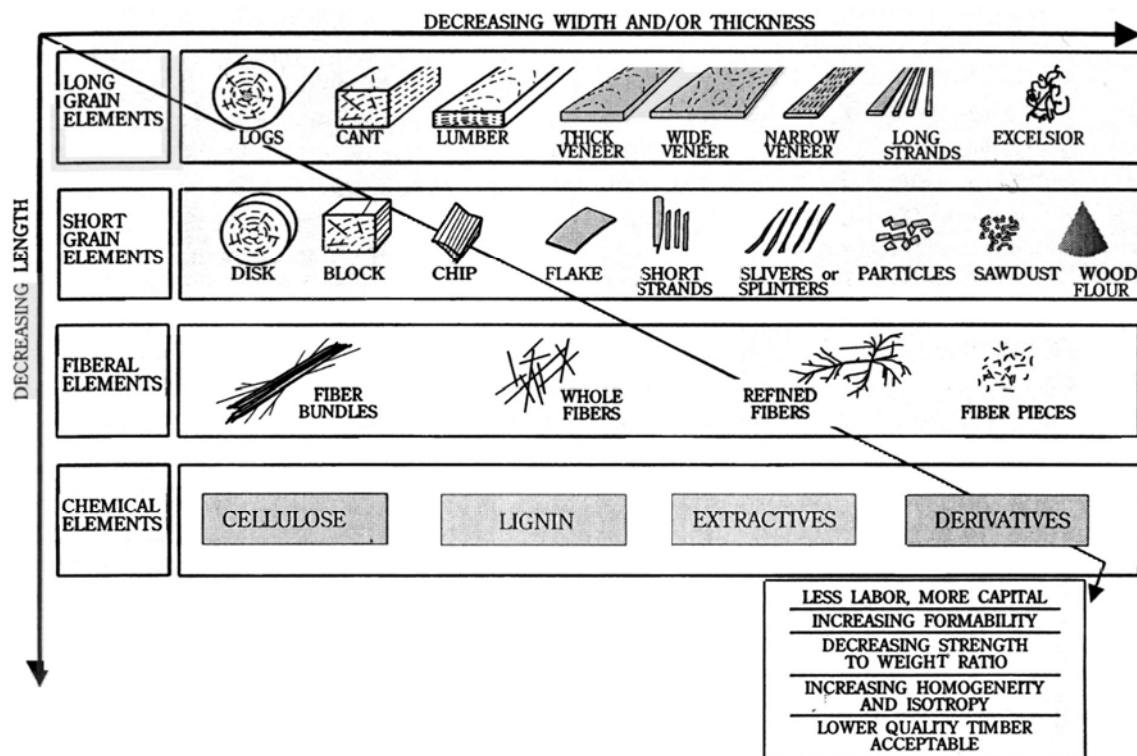


Figura 1.2.2.2: Tabela elementelor componente ale lemnului [Marra, 1992]

Schema evidențiază câteva aspecte fundamentale:

- rezistența sortimentelor prezentate scade pe diagonală din colțul stânga-sus spre dreapta-jos;
- gradul de deformabilitate al sortimentelor crește în fiecare rând de la 1 la 4, de la stânga la dreapta, acestea putând fi ușor prelucrate în forma și structura dorită;
- influența calității inițiale a lemnului asupra proprietăților sortimentelor se diminuează de la un rând la altul, de sus în jos;
- mărimea suprafeței exterioare raportată la masa volumică crește de sus în jos și de la stânga la dreapta, ceea ce constituie o condiție pentru obținerea unui compozit cu proprietăți superioare;
- sortimentele situate în apropierea diagonalei (stânga-sus până la dreapta-jos) permit realizarea de materiale compozite caracterizate prin manoperă redusă;
- alte proprietăți caracteristice sunt: deformabilitatea ridicată, scăderea rezistenței raportată la masa volumică, creșterea omogenității și izotropiei [Marra, 1992; Niemz, 1993].

În cazul materialelor compozite din lemn potențialul variației dirijate a formei, dimensiunilor și proprietăților ș.a.m.d. este prezentat succint în continuare:

- tipul și structura compozitului, mărimea și forma elementelor structurale, numărul straturilor, gradul de omogenizare și deci, indirect, izotropia;
- specia lemnoasă, respectiv combinarea acestora: culoare, desen, rezistență la umiditate, conținut de coajă, materie primă reciclată, alte surse de materie primă nelemnoasă;
- rășina utilizată: tipul, natura, rețeta, grad de încliere, activarea suprafețelor etc.;
- materialele suplimentare: substanțe ignifuge, hidrofuge, fungicide, izolante etc.;
- înobilarea suprafețelor: furniruirea, melaminarea, cașerarea, acoperirea, alte finisări;
- combinarea cu alte materiale: compozite din lemn, metal, fibră sticlă, plastic, spume etc. [Barbu, 2002].

În industria lemnului, în mod curent, se folosește termenul de "material compozit" pentru structuri înclieate, clasificate, în următoarele grupe [Barbu, 1999; Bodig&Jayne, 1982]:

1. Produse din lemn masiv (materiale compozite naturale):

- necomprimat: cherestea, furnir, tocătura etc.;
- comprimat: plăci din lamele uni- sau triplustratificate etc.;

2. Produse din lemn modificat: impregnat pentru prezervare, ignifugat, lemn impregnat cu rășini sintetice, tratat chimic, iradiat;

3. Produse stratificate din lemn:

- grinzi presate paralel din: cherestea (GluLam), furnire (MicroLam, PSL), fâșii de furnire paralele (Parallam, PSL), lemn subțire zdrobit și înclieat (Scrimber);
- plăci presate perpendicular din cherestea groasă (Cross Laminated Timber, CLT) și subțire (Multilayeres Solid Wood Board, SWB);
- placaje presate perpendicular de uz general și speciale, plăci aglomerate placate cu furnire (ComPly);
- armate cu inserții; tip "sandwich", îmbinate prin legături mecanice;

4. Produse aglomerate din lemn:

- din aşchii: PAL, plăci din aşchii lungi orientate (OSB, flake- sau waferboard), grinzi din aşchii lungi orientate (PSL);
- din fibre prin procedeul: umed PAF (poros) și PFL (dur); respectiv uscat cu densitate foarte scăzută (ULDF), scăzută (LDF), medie (MDF) și ridicată (HDF)

5. Produse din fibre de lemn: hârtie; ranforsate cu alte materiale (ca plastic în Wood Plastic Composite).

Apariția structurilor compozite din aşchii și fibre de lemn s-a datorat unei cerințe acute de material lemnos cu proprietăți fizico-mecanice superioare. Creșterea rapidă a cererilor de noi materiale pe bază de lemn, se datorează, în primul rând, nivelului ridicat al performanțelor impuse acestora (rezistențe maxime, elasticitate, greutate redusă, stabilitate dimensională și varietatea dimensiunilor), dar și tendinței de economisire și utilizare rațională a resurselor de masă lemnoase. Materialele compozite din lemn sub formă de plăci sunt structuri înlocuitoare produselor din lemn masiv, calitativ superioare, dar mai ales, produse care printr-o tehnologie de vârf implementată, ameliorează proprietățile fizico-mecanice ale lemnului, iar defectele acestuia sunt diminuate sau parțial eliminate. Înglobarea lemnului (tab.1.2.2.1) în materialele compozite conduce la:

- omogenizarea structurii sale;
- uniformizarea caracteristicilor proprii ale principalelor direcții de creștere;
- îmbunătățirea calității suprafețelor;
- controlul proprietăților fizico-mecanice;
- posibilitatea proiectării produselor în funcție de destinația finală a acestora [Barbu, 2002].

Tabelul 1.2.2.1: Dimensiunile principalelor elemente pe bază de lemn din constituția materialelor compozite [Marra, 1992; Barbu, 1999]

Tipul elementului din lemn	Lungimea [mm]	Lățimea [mm]	Grosimea [mm]	Materialul compozit
Cherestea	1,2-6,0 m	100-300	12-48	GLT, CLT
Furnir	1,2-2,4 m	100-1220	0,5-12	Placaj și LVL
Așchii pătrate groase (wafers)	25-75	25-75	0,6-1,3	Waferboard
Așchii pătrate subțiri (flakes)	12-75	12-75	0,3-0,6	Flakeboard
Așchii lungi (strands)	12-75	4-25	0,3-0,6	OSB
Așchii fine	6-75	0,1-0,6	0,1-0,6	PAL
Particule	1-12	0,1-1,3	0,1-1,3	PAL și peleți
Fascicule de fibre	1-25	0,1-0,5	0,1-0,5	PFL (m/d), HDF, MDF, LDF, WPC etc.
Fibre	1-6	0,03-0,08	0,03-0,08	Hârtie
Celuloză și lignină	-	Molecular	-	Mase plastice, filme...

PRODUSELE DIN LEMN MASIV - considerate a fi printre primele materiale compozite naturale se regăsesc în piese de diverse forme și dimensiuni. Tehnologia de fabricație, tipurile și clasificarea acestora constituie obiectul altor discipline și lucrări de specialitate [Ene&Tătar, 2008; Kollman, 1982; Lohmann, 2012; Popa&Lugojanu, 1965; Râmbu, 1980; Sburlan, 1957; Shmulsky&Jones, 2011; Walker, 2006; Zeleniuc, 2008].

PRODUSELE DIN LEMN MODIFICAT - constituie un domeniu distinct, interdisciplinar, complementar între studiul, tehnologia și chimia lemnului, dar și al polimerilor, chimiei industriale etc. Produsele din lemn modificat se caracterizează prin: stabilitate dimensională ridicată, rezistență la atac bio-foto-chimic, durabilitate mărită la agenți mecanici și termici etc., proprietăți care le conferă o plajă largă de utilizări. Atât în țară, cât și în străinătate există centre de cercetare, care au ca obiectiv al investigațiilor lemnul modificat [Fengel&Wegener, 1984; Hill, 2006; Mihai, 1983; Petrovici&Popa, 1997; Pizzi, 1994; Rowel, 2013; Timar, 1998; Timar, 2003/2006; Youngquist, 1999 etc.].

În categoria lemnului modificat se pot încadra o multitudine de materiale:

- impregnarea în scopul prezervării a fost determinată de distrugerile rapide provocate în anumite condiții de către ciuperci, insecte etc. Prin impregnarea cu soluție pe bază de creozot, pentaclorfenol și de polimeri solubili în apă, se prelungește durata de viață a lemnului în structuri portante ca: traverse, stâlpi, ambarcațiuni etc. Metodele și procedeele de tratament sunt diverse: prin pensulare, imersie, aplicare sub presiune și temperatură sau vid și, de regulă, prin impregnare se realizează o fixare a substanței în structura lemnului și nu o reacție chimică cu constituenții acestuia;
- inflamabilitatea (combustibilitatea) sporită a produselor din lemn cu dimensiuni reduse impune tratarea acestora cu substanțe chimice ignifuge, urmând aceleași metode ca la impregnare, însă cu alte tipuri de substanțe (arsenat de cupru, de crom, cromat de cupru etc.);
- impregnarea cu rășini naturale (ex. Natwood) sau sintetice (ex. Belmadur) se realizează prin introducerea în structură a monomerilor cu dimensiuni reduse (metilmetacrilat, stirol, epoxizi) până la nivelul membranei celulare, iar apoi catalizarea reacției de polimerizare se asigură prin încălzirea structurii la diferite temperaturi prin: convecție, CIF, microunde și iradiere. Produsele realizate prin această metodă se comercializează sub denumirea de impreg. Pentru a mări gradul de impregnare în timpul procesului se poate realiza o comprimare a pieselor de lemn în direcție paralelă cu fibrele, rezultând astfel o densificare și durificare a produselor, denumite compreg. Impregnarea cu rășini naturale și sintetice determină o creștere pronunțată a stabilității dimensionale a lemnului, dar simultan, generează o uzură rapidă a sculelor din cauza abrazivității și durtății ridicate;

- tratarea chimică cu diferite substanțe (soluții amoniacale) se caracterizează prin proprietăți fizice direct dependente de natura și cantitatea acestora, dar și condițiile de tratare. Defibrarea lemnului tratat chimic este efectul caracteristic al acestui procedeu, contrar acetilării prin care se produce "blocarea" grupărilor OH ale celulozei și astfel, reducerea higroscopicității.

- iradierea cu raze gama la un nivel relativ scăzut se realizează o modificare a legăturilor dintre constituenții structurali și chimici ai lemnului, conferindu-i acestuia o mai mare stabilitate dimensională. Dacă lemnul "modificat" prezintă, în funcție de tratamentul la care este supus, o serie de avantaje amintite anterior, există totuși o serie de inconveniente cu privire la: degradarea structurii naturale, coroziunea, toxicitatea accentuată și nu în ultimul rând, echipamente speciale și costuri ridicate [Barbu, 2002].

PRODUSELE STRATIFICATE DIN LEMN - prezintă o diversitate tipo-dimensională foarte mare, precum și o pondere diferită în utilizările industriale.

• Produse stratificate din elemente orientate paralel sunt prezente în aplicațiile industriale prin structurile:

- Grinzi stratificate din cherestea încleiată, Glue Laminated Timber (GLT), denumite comercial și Glulam sunt realizate din lamele, în special, din specii de rășinoase (B-i3), de aceeași grosime, îmbinate în dinți pe lungime și lățime prin încleiere cu rășini sintetice rezistente la umiditate sau contactul cu apa (FF, MUF, PMDI, PUR RF). Avantajul major al acestor structuri compozite este optimizarea controlată printr-o sortare prealabilă și combinare predefinită a lamelor rezistenței și rigidității, fapt ce permite realizarea de structuri cu deschideri mari și capacități portante mărite (EN14080:2013).

- Grinzi stratificate din furnire încleiate, Laminated Veneer Lumber (LVL) sunt realizate din foi de furnire având aceeași orientare a fibrelor, încleiate cu adezivi fenolici, după o tehnologie similară celei de fabricare a placajului sau modern în prese continue cu încălzire în curenți de înaltă frecvență (CIF), în special, pentru piesele cu grosimi mari. Din acest motiv, produsul este denumit în limbajul comercial internațional și Parallel Laminated Veneer (PLV), adică grinzi stratificate din furnire încleiate paralel. Grinzile stratificate din furnire încleiate (LVL) se caracterizează prin rezistențe și rigidități performante și costuri de producție reduse, datorită valorificării superioare a materiei prime inferioare, găsind o largă utilizare în construcții la realizarea grinzilor I sau cu zăbrele din structura portantă a acoperișurilor, podurilor și mijloacelor de transport. De asemenea, LVL este folosit în structurile din medii agresive (umiditate, temperatură, substanțe chimice etc.) și se realizează din furnire impregnate, în prealabil, cu substanțe de protecție (ignifuge, fungicide, hidrofuge etc.), încleiate cu adezivi speciali pe bază de melamină, rezorcină sau isocianati și protejate în final cu diferite pelicule.

- Grinzi din fâșii de furnire încleiate, Parallel Strand Lumber (PSL) se obțin recent din fâșii de furnire orientate paralel, rezultate ca resturi la fabricarea furnirelor estetice și tehnice (12 x 2500 mm), încleiate cu adezivi fenolici și presate la cald continuu. Valorile performante permit utilizarea acestui material la fabricarea structurilor mecanice puternic solicitate (grinzi, stâlpi etc.) cu aprox. ½ din volumul unei grinzi din cherestea sau GLT / LVL.

- Grinzi din fâșii de furnire încleiate, PSL 300 sunt tot o realizare recentă americană, care se fabrică analog, cu deosebirea că se utilizează fâșii de furnire cu dimensiuni reduse (0,8 x 25 x 300 mm), încleiate cu adeziv de tip isocianat (PMDI). Problemele ridicate la presarea pachetului de furnire cu dimensiuni mari au fost soluționate prin folosirea procedurii de presare cu injecție de abur. Acest sistem de presare a permis, totodată, obținerea unor structuri cu dimensiuni notabile (25-145 mm x 2,4 x 10,7 m), în condiții economice avantajoase.

- Scrimber este un nou produs stratificat realizat prin încleierea materialului rezultat din zdrobirea între role a buștenilor și crăcilor foarte subțiri. Inițial, elementele rezultate sunt uscate, apoi încleiate și așezate în forme, iar în final, consolidate prin presare la cald. Varianta japoneză recent lansată pe piață poartă denumirea comercială de Zephyr. Aceste produse se utilizează ca material de construcții cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante [Barbu, 2002; Joscak et al. 2006; Paulitsch&Barbu, 2015].

• Produse stratificate din elemente orientate perpendicular cuprind ca elemente reprezentative placajul cu îndelungată sa istorie, plăcile din cherestea groasă (CLT) și subțire (SWB) ca materiale compozit pe bază de lemn [Paulitsch&Barbu, 2015, Schickhofer et al., 2010; Karacabeyli&Douglas, 2013; Tobisch, 2012; Wagenführ&Scholz, 2012].

- Diversitatea structurală și tipo-dimensională, speciile lemnoase, adezivii și celelalte materiale ce pot face parte din structura placajului (EN636:2012) sunt prezentate detaliat într-o serie de lucrări de prestigiu din domeniu [Barbu et al., 2014; Boldwin, 1981; Irle et al., 2013; Paulitsch&Barbu, 2015; Istrate, 1983; Kollman, 1982; Lunguleasa, 2012; Mitișor&Istrate, 1983; Reh, 2013; Seller, 1985 etc.].

- Plăcile lamelare stratificate (Multilayered Solid Wood Panels, SWB) sunt un produs compozit nou (B-i3), apărut datorită perfecționării tehnologiei de debitare-despicare, îmbinare, încleiere care tinde să înlocuiască plăcile din lemn masiv și panelul, datorită costurilor scăzute, designului plăcut, dar mai ales, prelucrabilității superioare (EN 13353:2011).

- Plăcile stratificate din cherestea (Cross Laminated Timber, CLT) se fabrică industrial de 10 ani, sunt autoportante și se folosesc în construcții ca plăci, pereți, acoperișuri, având grosimi 10 - 60 cm, lățimi de 1 - 3 m și lungimi de la 5 m variabilă prin îmbinarea lamelelor sau plăcilor(B-i3) în dinți (EN 16351:2011).

- Lemn stratificat-densificat (LSD) este un produs realizat, după o tehnologie asemănătoare placajului, din furnire de foioase tari sau esențe exotice cu grosimi încleiate cu adezivi fenolici (pulberi și filme), realizat la presiuni și temperaturi înalte, atingându-se astfel densități de 1,3-1,4 g/cm³ și grosimi de 4-100 mm. Acest produs se caracterizează prin: rezistențe mari la tracțiune, compresiune, încovoiere, stabilitate dimensională și șoc, într-un câmp larg de temperaturi. De asemenea, LSD prezintă rezistență la coroziune și substanțe chimice, caracteristici ca autoungerea, duritatea și rezistența la uzură, izolare termică, electrică. Domeniile de utilizare ale LSD se regăsesc în industria modelăriei, constructoare de mașini, turnătoriei, alimentară, transporturi etc.

- Plăci și grinzi cu fețe din furnire și miez din așchii orientate uni- sau multistratificat (Com-Ply) au câte un singur strat de furnir dispus pe ambele fețe ale unui miez realizat din așchii orientate, dispuse perpendicular pe direcția fibrelor lemnului (furnirului). Grinzile, care necesită performanțe superioare, au fețele realizate din mai multe straturi de furnire sau placaje cu fibrele orientate paralel cu axa grinzii, iar structura miezului poate fi uni- sau multistrat din așchii speciale (flakes). Domeniul de utilizare al acestor materiale este în construcții, la fabricarea panourilor și grinzilor orizontale supuse acțiunii unor sarcini normale pe suprafață.

- Structuri armate cu inserții sunt realizate, în general, din mai multe straturi de furnir, fibre sau așchii între care se introduc inserții sub formă de țesături, fire, fibre, rețele, folii și foi din diferite materiale (metale, mase plastice, materiale organice și anorganice). Avantajele ce rezultă în urma armării constau în creșterea rezistenței la încovoiere, a rigidității, stabilității uni- sau bidimensionale, în condițiile menținerii sau scăderii greutateii. Pot apărea însă, o serie de inconveniente ca:

- incompatibilitatea între materialele structurii, care generează fenomenul de delaminare;
- prelucrabilitatea dificilă și implicit uzura rapidă a sculelor;
- îngreunarea reciclabilității produsului.

Din cauza costurilor relativ ridicate aceste structuri își găsesc aplicabilitate numai în domeniile de vârf: construcții aero-spațiale, industria transporturilor și electrotehnică.

- Produse stratificate din lemn tip "sandwich" (B-i2) se regăsesc încă din secolul al XIX-lea sub forma panelului, structură alcătuită din miez discontinuu sau continuu realizat din șipci paralele, încleiate între ele pe canturi și acoperite cu fețe din furnire groase sau placaje. Structurile de tip "sandwich", cunoscute și sub denumirea de plăci celulare sunt realizate din miez și două fețe, cu sau fără rame. Miezul poate fi realizat din diferite materiale cu densitate redusă: covoare din așchii sau fibre, fagure de hârtie, spume poliuretanică etc., având atât rolul de a menține grosimea constantă între fețe, dar și funcții fonoabsorbante, termoizolante, hidrofuge, antiradiație și siguranță. Fețele pot fi realizate din foi de furnir groase, placaje, PAL, MDF și alte plăci subțiri din lemn, foi metalice, plastice etc. Fețele asigură rezistența și rigiditatea structurii și protejează produsul la acțiunea agenților mecanici, termici și de mediu. Structurile de tip "sandwich" cunosc o gamă largă de întrebuițări în construcția mobilierului de diferite destinații și în construcția planșelor, panourilor, podelelor, în industria transporturilor, industria alimentară, ambalaje etc.

- Produse stratificate din lemn îmbinate prin legături mecanice se realizează diferențiat în funcție de tipul laminatului, destinația acestuia și performanțele proiectate. Tipul îmbinării mecanice cu cuie, bolțuri, șuruburi, agrafe etc. este impus de rezultatele analizei capacității portante, forma și natura materialelor componente și designul dorit. Cele mai frecvent întâlnite structuri compozite cu elemente de îmbinare mecanice, sunt cele din construcții sub formă de grinzi, panouri, stâlpi, pereți etc. Un tip de grindă, deseori

utilizată în SUA, este întâlnită sub denumirea comercială steelam, realizată din cherestea îmbinată și armată cu benzi metalice zimțate [Barbu, 2002].

PRODUSELE AGLOMERATE din lemn constituie categoria de materiale compozite din lemn cu cea mai mare pondere din producția industrială la nivel mondial. Există două tipuri distincte de astfel de produse: pe bază de așchii și pe bază de fibre din lemn.

- Produsele aglomerate din așchii de lemn, cunoscute generic sub denumirea de PAL (EN312:2004), ocupă peste 40 % din producția mondială de plăci compozite din lemn, cu tendințe de creștere în cazul plăcilor speciale tip OSB. Prezentarea utilajelor, tehnologiilor și a prelucrării materiei prime precum și a proprietăților și domeniilor de utilizare a plăcilor tip PAL este realizată în detaliu într-o serie de lucrări fundamentale [Barbu et al., 2014; Blinzer et al., 2014; Bularca, 1996; Deppe&Ernst, 2000; Irle et al., 2013; Istrate, 1983; Klauditz et al., 1960; Kollmann, 1982; Malloney, 1993; Marra, 1992; Mitișor&Istrate, 1983; Mitișor&Lunguleasa, 2002; Paulitsch, 1989; Paulitsch&Barbu, 2015; Râmbu, 1980; Reh, 2013; Schniewind et al., 1989; Soine, 1995; Wagenführ&Schulz, 2012; Walker, 2006].

În evoluția PAL o etapă nouă o constituie apariția structurilor de tip: OSB, "Waferboard" și "Flakeboard", caracterizate prin așchii subțiri dreptunghiulare, pătrate cu geometrie și format mare (>2 cm) special definite și individualizate, cu sau fără orientare structurală.

- Plăcile din așchii lungi orientate, Oriented Strands Board (OSB) și-au găsit utilizarea în SUA, ca înlocuitor al placajului. Așchiile ce intră în structura acestor plăci se obțin din bușteni de foioase moi sau rășinoase, prin așchiere tangențială în așchietoare centrifugale sau cu disc. Dimensiunile optime ale așchiilor lungi (strands) sunt: lungimea 20 - 120 mm, lățimea 10 - 25 mm și grosimea 0,3 – 0,6 mm. Structurile OSB tristratificate au miezul format din așchii cu dimensiuni reduse și fețele din așchii lungi dreptunghiulare, orientate paralel cu axa longitudinală a plăcii. Creșterea rapidă a producției mondiale de plăci OSB se datorează domeniului de utilizare, cu predilecție construcții (pereți exteriori-interiori, tavane, dușumele, scări, elemente în grinzile stratificate etc.) și a impus apariția unor norme specializate, distincte celor pentru PAL sau placaje (EN300:2012).

- Plăcile din așchii de lemn pătrate și subțiri, Flakeboard se diferențiază de plăcile OSB prin forma și mărimea așchiilor. Raportul dintre lățimea și lungimea așchiilor este de 1:1 până la 2:1, iar grosimea așchiilor denumite "flakes" este mai mică decât a furnirelor uzuale (sub 1 mm).

- Plăcile din așchii de lemn pătrate și groase, Waferboard sunt asemănătoare ca structură plăcilor de tip "Flakeboard". Deosebirea constă în forma așchiilor care sunt pătrate cu latura de 30 - 70 mm și grosimi mari de peste 1 mm. Comparativ cu OSB, acest tip de plăci se caracterizează prin valori mai reduse ale rezistențelor. Față de placaj însă, gradul de utilizare a materiei prime în cazul acestor plăci este mult superior. Domeniile de utilizare se suprapun cu cele ale placajului de exterior, respectiv în construcții.

- Grinzile din așchii lungi orientate, Oriented Strand Lumber (OSL), se fabrică din același tip de materie primă și tehnologie ca OSB, diferențiindu-se numai forma produsului final tip grindă și orientarea paralelă a tuturor așchiilor pe direcția axei acesteia. Utilizarea principală a acestor produse este ca grinzi în structura portantă a acoperișurilor.

- Produse aglomerate din fibre de lemn, cunoscute generic prin prescurtări ca PFL/PAF/MDF/HDF (EN622:1-5:2003-2010) ocupă pe plan mondial locul al 3-lea după PAL și placaje. În lume s-au produs în anul 1995 cca. 8 milioane m³, iar în anul 2010 peste 60 milioane m³. Plăcile din fibre de lemn sunt prezentate detaliat ca tehnologie și proprietăți în lucrări de referință [Barbu, 2002; Bularca, 1996; Deppe&Ernst, 1996; Istrate, 1983; Kollmann, 1982; Lampert, 1966; Malloney, 1993; Marra, 1992; Mitișor&Istrate, 1983; Paulitsch, 1989; Paulitsch&Barbu, 2015; Schniewind et al., 1989; Soiné, 1995; Walker, 2006; Wagenführ&Scholz, 2012].

- Produse aglomerate din fibre și așchii de lemn inițial cercetate și realizate la scară pilot între anii 1970-1980, au fost realizate pentru prima dată la nivel industrial în 1999 în Portugalia. Echipamentul industrial permite producerea, cu ajutorul aceleiași prese continue, atât a PAL (1.400m³/zi) sau MDF (600m³/zi) sau noul produs sub formă de placă cu miez din așchii și fețe din fibre (1-2 mm) [Paulitsch&Barbu, 2015]. Avantajul acestui nou tip de placă îl reprezintă posibilitatea finisării directe a suprafețelor, densitatea redusă, consum de adeziv scăzut în condițiile unei capacități de mulare superioare.

- Produse aglomerate mulate din fibre și așchii de lemn. Spre deosebire de procedeele clasice de realizare a structurilor din lemn, caracterizate prin forme de bază: rame, panouri, cutii etc., prin procedeul de

mulare se poate realiza o gamă impresionantă de forme. Obținerea produselor de configurație complexă, caracterizate de suprafețe plane și curbe, se poate realiza cu consum sporit de energie și manoperă prin modificarea formei geometrice naturale a lemnului. Ideal este ca lemnul divizat la dimensiuni foarte reduse să fie supus unor tratamente fizico-chimice prin care să se activeze și constituenții săi chimici de bază (lignină), care să realizeze adeziunea necesară menținerii formei complexe impuse prin mulare. Date referitoare la procesul de mulare se regăsesc în lucrările de specialitate [Barbu, 2002; Bodig&Jayne, 1982; Marra, 1992; Mitișor&Istrate, 1983; Mitișor et al., 1996; Paulitsch&Barbu, 2015; Petrican et al., 1986; Lampert, 1966].

- Peleți din lemn se produc prin extrudare din așchii fine, rezultate de la prelucrarea lemnului uscat (600 kg/m^3), fără rășini sintentice, după o prealabilă uscarea, cu adaos limitat de amidon (EN ISO 17225:2014). În numai un deceniu, producția a ajuns 15 milioane t în Europa, iar prognoza imediată indică creșteri de 50% [Kaltschmitt et al., 2009; Lunguleasa, 2009; Paulitsch&Barbu, 2015;]

- Alte materiale compozite din fibre de lemn sunt reprezentate și de hârtie și structurile rezultate din amestec cu plasticul.

- Hârtia se obține din fibre lemnoase individuale, în mănunchiuri sau fragmente uniformizate la aceeași lungime, rezultate în urma defibrării chimice, termo-chimice și/sau mecanice și este un domeniu cu importanță tehnologică și economică majoră, care nu este inclus în această lucrare .

- Materiale din fibre de lemn ranforsate cu plastic (Wood Plastic Composites, WPC), reprezintă pe plan mondial un produs nou, realizat din combinații între lemn sub formă de așchii fine, fibre și particule, pe de o parte (>60%) și mase plastice de tip polietilenă (PE), polipropilenă (PP) ș.a., pe de altă parte (<40%), în diferite stări de agregare și forme (solid ca pulberi sau fibre și lichid), folosind tehnologii cunoscute în industria maselor plastice (injectie, extrudare). Exemple concrete sunt prezentate în lucrări reprezentative [Bodig&Jayne, 1982; Kim&Pal, 2010; Klyosov, 2007; Marra, 1992; Paulitsch&Barbu, 2015; Rowell, 2013; Schniewind et al., 1989; Tichy, 1998; Youngquist, 1999 etc.].

1.3 STRUCTURI COMPOZITE LIGNO-CELULOZICE

Pentru fabricarea structurilor compozite sunt preferate speciile de lemnoase, dar se pot folosi și deșeuri ligno-celulozice de origine vegetală din agricultură, precum și deșeuri urbane. Elementele care influențează hotărâtor tehnologia de fabricare sunt: tipul, dimensiunile, proporția și compoziția chimică.

1.3.1 DEȘEURI LIGNO-CELULOZICE REICLATE

Deși colectarea, transportul, depozitarea, sortarea și tratarea lemnului "vechi" solicită un consum suplimentar de energie, utilizarea sa și economia de materii prime valoroase evidențiază deja că acest proces este avantajos și practicabil din punct de vedere economic.

1.3.1.1 Lemn din „pădurile urbane”

În tot mai multe țări, s-a introdus sistemul de management și sortare a deșeurilor: metalice feroase/neferoase (aluminu, staniu, cupru), mase plastice (PE și PP), sticlă și deșeuri cu un conținut ridicat de substanțe ligno-celulozice (hârtie, cartoane, ambalaje din lemn) și resturi menajere. Sursele de deșeuri lemnoase provin din prelucrarea primară, demolări, șantiere, mobilier vechi, ambalaje, operațiuni de igienizarea spațiilor verzi, construcții industriale, traverse căi ferate, stâlpi, docuri etc. În Europa se aproximează că lemnul rezultat din construcții, șantiere, ambalaje se reciclează complet, în sensul revalorificării ca materie primă pentru industria plăcilor compozite sau termic pentru producerea energiei din biomasă [Kaltschmitt et al., 2009; Lunguleasa et al., 2008; Paulitsch&Barbu, 2015]. La nivel european se aproximează că 30% din volumul total de masă lemnoasă nu provine din păduri [Mantau et al., 2010]. Dacă în anul 1970 materia primă lemnoasă reprezenta numai 20% din costul de fabricație a plăcilor din așchii de lemn, astăzi proporția atinge 50% cu tendințe de creștere. Italia, Japonia și SUA sunt primele țări care, încă din anul 1980, au început reciclarea lemnului vechi și deșeurilor ligno-celulozice pentru producerea de plăci compozite [Barbu, 2002].

La nivel central european a apărut un criteriu cu caracter eliminativ în definirea și sortarea lemnului vechi în vederea reciclării ca materie primă pentru industria plăcilor compozite. Lemnul considerat “deșeu reciclabil” trebuie să fie sortat și analizat în următoarele clase de contaminare cu referire la tratamentul chimic aplicat:

- H1 – lemn netratat, neprelucrat, nefinisat, necontaminat
- H2 – lemn înțeliat, înobilat sau acoperit cu materiale care nu conțin substanțe halogene și nici materiale de protecție (ignifuge, insecticide, fungicide, antiseptic etc.)
- H3 – lemn tratat cu substanțe halogene, dar netratat cu materiale de protecție
- H4 – lemn contaminat cu substanțe nocive
- H5 – lemn contaminat cu substanțe toxice [Barbu, 2002 după AltHolzV: Altholzklassen].

Valorile maxime admisibile, modul de prevalare a probelor și metodologia de analiză pentru deșeurile din lemn au încă valoarea orientativă și, în general, se stabilesc regional și de la caz la caz, în special pentru arderea în centrale termice și depozitarea în platformele pentru gunoaie. O categorie importantă de lemn reciclat își are originea în (euro)paleți, lăzi, elemente din componența construcțiilor vechi (podele, acoperișuri, ferestre, uși etc.). Există însă o categorie “greu reciclabilă”, care constă în lemnul impregnat cu substanțe considerate între timp toxice (cupru-crom-arsen, pentaclorfenol, ddt etc.). În conformitate cu DIN 51731 se pot indica următoarele clase pentru sortarea deșeurilor ligno-celulozice în vederea reciclării termice sau ca materie primă pentru industria plăcilor din lemn (tab.1.3.1.1). În majoritatea fabricilor de PAL din vestul Europei sunt înglobate linii tehnologice distincte, dotate cu utilaje specializate, ce pot realiza zdrobirea, mărunțirea sortimentelor variate, fiind dotate cu un cilindru port-cuțit, pe care se montează cuțite masive care, la viteze de rotație scăzute, sunt capabile să dezintegreze și elementele de legătură din componența acestora (cuie, șuruburi, balamale, cabluri). Dotate cu motoare cu o putere instalată ridicată (0,5 MWh), utilajele reușesc să prelucreze “lemnul reciclat” la capacități de peste 60 t/h. Elementele rezultate conțin metale care se elimină parțial cu ajutorul unor electro-magneți puternici (cele feroase). Omogenizarea la nivel de tocătură într-o formă relativ regulată se realizează în mori cu ciocane, din care se elimină elementele metalice feroase cu ajutorul altor electro-magneți. Tocătura se sortează cu site orizontale și în curent de aer, se spală pentru a elimina incluziunile metalice, plastice și minerale și din nou se trece printr-un filtru magnetic. Astfel rezultă un amestec neomogen atât ca formă, cât și ca specie și umiditate, de aceea utilizarea ulterioară trebuie să se facă cu atenție și în proporții bine stabilite. În funcție de sortimentul de reciclat (H1-H3) proporția impurităților este de 2,5-8% raportat la greutatea totală. Aceasta se compune de regulă din 1-3% praf, 0,5% impurități feroase, 0,1% impurități neferoase, 0,2% materiale plastice și celulozice, 1-4% nisip, pământ, pietre, ciment, cărămidă etc. [Barbu, 2002].

Tabelul 1.3.1.1: Direcții orientative pentru sortimentele de deșeurile din lemn reciclat [Barbu, 2002]

Originea deșeurilor	Clasa	Originea deșeurilor	Clasa
AMBALAJE:		CONSTRUCȚII EXTERIOARE:	
lăzi transport	H1	uși și praguri exterioare	H2
lăzi muniție/armament	H3	balcoane, ferestre, rame	H3
lăzi legume/fructe	H1	magazii, anexe, boxe	H3
tamburi cabluri	H3	garduri, pergole	H3
euro-paleți	H1	mobiliier gradină	H3
paleți din plăci	H2	bânci	H3
LEMN CONSTRUCȚII:		CONSTRUCȚII INTERIOARE:	
lemn masiv	H1	din lemn masiv	H1
grinzi compozite	H2	din plăci compozite	H2
cofraje lemn/compozite	H2	din structura de rezistență	H1
DEMOLĂRI:		SORTIMENTE SPECIALE:	
elemente din acoperiș	H1	podele spații industriale	H3
învelitoare	H2	traverse cale ferată	H3
pereți interiori	H2	garduri, stâlpi	H3
lambriuri	H2	împrejmuiri protecție	H3
MOBILIER VECHI:		EXPLICAȚII:	
din lemn masiv	H1	H1: materie primă fără tratament	Plăci
din PAL, placaj, PFL	H2	H2: materie primă cu tratamente	Plăci
din MDF, alte plăci	H2	H3: combustie fără restricții	Energie

1.3.1.2 Reciclarea plăcilor din construcții și mobilier³

Prin costurile de producție scăzute ale mobilierului și altor structuri din lemn, datorate atât automatizării proceselor, cât și utilizării noilor tipuri de plăci compozite din lemn, durata de viață a produselor în care acestea sunt înglobate a scăzut, în medie, la 20-30 ani și de aceea a apărut o categorie nouă de deșeuri ligno-celulozice din mobilier și construcții din lemn vechi. Fără a se oferi o soluție în sensul recuperării și refolosirii superioare (în afara arderii ca alternativă finală în vestul Europei) a acestor deșeuri, există pericolul apariției unei potențiale surse de poluare, contaminare și accidentare a mediului și populației din regiunile în care obligativitatea reciclării totale încă nu există. Acest sortiment de deșeuri ligno-celulozice poate fi considerat însă și ca o sursă de materie primă lemnoasă la fabricarea plăcilor compozite, strategie care poate fi evaluată ca eficientă și economică în conformitate cu legislația europeană în vigoare din anul 2005, care în cazul Germaniei, Austriei, Elveției etc., interzice depozitarea pe platformele de gunoi a deșeurilor cu un conținut mai mare de 5 % în substanțe organice. Există însă o serie de aspecte particulare cu privire la compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale acestor deșeuri rezultate din reciclarea plăcilor compozite cum ar fi:

- gradul de comprimare remanent combinat cu înclieirea, determină ca greutatea specifică a tocăturii rezultate din plăci să fie 2-3 ori mai mare față de cea proaspătă din rășinoase. Creșterea în greutate a plăcii rezultate este, de regulă, de peste 10%;
- deși plăcile sau înclieirile realizate acum 2-5 decenii s-au fabricat utilizând rășini cu un raport molar ridicat ($F/U > 1,2$) și cu emisii mărite de formaldehidă liberă (E2, E3 etc.), aceasta situație, în general, nu mai reprezintă o problemă acută datorită emisiei în timp, dar se impune a se monitoriza permanent;
- în general, plăcile sunt fie acoperite cu folii tip PVC sau cu hârtie decorativă (melaminată), care în urma mărunțirii și tocării se desprind, datorită greutății și elasticității diferite, și prin sortare mecanică și în curent de aer, pot fi complet eliminate;
- acoperirile cu lacuri (cu excepția poliesterului) nu necesită un tratament special, iar resturile existente la suprafața tocăturii nu influențează negativ procesul de tratare respectiv defibrare, așchiere și în fapt, nu solicită o tratare și sortare suplimentară;
- de asemenea, în afara îmbinărilor cu lemn (cep, lambe-uluc, șipci) există și o serie de feronerie (ornamente, balamale etc.) sau îmbinări cu șuruburi și cuie din metal sau plastic dur.

Randamentul instalațiilor depinde de sortimentul de materie primă reciclată, dar și de modul de combinare a utilajelor. Așa cum s-a prezentat anterior, există deja echipamente specializate în reciclarea plăcilor compozite lemnoase prin tocare și tratare cu abur în recipiente specializate, în vederea diminuării sau "distrugerii" legăturilor determinate de rășinii între așchii și/sau fibre. În cazul unor plăci înobilate (lamine sau ranforsate) cu metale, fibre de sticlă sau mase plastice, se impune eliminarea acestora într-o fază distinctă a procesului. Așchiile și/sau fibrele rezultate sunt uscate și în combinație cu materie primă lemnoasă (proaspătă) conduc la obținerea unor plăci compozite cu proprietăți superioare.

Principalele faze ale procesului de reciclare a deșeurilor lemnoase sunt: recuperarea, transportul, depozitarea, separarea, sortarea de alte materiale, tocarea, tratarea și defibrarea. În funcție de calitatea materialului lemnos reciclat și destinația optimă a plăcilor se pot introduce în fluxurile de fabricație a PAL, MDF, LDF și, în special, în procedeul umed și deșeuri din hârtie și carton [Barbu, 2002].

Pentru reciclarea plăcilor compozite din lemn s-au pus la punct, la nivel de instalații de laborator sau stații pilot, echipamente specializate, care sunt și obiectul unor patente internaționale (tab.1.3.1.2) [Barbu, 2002].

Hârtia și cartonul reciclat, în legislația germană, poartă deja denumirea de materie primă secundară, pentru care se prevede o cotă de reciclare de până la 60% (Kreislaufwirtschaftsgesetz, 1992). În această categorie de materiale reciclabile, pe lângă lemnul din construcțiile vechi necontaminate (tip H1-H3), fac parte, în special, produsele industriei hârtiei și celulozei. O alternativă și implicit o valorificare superioară a acestei surse de materie primă ligno-celulozică este industria plăcilor compozite din lemn, în special a

³ Autorul a coordonat mai multe proiecte de cercetare la FHS (2012-2016) despre valorificarea superioară a lemnului din construcții vechi la nivel de laborator (Kuchl), iar rezultatele au fost implementate, la partenerii industriali din Austria, pentru fabricarea plăcilor stratificate cu fețe din lemn învechit, urmând să finalizeze 3 teze de disertație, la cele 4 teze de licență finalizate și în plus lucrări la conferințe internaționale. Rezultatele fiind confidențiale, încă nu s-au elaborat materiale pentru publicații !

celor din fibre. Prin reciclare se produc două efecte nedorite: estetic – închiderea culorii și fizic – mărunțirea fibrelor, fapt care implică îngreunează utilizarea (pierderi material, consum suplimentar rășini etc.) [Roffael&Dix, 1997].

Tabelul 1.3.1.2: Procedee pentru reciclarea plăcilor compozite din lemn [Roffael&Dix, 1997]

Tip procedeu	Autorul/Anul	Principiul de funcționare
Reciclare fără deteriorarea legăturilor dintre fibrele lemnului	Sandberg, G., 1963 Patent: DE-AS 1201045	Procedeu pentru recuperarea așchiilor din deșeuri încleiate. Tratament în autoclave la 1-5 bar timp de 0,5-4 h, urmat de prelucrare mecanică. Așchiile capătă prin tratamentul îndelungat miros și culoare.
	Pfleiderer AG, 1993 Patent: DE-OS 4224629	Procedeu de reciclare a plăcilor compozite din mobilier vechi, prealabil tocate și uniformizate în autoclave cu abur timp de 2-5 min. la 4-5 bar, respectiv 140-160°C, urmate de sortare, tratare chimică sau adaptarea adezivilor, datorită ureei și pH-ului modificat.
	Michanickl, A., Boehme, C. 1994 Patent: DE-OS 19509152 DE 4408788.8	Procedeu de revalorificare a plăcilor din mobilier vechi. Tocătura este prealabil impregnată la 150-200 mbar, timp de 5-15 min, cu uree și NaOH, până ce greutatea crește cu 50%. Apoi se face tratarea în autoclave la 110°C, timp de 20 min, urmată de sortare. Randamentul instalației este max 70%. Se pretează numai la plăci încleiate cu UF/MUF Aplicație la nivel laborator și scară pilot.
	Roffael, E., Kharazipour, 1994 Patent: DE-OS 4428119 EP 0700762/95	Procedeu de fabricare a plăcilor compozite din deșeuri din lemn vechi reciclat (Retro) se aplică pentru tocătura din mobilier vechi care se pulverizează cu tanini. În urma hidrolizei din autoclave formaldehida liberă determină policondensarea taninilor sub influența temperaturii în momentul presării și adaosului de întăritor.
Reciclare cu deteriorarea fibrelor lemnului	Roffael, E. Dix, B., 1993 Patent: DE-PS 4334422	Procedeu de extracție a substanțelor adezive din plăcile din așchii și fibre prin metode termo-chimice și utilizarea ca substanță de adaos la adezivi.
Procedee speciale	Möller, A., 1994 Herrlich, S.	REHOLZ – un nou material din mobilierul vechi

La prelucrarea hârtiei reciclate, ca materie primă pentru fabricarea plăcilor din fibre, este necesar să se țină cont de o serie de aspecte cum ar fi:

- eliminarea fracțiunii fine, care determină creșterea consumului de rășină, mărește greutatea și scade rezistențele plăcii;
- dozarea și amestecul fibrelor rezultate din reciclarea hârtiei și cartonului cu cele proaspete din lemn;
- în funcție de posibilități, se recomandă separarea utilajului pentru producerea fibrelor din hârtie și carton reciclat.

Pentru reciclarea la scara industrială a hârtiei și cartonului, în cazul concret al Germaniei, au fost identificate procedeele și căile de reutilizare ale acestor fibre. Astfel, 50% din cantitatea totală de hârtie veche recuperată poate fi reciclată în vederea fabricării hârtiei, 10-15% sunt deșeuri care nu permit o valorificare superioară în afara celei energetice. 30-40% din deșeurile din carton și hârtie permit utilizări ca materiale de umplură în industria plăcilor compozite pentru construcții (în amestec cu ciment, gips etc.), industria maselor plastice sau pentru compostare [Barbu, 1999; Barbu, 2002].

1.3.2 RESURSE VEGETALE LIGNO-CELULOZICE⁴

În urma analizei selective a literaturii de specialitate, referitoare la plăcile compozite din deșeuri vegetale, se remarcă existența unor preocupări susținute în conceperea de noi structuri și tehnologii, care să

⁴ Autorul și-a continuat cercetările și preocupările și după finalizarea primei teze de doctorat [Barbu, 1995] și publicării primei cărți [Barbu, 1999] a îndrumat alte studii despre valorificarea superioară a acestor resurse la UHH (Hamburg : 2006-2011) despre bambus, lemn de cocotier, coaja nucilor de cocos etc., dar și la FHS (Kuchl : 2014-2016) folosind coji de nuci și alune. Mai multe detalii se oferă la subpunctele care tratează aceste teme !

conducă la caracteristici fizico-mecanice superioare pentru utilizări cu destinații speciale, în condițiile unor prețuri reduse [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Barbu et al., 2014; Coșereanu, 2015; Deppe&Ernst, 2000; Dix et al., 2009; Domier, 1995; Hague et al., 1997; Hesch, 1993; Hora&Thole, 2007; Paulitsch&Barbu, 2015; Rowell, 1995; Swiderski, 1960; Tröger et al., 1994; Tröger&Wegener, 1997, Youngquist et al., 1996].

Cercetări susținute au urmărit aspectele referitoare la compoziția structurală a materialelor ligno-celulozice, respectiv: proporția dintre elementele componente, compatibilitatea dintre acestea, tipurile și caracteristicile adezivilor utilizați.

S-au etalat diferite tehnologii de realizare și prelucrare a acestor materiale compozite din materia primă ligno-celulozică cum ar fi prin: presare, extrudare, turnare, formare în curent de aer, tehnologii în mediu uscat, semiuscat și umed, care includ diferite tratamente termice, chimice, termo-chimice, termo-mecano-chimice etc. Cercetările au urmărit stabilirea parametrilor tehnologici și caracteristicilor fizico-mecanice ale materialelor compozite obținute în comparație cu cele plăcile standard: placaj, PAL, PFL, OSB sau alte structuri unimaterial.

Criteriile de apreciere a noilor plăci compozite ligno-celulozice au fost de regulă:

- gradul de valorificare a materiei prime și proporțiile de amestec;
- randamentele la utilizarea surselor de materie primă;
- masa volumică sau masa pe unitatea de suprafață;
- valorile limită ale rezistențelor la diferite solicitări mecanice;
- rigiditatea și elasticitatea produselor, exprimate prin valorile modului de elasticitate;
- proprietățile fizice specifice materialelor pe bază de lemn;
- proprietățile ecologice (emisii de formaldehidă etc.);
- biodegradabilitatea și reciclabilitatea etc.

Un accent deosebit se pune pe proprietățile tehnologice ale materialelor compozite ligno-celulozice referitoare la prelucrarea prin metode clasice, cu tehnologii modificate, tipuri de scule și instalații de prelucrare adaptate, automatizarea proceselor de prelucrare, condiții de muncă specifice etc. Combinațiile lemn-fibre vegetale și biomasă sunt o alăturare logică, datorită existenței unei compatibilități între structura macro- și microscopică, compoziția chimică a acestora și costurile relativ reduse, în condițiile atingerii unor performanțe ridicate în comparație cu materialele compozite realizate cu fibre sintetice. Cercetările de viitor se orientează spre identificarea unor soluții tehnico-economice, care să permită valorificarea superioară și a deșeurilor ligno-celulozice reciclabile, în combinație cu alte materiale (lemn, ciment-gips, plastic, deșeuri urbane etc.). Astfel, se protejează resursele forestiere existente și se dezvoltă programe cu caracter ecologic.

Materialele compozite de tip lemn-resturi vegetale se caracterizează prin:

- costuri reduse ale materiei prime;
- resurse ușor disponibile și inepuizabile;
- similitudinea proprietăților fizice și structurii chimice;
- consum redus de energie convențională;
- proprietăți ecologice;
- reciclare simplă,

cunoscându-se însă dezavantajul degradabilității ușoare al acestora la atac bio-foto-chimic.

Se pot combina cu lemnul diverse tipuri de fibre vegetale cum ar fi:

- plantele textile (in, cânepă, rafie, bumbac);
- tulpinile păioase ale cerealelor (grâu, orz, orez, porumb, secară);
- alte plante cu utilizări industriale (bambus trestia de zahăr, trestia, palmierul etc.).

În continuare, sunt prezentate informații referitoare compoziția chimică, proprietățile, disponibilitatea, tehnologia și cercetarea acestor plante anuale, perene și agricole. De peste 50 de ani, la scară mondială se fac eforturi continue în sensul utilizării deșeurilor din plante ca materie primă alternativă pentru fabricarea plăcilor compozite. Câteva exemple de plăci compozite realizate din resurse vegetale ligno/celulozice sunt prezentate în figura 1.3.2.0.



Figura 1.3.2.0: Exemple de plăci realizate din bambus, cânepă, orez, miscanthus (sus), trestie de zahăr, ierburi (elefantului, alfa), paie de grâu (jos) [Barbu, 2002 după Bison]

1.3.2.1 Plante fibroase⁵

Din categoria plantelor fibroase utilizate cu precădere în industria textilă, potențiale surse de materie primă pentru plăcile compozite, fac parte următoarele specii:

- cu fibre părăoase: bumbac, manila (*Musa textilis*), kapok (fam. *Bombacaceae*) etc;
- cu fibre elastice: in, cânepă, iută, ramie (*Boehmia nivea*) etc;
- cu fibre dure: curmal, palmier, bananier, sisal (*Agave rigida*) etc.,

care au un conținut ridicat de celuloză, lignină, pectine și alte substanțe (tab.1.3.2.1) [Barbu, 1999; Barbu, 2002].

Tabelul 1.3.2.1: Compoziția chimică a plantelor fibroase [Barbu, 2002 după Hesch, 1993]

Planta	UM	Celulo-ză	Hemi-celuloză	Pectine*	Lignină	Subst. diz. apă	Grăsimi-ceruri
Bumbac	%	82,7	5,7	-	0	1	0,6
In verde	%	56,5	15,4	3,8	2,5	10,5	1,3
In topit	%	64,1	1,7	1,8	2	3,9	1,5
Cânepă	%	67	16,1	0,8	3,3	2,1	0,7
Iută	%	64,4	12	0,2	11,8	1,1	0,5
Ramie	%	68,8	13,1	1,9	0,6	5,5	0,3
Kenaf	%	55-59	18-20	4,5-5	6,8-8	-	0,6-1,8
Manila	%	63,2	19,6	0,5	5,1	1,4	0,2
Miscanthus	%	40	-	31	20	6	-
Palmier	%	52,7	-	21,6	15,1	7,2	-
Sisal	%	65,8	12	0,8	9,9	1,2	0,3

* Valorile sunt determinate la umiditatea de 10 %.

Diferențele de structură anatomică și chimică determină proprietăți cu variații mari de la o specie la alta, uneori chiar și în cadrul aceleiași specii, datorate condițiilor de vegetație și microclimat. În general conținutul de celuloză și lignină din plantele anuale este mai redus decât la lemn, iar proporția de hemiceluloză și cenușă (4-8%) este ridicată. Din punct de vedere morfologic existența cuticulei și epidermei, ca strat protector, în general bogat în ceruri, protejează tulpina plantelor la contactul cu apa,

⁵ Cercetările experimentale efectuate de autor în cardul primei teze de doctorat [Barbu, 1995] în domeniul materialelor compozite, în laboratoarele Institut für Holzforschung ale LMU (Munchen) în perioada 1993-1994 au evidențiat efectul pozitiv al armării PAL cu inserții din fibre de in și au generat publicații și lucrări prezentate la conferințe internaționale (1995-1998)

crează însă dificultăți la înclieierea fibrelor. În condițiile unor tratamente termice adecvate aceste țesuturi se pot elimina și efectul lor nefavorabil asupra calității înclieierii se diminuează. Criteriul de bază pentru stabilirea compatibilității ca materie primă este structura fibroasă a materialului, care rezultă după defibrare. De exemplu, coaja stejarului de plută (*Quercus suber*), datorită structurii anatomice, nu se pretează la producerea de fibre, în schimb este deosebit de căutată pentru materiale fono-izolante. Se impune, de asemenea, ca utilajele (transportoare, cuțite, segmente defibrare) și regimul de prelucrare (de exemplu durata de tratare termică) să fie adecvate structurii anatomice și compoziției chimice a materiei prime de origine vegetală.

Plantele fibroase ca: inul, iuta, cânepa, bumbacul, palmierul etc., deși fac parte din familii înrudite și au structuri anatomice asemănătoare, au însă o compoziție chimică diferită (proportia de celuloză, lignină, pectine și alte substanțe). Prezentarea comparativă a principalelor caracteristici fizice și componente chimice ale plantelor fibroase utilizate frecvent în industrie s-a făcut în tabelul 1.3.2.1. [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Barbu et al., 2014, Paulitsch&Barbu, 2015]

Inul (*Lineum usitatissimum*), iuta (*Corchorus capsularis*) și cânepa (*Cannabis sativa*), plante cu un conținut ridicat de celuloză, atât al părții lemnoase, cât și al fibrelor (tab.1.3.2.1), au fost utilizate industrial încă din 1956 la producerea PAL (fig.1.3.2.1.1)[Deppe&Ernst, 2000; Swiderski, 1960]. Totuși aceste plăci compozite au dezavantajul unei abrazivități excesive și umflări ridicate, care însă poate fi redusă prin tratamente (acetilare) și rășini specializate (FF, MUFF, PMDI).



Figura 1.3.2.1.1: Exemple de plăci compozite ușoare (PAL) produse industrial din reziduri de plante textile: cânepă (stânga), paie cereale (centru), in (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015]

Cu toate că inul a pierdut de aproape o jumătate de secol supremația în domeniul textil, în favoarea bumbacului și a fibrelor sintetice, în comparație cu celelalte plante textile deține în continuare locul 4 în producția mondială, având noi domenii de utilizare:

- la armarea diverselor compozite (biopolimeri, mase plastice, PAL etc.)
- ca materie primă în industria celulozei și a plăcilor izolatoare din gips-ciment;
- ca ambalaje, izolații și la construcțiile de mașini [Barbu, 2002].

Deși calitatea fibrelor de in este influențată de o serie de factori, comparativ cu fibrele de sticlă și altele de origine vegetală, acestea asigură varianta optimă din punct de vedere al performanțelor dorite (rezistențe, greutate și dimensiuni), dar și al costurilor reduse de două ori față de fibrele de sticlă și respectiv de zece ori mai mici ca aramida și carbonul. Principalele proprietăți fizico-mecanice ale fibrelor de in, iută, bananier și urzică sunt prezentate comparativ cu cele din sticlă în tabelul 1.3.2.1.1.

Tabelul 1.3.2.1.1: Proprietățile fibrelor utilizate la fabricarea compozitelor [Barbu, 2002 după BMFT]

Proprietatea	UM	Fibre sticlă		Fibre de in		Fibre lută	Fibre banan.	Fibre urzică
		Tip E	tip G	lungi	Tehnic			
Rezistența la tracțiune	MPa	3400	4400	1100	760	320	410	740
Modul de elasticitate	GPa	73	86	64,5	39,9	37	22,6	64,8
Deformația relat. la rupere	%	4,5	5,2	1,7	1,9	2,4	1,8	1,2
Diametrul fibrei	μm	3-25	3-25	10-30	55-74	66	89	49
Densitatea fibrei	g/cm ³	2,6	2,53	1,48	1,48	1,45	0,54	1,51
Umiditatea fibrei *	%	< 0,1	< 0,1	7,1	7,1	12,5	8,8	7,2

* Umiditatea fibrelor și testarea proprietăților acestora s-a făcut după o condiționare prealabilă la 65 % umiditate relativă a aerului și 20°C.

De obicei această materie primă se livrează sub formă de baloți formați dintr-un amestec de tulpini frânte, fibre scurte și rămășițe din paie. În condiții de umiditate scăzută și depozitare corespunzătoare se pot păstra perioade îndelungate. La prelucrarea acestor baloți este necesar un echipament corespunzător (existent în industria textilă) care să afâneze, mărunțească și separe individual materia primă ce urmează a fi prelucrată. În Canada de exemplu, cu ajutorul unei stații pilot la Alberta Research Council, s-a realizat defibrarea tulpinilor din in, cu ajutorul rafinatoarelor Andritz, obținându-se fibre cu lungimea medie de 1,2 mm. Utilizând rășini de tip izocianat (PMDI) la un consum specific de 6% s-au obținut plăci MDF cu performanțe similare celor realizate industrial din fibre de lemn, fiind net superioare celor produse din paie de cereale [Barbu, 2002]. De asemenea, în straturile de mijloc ale PAL, așchiile pot fi înlocuite parțial cu in sau cânepă. Astfel de combinații au atras atenția prin utilizarea unei cantități mai mici de lemn și obținerea plăcilor ușoare [Pecenka et al., 2010]. Firma STEICO produce din anul 2005 panouri izolante din fibre de cânepă [Paulitsch&Barbu, 2015].

Cercetările experimentale efectuate de autor în cardul primei teze de doctorat [Barbu, 1995] în domeniul materialelor compozite, în laboratoarele LMU (Institut für Holzforschung), au evidențiat faptul că se pot realiza structuri cu caracteristici performante raforsând straturile de față ale PAL cu inserții de fibre din diferite materiale: naturale, minerale, sintetice. Utilizarea fibrelor de in ca material de armare în materialele compozite este recomandată de proprietățile mecanice (rezistență la tracțiune și modul de elasticitate), precum și de compatibilitatea acestora în matricea utilizată (așchii). Obținerea plăcilor compozite armate cu fibre de in presupune cunoașterea unor date referitoare la inserția din fibre, tipul și masa așchiilor și adezivii folosiți atât pentru realizarea impregnării inserției, cât și pentru înclieirea așchiilor. Structura compozită realizată de autor are forma unei plăci multistrat (PAL 38mm), cu miezul realizat din așchii grosiere din lemn sau miscanthus, iar cele două straturi de față din așchii fine cu una sau mai multe inserții de fibre din in [Tröger et al.⁶, 1995; Barbu&Tröger, 1995; Barbu, 1995; Barbu&Tröger, 1996; Barbu, 1999; Barbu, 2002].

Fibrele și frunzele de bananier (*Musa acuminata, balbisiana*) obținute în urma uscării și extragerii prin diferite metode mecano-fizice permit realizarea unor plăci compozite cu proprietăți superioare [Hesch, 1993; Barbu et al., 2014].

În mod similar, fibrele de urzică (*Urtica dioica*), plantă nepretențioasă la cultură, obținute în urma procesului de topire, constituie o sursă importantă pentru realizarea unor plăci compozite cu calități deosebite [Mieck et al., 1993].

Specific zonelor lipsite de vegetație forestieră abundentă sunt culturile de bumbac (*Gossypium spec.*). Conform surselor bibliografice [Barbu, 1999; Barbu et al., 2014; Deppe&Ernst, 2000; Paulitsch&Barbu, 2015; Youngquist et al., 1996], materialele compozite realizate din tulpini și resturi rezultate la extragerea fibrelor de bumbac, prezintă proprietăți superioare (tab.1.3.2.1.1), dar și dezavantaje tehnologice din cauza:

- uzurii rapide a sculelor așchietoare ca urmare a conținutului ridicat de substanțe duroplaste;
- distribuției neuniforme a fibrelor de-a lungul tulpinii fapt ce determină apariția unor zone cu densități variate;
- rezistențelor scăzute la agenții biodegradabili, care se intensifică în perioadele lungi de depozitare.

Pentru prelucrarea materiei prime rezultată de la extragerea fibrelor de bumbac se folosesc de obicei morile cu ciocane, care reduc consumul de energie în faza defibrării propriu-zise.

Prima instalație modernă de PAL care a utilizat tulpini de bumbac (fig.1.3.2.1.2) a demarat în China (1994) și a produs peste 30.000 m³/pe an. Încă din 1990 a început producția de MDF, cu o capacitate de 60.000 m³/an. Această instalație a fost echipată cu un defibrator de 42", un uscător într-o singură treaptă, precum și o presă cu 12 etaje [Paulitsch&Barbu, 2015 după Metso].

Curmalii pentru fructe comestibile (*Phoenix dactylifera*) și palmierii pentru ulei (*Elaeis guineensis*) sunt larg răspândiți în Asia și Africa de Nord și constituie o importantă sursă de materie primă pentru compozitele ligno-celulozice, care prin compoziția sa chimică (tab.1.3.2.1.1), conferă acestora proprietăți

⁶ După regulile de atunci ale LMU (München), conducătorul proiectului (F.Töger) era trecut pe locul 1. Autorul deși a realizat singur întregul proiect sub îndrumarea lui C.Seeman a fost menționat pe locul 3. Detalii privind proiectarea, optimizarea realizarea și testarea acestor structuri sunt prezentate în prima teză de doctorat a autorului [Barbu, 1995] și lucrările prezentate la conferințe internaționale (1995 - 1996).

fizico-mecanice superioare, în funcție de tipul și conținutul de rășini și parametrii procesului de presare (temperatură, presiune, durată). Și în acest caz se observă influența negativă a conținutului ridicat de celuloză și substanțe solubile în apă asupra umflării. Cercetările scot în evidență avantajele economice deosebite ale plăcilor compozite din trunchiuri, coajă și frunze, datorită costurilor reduse ale materiei prime [Kandeel et al., 1988, Barbu, 2002].



Figura 1.3.2.1.2: Tulpini de bumbac (stânga), moară (centru) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Pallmann]; PAL din tulpini de bumbac (dreapta)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Bison]

Culturile intensive ale palmierului pentru ulei din sud-estul Asiei ating cca. 85-90 milioane t biomasă, care rezultă din operații silviculturale în plantații sau prin înlocuiri după perioada de exploatare de 20 de ani. Trunchiurile cântăresc peste 500 kg din care 20% sunt fibre, restul fiind măduvă și alte substanțe. La o densitate a plantelor de 100 buc./ha, după defrișarea plantației rezultă 15 t fibre/ha. Frunzele care se taie anual au un conținut de 50% fibre permițând recoltarea a 1 t fibre/ha și an. Pentru producerea MDF într-o fabrică cu o capacitate instalată de 100.000 m³ este necesară la o producție de fibre de 3 t/ha și an o suprafață a plantațiilor de 30.000 ha. În țări ca Malezia, Indonezia, Thailanda acest palmier se cultivă pe suprafețe extinse de peste 4 milioane ha, deci aprovizionarea cu materie primă nu constituie o problemă majoră [Hora&Thole, 2007]. Datorită compoziției chimice a fibrelor de palmier, tratamentul termic în vederea defibrării se face la temperaturi și durate scăzute, pentru ca substanțele ușor solubile să nu fie extrase complet. Fibrele astfel obținute au lungimea medie de 10-15 mm și o culoare închisă, care se regăsește și mai departe în structura plăcilor. Proprietățile plăcilor din fibre ce provin din diferite părți ale plantei, realizate în laboratoarele WKI-Braunschweig, înleiate cu rășini UF sunt, cu excepția umflării accentuate (o diminuare fiind posibilă prin utilizarea isocianatilor), similare cu cele ale MDF. Capacitatea instalată pentru producerea MDF în aceste țări atinge la ora actuală 3,5 milioane m³/an [Barbu, 1999]. Din ramurile uscate de curmali se poate fabrica PAL (fig. 1.3.2.1.3) pentru cofraje de beton. În acest fel în Emiratele Arabe Unite se poate renunța la o parte din importul de placaj din Malaezia sau China.



Figura 1.3.2.1.3: Palmieri cu frunze uscate (stânga) și OSB fabricate din acestea (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Binos]

Aceste ramuri au fost până acum recoltate anual, din octombrie până în decembrie, apoi lăsate să putrezească sau au fost arse. Aceste cioturi conferă trunchiurilor structura tipică solzoasă. Pentru a înlătura acest neajuns a fost dezvoltată o tehnologie de către firma Binos prin care ramurile de curmali

sunt supuse unui tratament special și mărunțite în așchii sau segmente – din care se poate obține ulterior PAL sau OSB. LVL se poate fabrica, de asemenea, și din furnir obținut din trunchiul palmierului de ulei (oilpalm trunks, OPT), utilizându-se drept adezivi EPI și PVAc. Firesc, că densitatea LVL a fost mai mare decât cea a OPT. Umflarea în grosime și absorbția de apă au fost mai mari decât cel al LVL obținut din lemnul arborelui de cauciuc. Din cauza a adezivilor utilizați, acest tip de LVL se recomandă, deocamdată, numai pentru uz interior [Hashim et al., 2011; Paulitsch&Barbu, 2015].

1.3.2.2 Plante perene⁷

Din familia erbaceelor, bambusul (*Fam. Bambusa*) are o varietate mare de subspecii (de ordinul miilor), cu areal de dezvoltare în zona de climă tropicală (Asia, Africa, America Sud) și cu ritm de creștere exploziv (pentru anumite specii, în condiții optime, chiar până la 1 m/zi), diametre de până la 20 cm și înălțimi de 10-15 m. Bambusul este utilizat de milenii în alimentație, construcții, mobilier etc. O nouă și rentabilă posibilitate de valorificare a acestei plante este industria compozitelor, a plăcilor din așchii și fibre. Tocarea plantei se realizează cu mașini speciale, datorită nodurilor dure, astfel încât fragmentarea acesteia să se facă în direcția fibrei, iar materialul rezultat să aibă un grad de zveltețe ridicat. Primele plăci din fibre și așchii pentru construcții s-au realizat în amestec cu cimentul în fabricile din Thailanda și Japonia [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Deppe&Ernst, 2000; Heller, 1980; Hesch, 1993; Hidalgo-Lopez, 2003; Liese, 1985; Liese et al., 2015; Lobovikov et al., 2007; Paulitsch&Barbu, 2015; Zehui, 2007].

Datorită orientării longitudinale uniforme a fibrelor, a cavității, precum și a diametrului limitat, tuburile de bambus sunt prelucrate, în comparație cu lemnul rotund, cu utilaje mai simple și cheltuieli reduse de energie. Fâșiile de bambus pot fi tăiate manual direct din aceste tuburi sau mecanizat (fig.1.3.2.2.1, stânga). Prin tăierea manuală se pot obține și elemente de tip foaie (părțile moi și mai subțiri) (fig.1.3.2.2.1, dreapta)[Paulitsch&Barbu, 2015].

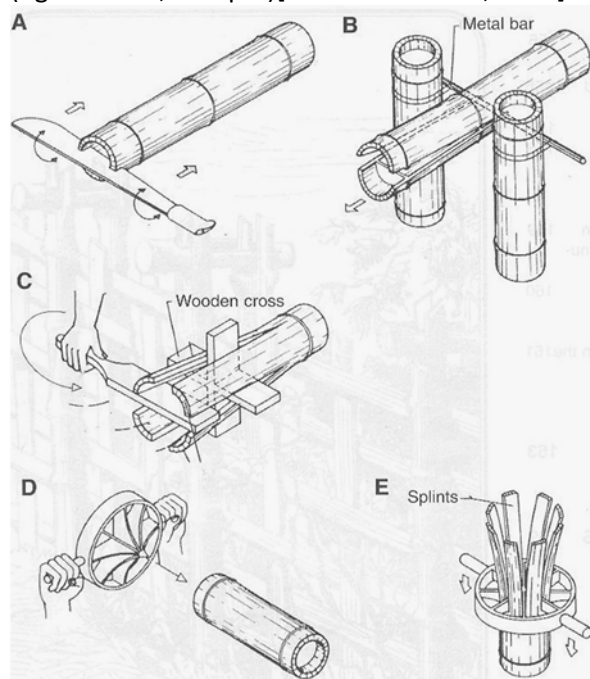
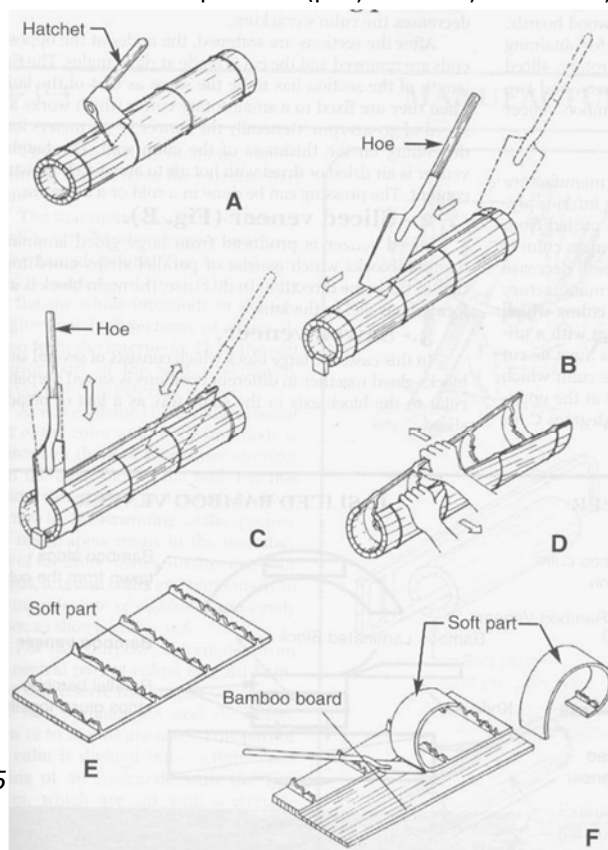


Figura 1.3.2.2.1: Procedee de tăiere a fâșiilor și foilor din tuburi de bambus [Paulitsch&Barbu, 2015]



⁷ Autorul a condus mai multe proiecte de cercetare în laboratoarele Zentrum für Holzwirtschaft ale UHH (Hamburg), în perioada 2006-2011, care au confirmat posibilitatea valorificării superioare a bambusului pentru OSB, lemnului de cocotier pentru plăci stratificate (CLT) și cojilor de nucă de cocos pentru HDS (HPL), dar și ca biomasă pentru generarea de energie și a condus 2 teze de doctorat finalizate cu succes [Malanit, 2009 ; Hengniran, 2010], mai multe lucrări de diplomă, disertație și licență, din care s-au generat publicații, lucrări prezentate la conferințe internaționale și un capitol dintr-o carte publicată într-o editură internațională [Barbu et al., 2014c]

Înainte de spintecare, tuburile de bambus sunt tăiate la aceeași lungime. În funcție de diametru, fâșiile de bambus au forme, lățimi și grosimi diferite, de aceea înainte de uscare, acestea trebuie să fie sortate după mărime, tratate cu conservanți și legate strâns în snopi în vederea prelucrării ulterioare (fig.1.3.2.2.1, dreapta). Snopii se stivuesc alernativ și perpendicular unul pe celălalt pentru a evita deformarea, dar și expunerea la degradarea biologică rapidă. Furnirele sunt fabricate fie prin tăierea plană a foilor încleiate în blocuri prin așa-numitul procedeu „fineline”, sau prin derularea segmentelor de la baza tulpinii care au pereții groși (fig.1.3.2.2.2)[Paulitsch&Barbu, 2015].

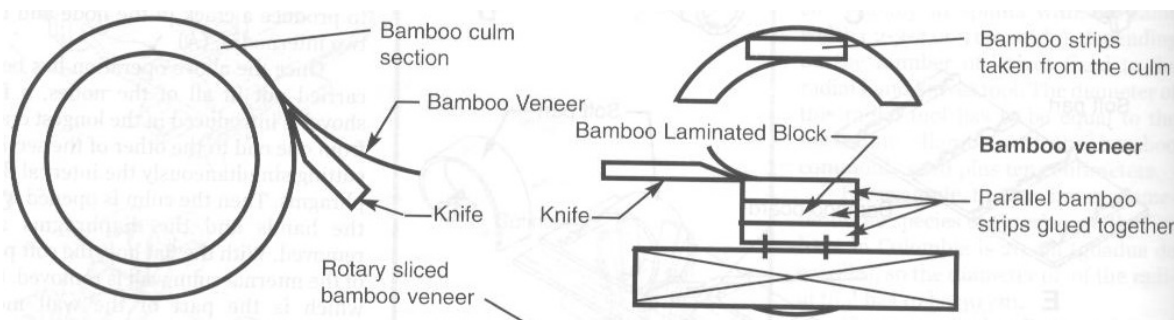


Figura 1.3.2.2.2: Producerea furnirului prin derularea tuburilor de bambus (stânga) și tăierea plană „fineline” a blocurilor rezultate din lipirea în stare umedă a foilor (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Hidalgo, 2003]

Uzura rapidă a sculelor și randamentul scăzut al instalațiilor se datorează, pe de o parte, internodurilor (1000 kg/m^3 cu schimbare bruscă a orientării fibrelor), iar pe de altă parte, scăderii densității spre interior, a tuburilor ușor conice și a stratului exterior ceruit (cuticula) [Malanit, Barbu et al., 2008]. Cu toate acestea, deși furnirele conțin neregularități se bucură de o apreciere estetică deosebită (fig.1.3.2.2.3). Prin tăierea plană a blocurilor din fâșii (fig.1.3.2.2.3, stânga) și foi de bambus rezultă furnire tip „fineline” cu modele speciale (fig.1.3.2.2.3, dreapta)[Paulitsch&Barbu, 2015].

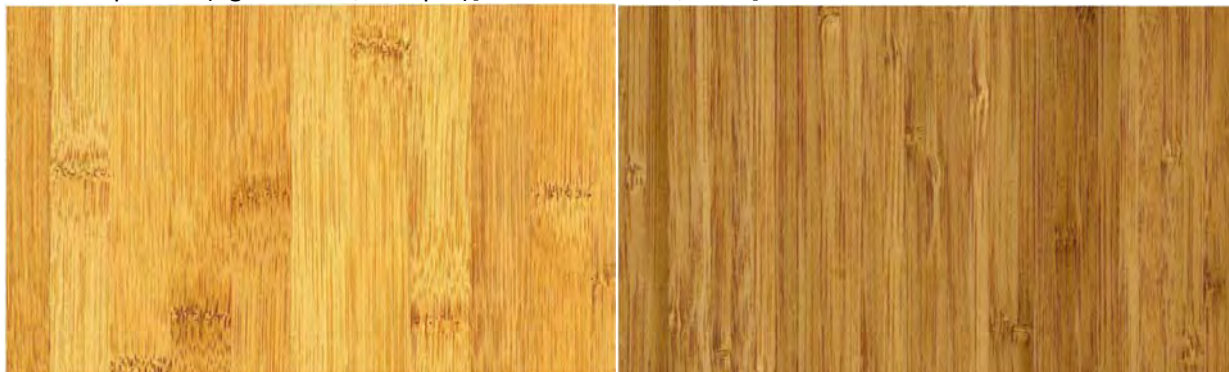


Figure 1.3.2.2.3: Furnire tăiate plan prin procedeu „fineline” din blocuri încleiate în stare umedă realizate fâșii (stânga) și foi (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Frischeis]

Se pot obține și așchii lungi tip strands din tuburile de bambus cu ajutorul așchietoarelor cu discuri. Dimensiunea acestora însă este influențată de cuticula (cerată), noduri, diferențele de densitate și tendința sculei tăietoare de a cliva prin cavități. În ciuda uzurii inevitabile a tăișului, din cauza conținutului ridicat de silicați din bambus, consumul de energie este mai redus decât în cazul obținerii așchiilor lungi din rășinoase (OSB) [Malanit, Barbu, Frühwald, 2009b].

Din foi, furnire, fâșii și așchii lungi (strands) de bambus se fabrică diverse produse, cum ar fi: parchet, plăci stratificate și aglomerate, placaj, elemente mulate, scrimber și OSB. De exemplu, pentru fabricarea plăcilor stratificate pentru podele sau mobilier, după impregnarea cu diverse substanțe de protecție, fâșiile de bambus, uscate și îndreptate, sunt încleiate manual sau mecanic. În funcție de calitate sunt utilizate pentru straturile de suprafață sau de miez. Fâșiile pot fi încleiate manual atât în plan orizontal, cât și vertical, orientate perpendicular una pe cealaltă. În acest fel se obțin plăci cu unul sau mai multe straturi în funcție de utilizare (fig.1.3.2.2.4). Aceste plăci pot fi lipite unele peste altele, rezultând structuri multistratificate.



Figura 1.3.2.2.4: Producția plăcilor din fâșii de bambus: calibrare (stânga sus), impregnare (dreapta sus), încliere (dreapta centru), presare (jos)[Paulitsch&Barbu, 2015 după UNDP și Panda Bamboo]

În figura 1.3.2.2.5 sunt prezentate panouri din trei straturi (stânga) și cinci straturi (dreapta). Panourile au o densitate mare ($>700 \text{ kg/m}^3$) și rezistență excelentă la încovoiere. Din acestea se produc frize de parchet sau trepte cu diverse structuri. În funcție de modul în care straturile au fost lipite rezultă și performanțele acestora (fig.1.3.2.2.5, jos)[Paulitsch&Barbu, 2015].



Figura 1.3.2.2.5: Plăci stratificate din fâșii de bambus (sus) [PlyBoo]; frize parchet din fâșii încliate pe cant (stânga jos) [Migora Michelitsch]; podele triplu stratificate cu îmbinare tip „click” (dreapta jos) [Paulitsch&Barbu, 2015 după ConBam]

O altă posibilitate pentru producerea de plăci cu performanțe ridicate este aplicarea tehnologiei „scrimber”. Un element de pardoseală, fabricat dintr-un astfel de material, este prezentat în figura 1.3.2.2.6 (stânga). Duritatea și rezistența la abraziune a acestor plăci sunt foarte mari, datorită densității ridicate ($> 900 \text{ kg/m}^3$) și supraînclieierii cu adeziv FF [Josca et al., 2006; Paulitsch&Barbu, 2015].



Figura 1.3.2.2.6: Plăci din fâșii de bambus zdrobite, încleiate și densificate prin tehnologia „scrimber” (stânga) [ECW]; placaj din fâșii de bambus împletite și încleiate (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Alibaba]

Din foile obținute din spintecarea tuburilor și „îndreptare”, prezentate în figura 1.3.2.2.7a (dreapta), se obțin plăci multistratificate, comercializate sub numele de „placaj din bambus”. Fâșiile subțiri pot fi de asemenea, împletite și pot fi combinate pentru a forma plăci sau produse multate cu deosebit efect decorativ și o stabilitate dimensională mai mare (fig.1.3.2.2.6, dreapta).

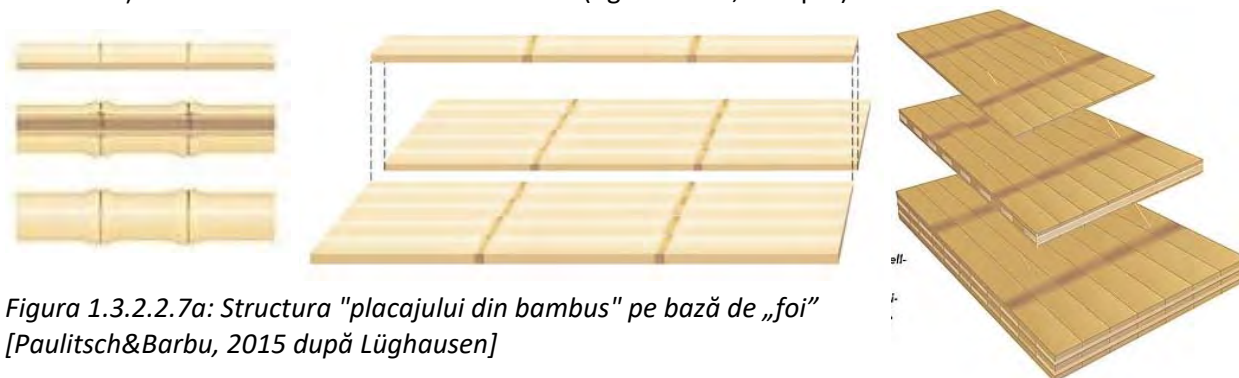


Figura 1.3.2.2.7a: Structura "placajului din bambus" pe bază de „foi” [Paulitsch&Barbu, 2015 după Lüghausen]

Yunnan Yung Lifa Forest și Swiss Panda Capital dețin aproximativ 20 de brevete pentru OSB din bambus (BOSB). O serie de instalații pilot pentru BOSB au fost realizate începând cu anul 2008. Prima instalație industrială, concepută de Kunming Engineering, a fost proiectată cu o capacitate de $100 \text{ m}^3/\text{lună}$. A doua instalație-pilot (2009) a avut o capacitate de $4000 \text{ m}^3/\text{lună}$. Sistemul a fost optimizat în 2011 de către Yumulai Automation Shanghai, iar producția de serie a început în 2012 (fig. 1.3.2.2.8). BOSB au densitatea de peste 800 kg/m^3 și sunt încleiate cu PMDI. Aceste plăci performante sunt utilizate pentru podele de containere (5 straturi, 28 mm grosime). Ocazional, se fabrică și piese pentru cofraje din beton și ambalaje de unică folosință (12 - 15 mm). În zilele noastre, prelucrarea bambusului este o ramură importantă a economiei țărilor din sud-estul Asia și în devenire în America Latină [Paulitsch&Barbu, 2015].

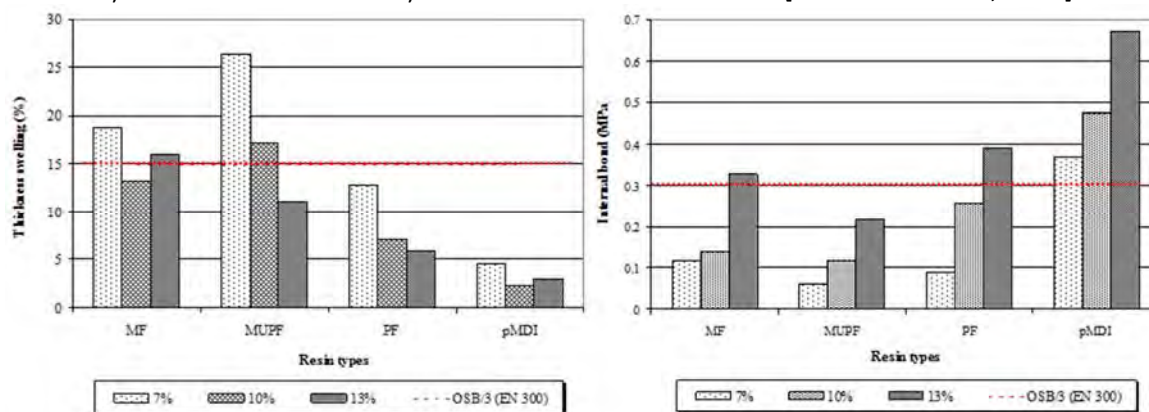


Figura 1.3.2.2.7b: Influența tipului și consumului de adeziv asupra coeficientului de umflare 24h (stânga) și coeziunii interne (dreapta) pt. OSB din fâșii de bambus (16 mm, 750 kg/m^3) [Malanit, Barbu et al., 2010]

Malanit et al. (2009b și 2010) a realizat în laborator, sub îndrumarea autorului, plăci tip Oriented Strand Lumber (OSL), orientate într-o singură direcție dintr-o specie de bambus („dulce”) din sud-estul Asiei (*Dendrocalamus asper Backer*). Dimensiunile fâșiilor au fost de 140 x (12,5-20) x 0,7 mm. Adezivii utilizați au fost MF, MUFF, FF și PMDI, cu un grad de înclieiere de 7, 10 și 13%. Cele mai bune rezultate au fost obținute aplicând 13% PMDI, la densitatea de 750 kg/m³. BOSL, astfel realizate, au atins proprietăți mecanice superioare (figura 1.3.2.2.7b, tab. 1.3.2.2.1) produselor similare pe bază de lemn comercializate.

Tabelul 1.3.2.2.1: Proprietățile fizico/mecanice ale OSL din fâșii de bambus [Malanit et al., 2010]

Tip rășină	Grad încl.(%)	Specific gravity	u (%)	TS 24 h (%)	WA 24 h (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)
MF	7	0.72 (0.01) ¹	7.7 (0.2)	18.8 (2.1)	39.6 (4.7)	39.9 (13.1)	7,750 (263)	0.12 (0.02)
	10	0.73 (0.01)	7.6 (0.6)	13.2 (1.8)	41.7 (2.3)	52.6 (6.4)	8,730 (229)	0.14 (0.01)
	13	0.82 (0.03)	7.8 (0.3)	16.0 (0.7)	32.3 (6.5)	61.0 (1.6)	11,109 (1,107)	0.33 (0.02)
MUFF	7	0.65 (0.02)	7.4 (0.1)	26.4 (3.1)	76.4 (4.0)	29.1 (0.6)	3,290 (829)	0.06 (0.01)
	10	0.73 (0.04)	6.7 (0.2)	17.2 (0.5)	48.8 (8.0)	53.5 (2.7)	6,274 (95)	0.19 (0.02)
	13	0.70 (0.02)	7.1 (0.4)	11.1 (4.4)	45.9 (12.7)	55.1 (7.2)	6,698 (121)	0.22 (0.02)
FF	7	0.69 (0.01)	7.7 (0.4)	12.8 (4.4)	50.9 (9.1)	35.0 (5.3)	4,855 (242)	0.09 (0.01)
	10	0.71 (0.10)	9.1 (1.1)	7.1 (0.4)	44.3 (6.8)	46.3 (4.3)	5,915 (1,438)	0.26 (0.02)
	13	0.71 (0.02)	8.6 (0.5)	5.8 (0.5)	44.1 (2.0)	58.8 (10.4)	6,682 (845)	0.39 (0.07)
PMDI	7	0.74 (0.04)	3.6 (0.3)	4.5 (1.3)	24.4 (3.0)	45.2 (3.3)	6,897 (726)	0.37 (0.02)
	10	0.76 (0.02)	2.9 (0.1)	2.3 (0.3)	18.4 (1.2)	62.5 (5.5)	10,497 (550)	0.47 (0.08)
	13	0.71 (0.04)	3.5 (0.5)	3.0 (1.8)	19.5 (2.2)	65.2 (2.9)	10,300 (1,041)	0.67 (0.13)



Figura 1.3.2.2.8: Fabricarea industrială a OSB din bambus (BOSB)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Botting]

De la cocotier (*Cocos nucifera*) se pot valorifica superior, atât trunchiurile, cât și cojle de nuci. Din trunchi se debitează cherestea și grinzi prin tehnologii rudimentare și cu pierderi mari de material, iar piesele rezultate sunt sortate vizual. În funcție de aspect și greutate urmează apoi să fie comercializate. Cherestea grea și închisă la culoare este considerată cea mai valoroasă și este transformată în dușumele și frize fiind exportată până în Europa și America de Nord. Piese mai ușoare și mai deschise la culoare pot fi utilizate pentru miezul produselor multistratificate sau ca lemn de construcții. Diferențele mari de densitate dintr-o lamelă trebuie să fie luate în considerare în cazul aplicării adezivului și a prelucrării ulterioare. Studiile de laborator conduse la Hamburg de autor au urmărit realizarea de panouri multistratificate (fig.1.3.2.2.9), precum și CLT și au avut rezultate reprezentative [Frühwald et al., 1992; Kruse&Frühwald, 2001; Hasemann, 2011; Oran, 2011⁸; Barbu et al., 2011; Barbu et al., 2014].



Figura 1.3.2.2.9: Panou unistratificat din lamele de diverse densități (stânga); placă tristratificată din lamele sortate pentru fețe și miez (centru) [Hasemann, 2011]; placă dublu-stratificată pentru interior (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Cocosline]

Nuca de cocos se recoltează ca fruct necopt. Fructul propriu-zis este înconjurat de un strat fibros gros, care constă dintr-un strat exterior dens (exocarp) și un mezocarp, la început cărnos, apoi bogat în fibre, aerat, și spre interior o coajă foarte dură, cu un strat de aproximativ 5 mm (endocarpul) (fig.1.3.2.2.10 dreapta sus).



Figura 1.3.2.2.10: Frațiuni de mezocarp uscat și mărunțit (stânga) [Glowacki, Barbu et al., 2012]; secțiune printr-o nucă de cocos cu endo, mezo și exocarp (dreapta) [Van Dam et al., 2004]

⁸ Hasemann (2011) și Oran (2011) au realizat atât cercetările cât și tezele de disertație sub îndrumarea unică și directă a autorului. Rezultatele cercetărilor ca și lucrările au avut un caracter confidențial. Cu acordul partenerului industrial autorul a prezentat lucrările la conferințe [Barbu et al., 2011].

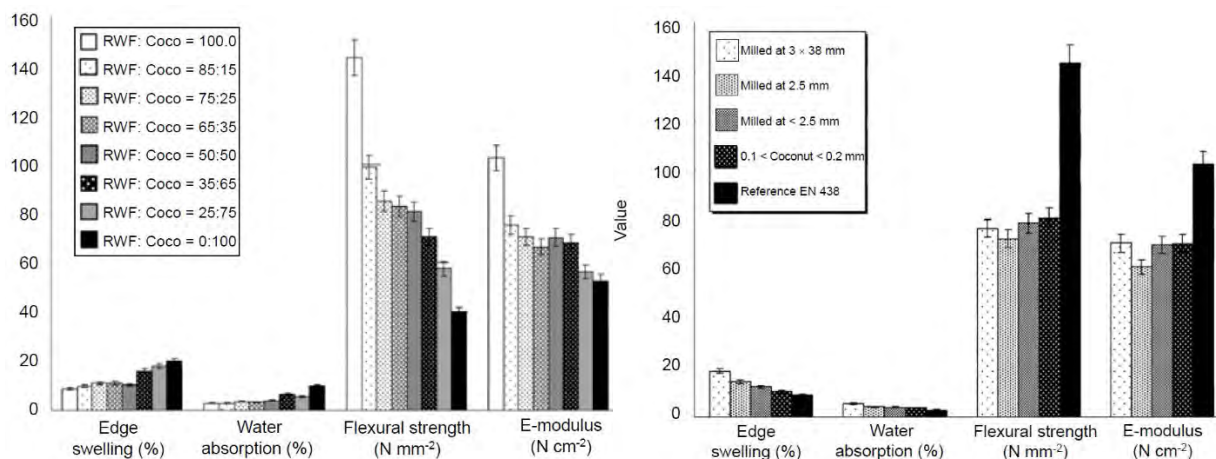


Figura 1.3.2.2.11: Influența amestecului fibre lemn înleiate cu rășină FF (RWF = resinated wood fibre) și particulelor din coaja (coco) nucii de cocos (stânga) și a fracțiunii utilizate (dreapta) asupra proprietăților HPL (6,1 mm, 1400 kg/m³) [Glowacki⁹, Barbu et al., 2012]

Din nuca de cocos, atât coaja, dar și carcasa fibroasă pot fi folosite în aplicații tehnice. Din exocarp și mezocarp sunt produse fibre lungi, din care se obțin țesături tehnice și frânghii. De curând, pentru fibrele scurte, rămase în urma prelucrării s-a găsit o valorificare superioară și sunt transformate în rogojini sau utilizate ca element de armare în compozite. Încercările de a utiliza mezocarpul în fabricarea plăcilor din fibre ca înlocuitor al lemnului au permis de asemenea reducerea consumului de adeziv. Coaja dură (endocarp) se macină până se obține o pulbere, care este folosită ca umplutură sau surogat pentru diverși adezivi (FF) folosiți la fabricarea materialelor compozite cum ar fi HDF sau HPL (fig.1.3.2.2.11)[Van Dam, 2004/2006; Barbu et al., 2010a; Barbu et al., 2011; Glowacki, Barbu et al, 2012; Barbu et al., 2014].

De amintit este și ratanul (fam. *Calamus*), cu o industrie impresionantă a împletiturilor și mobilierului și care se bucură de atenție sporită în institute de cercetare specializate, în cadrul conferințelor și revistelor științifice de profil, alături de bambus. Reprezintă generic aproximativ 600 de specii de palmieri din Africa, Asia și Australia. Diferă de palmieri prin faptul că tulpinile sunt subțiri (2-5 cm), cu internoduri lungi între frunze și sunt cățărători. Este asemănător cu bambusul, dar tulpina este plină (nu tub) și are nevoie de sprijin. Multe ramuri au spini care acționează ca niște cârlige pentru a ajuta la cățărarea pe alte plante. Se știe ca ratanul crește chiar și până la sute de metri lungime. Unele genuri (*Metroxylon*, *Pigafetta*, *Raphia*) sunt mai apropiate palmierilor, având trunchiuri scurte, dar masive. Cele mai multe specii de ratan din lume există în Indonezia (70%) [Zehui, 2007].

1.3.2.3 Plante agricole¹⁰

Paiele cerealelor reprezintă o altă sursă de materie primă utilizată cu succes la fabricarea materialelor compozite. Calitatea suprafețelor, proprietățile fizico-mecanice, omogenitatea structurii și densitatea de profil recomandă cerealele la producerea plăcilor compozite din așchii și fibre. Structura anatomică specifică, cu silicați și ceruri, dispuse la periferia paiului, determină unele inconveniente la utilizarea rășinilor UF și FF, care realizează greu legături cu zonele ligno-celulozice. De aceea s-au utilizat rășini PMDI, în soluție sau concentrat obținându-se astfel legături stabile, înclieri bune pentru toate tipurile de resturi păioase. Tehnologia de fabricație a plăcilor compozite din paie solicită modificări care constau în:

- simplificarea și adaptarea sectorului de transport, depozitare și pregătire a materiei prime;
- supradimensionarea silozurilor pentru depozitarea tocăturii și materialului înclieiat din cauza densității reduse a paielor și a cantității mari acumulate sezonier;

⁹ Glowacki, Barbu et al. (2012) s-a realizat, atât ca activitate de cercetare, cât și ca lucrare de diplomă sub îndrumarea unică și directă a autorului. Rezultatele cercetărilor au fost publicate și prezentate la conferințe [Barbu et al., 2010a; Barbu et al., 2011] cu acordul partenerului industrial.

¹⁰ Sub îndrumarea autorului și participarea ca expert la proiecte de cercetare ale FHS (Kuchl) s-au realizat studii despre utilizarea paielor pentru materiale izolante și s-au finalizat cu succes 5 teze de disertație (2014-2016).

- dotarea instalațiilor cu scule rezistente la uzură pentru formatizare și șlefuire.

Un dezavantaj al resturilor păioase de cereale utilizate la fabricarea plăcilor este necesitatea depozitării și stocării pe perioade lungi de timp, datorită intervalelor mari dintre recolte. De asemenea, compoziția chimică, în special conținutul ridicat în substanțe minerale de tip silicat: 3-4 % la grâu, 5 % la porumb, mai mare în frunze decât în tulpinile păioase, limitează domeniile de utilizare a plăcilor, îngreunează reciclabilitatea acestora și datorită proprietăților abrazive determină uzura rapidă a sculelor așchietoare. Calitatea diferită a paielor, condițiile stricte de depozitare (contactul cu umiditatea), pericolul de autoaprindere și pierderile de masă pe perioada depozitării, precum și discontinuitatea în procurarea materiei prime sunt aspecte care nu trebuie neglijate. Mai puțin important este conținutul de silicați la fabricarea plăcilor compozite izolatoare cu densitatea de 250-300 kg/m³, domeniu în care nu sunt înregistrate efectele abrazive ale acestor substanțe, ci din contra, apare un efect secundar pozitiv de ignifugare. Utilizarea prioritară a resturilor păioase de cereale la producerea plăcilor izolatoare nu necesită investiții și capacități de producție mari (25-30 t/zi) ca în cazul instalațiilor pentru fabricarea plăcilor din așchii și fibre din lemn, astfel putându-se realiza în paralel și depozitele necesare pentru stocare [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Barbu et al., 2014; Hesch, 1993; Youngquist et al., 1996].

Orezul, plantă cerealieră (*Oryza sativa*) cea mai răspândit cultivată în lume, în diverse varietăți, în funcție de condițiile de microclimat se regăsește în două soiuri importante pentru:

- teren uscat, din care rezultă plăci cu caracteristici deosebite;
- zonă mlăștinoasă, care datorită conținutului ridicat de silicați prezintă dificultăți la încliere, fiind recomandat la obținerea plăcilor supuse unor solicitări climatice extreme.

În California, în urmă cu 15 de ani, a fost proiectată, în colaborare cu Metso, Research Council Alberta și WKI Braunschweig, o fabrică de MDF (CalAgr) configurată pentru 265.000 m³/an din 250.000 tone de paie de orez. Paiele de orez ar fi trebuit să fie depozitate în locuri acoperite, pentru a limita degradarea anuală și pierderea în greutate de aprox. 2%. În prima etapă a prelucrării, baloturile ar fi trebuit să fie desfăcute și separate de impurități, praf și particule fine. Sunt preconizate pierderi de aprox. 1%. Cu toate acestea, conținutul de silicat din paiele de orez curățate rămâne de aproximativ 7%. Pentru eliminarea cerii se aplică tulpinilor de orez un tratament cu abur fierbinte. Plăcile produse în laborator cu adeziv PMDI sunt de culoare aurie, nu conțin formaldehidă și au o rezistență bună la umiditate. Cu toate acestea, uzura sculelor așchietoare a fost considerabilă. Prețul acestor produse ar fi trebuit să fie inferior MDF din lemn. La scară industrială s-a fabricat MDF din 100% paie sau amestec de 20% paie și fibre de lemn (grosime 12 mm, densitate 800 kg/m³) cu 12% UF. Cele mai ridicate valori ale rezistențelor mecanice și la umiditate au fost atinse de păcile care conțin procente mai mari de fibre de lemn. În comparație cu plăcile din fibre de lemn, producerea celor din amestec de paie de orez presupune costuri cu 5% mai mici [Barbu et al., 2014; Hague et al., 1997; Paulitsch&Barbu, 2015].

O instalație pentru fabricarea OSB din paie de orez (Oriented Strand Straw Board - OSSB) (fig. 1.3.2.3.1, sus și centru) a fost proiectată și realizată în China acum 10 ani (37 milioane USD), având o capacitate de 60.000 m³/an, tot cu sprijinul Alberta Research Council. În comparație cu lemnul și bambusul, în cazul utilizării paielor a rămas problematică aprovizionarea dintre cele două recolte anuale. Depozitarea uscată a baloturilor din paie de orez implică serioase riscuri, cum ar fi degradarea biologică și pericolul de autoaprindere. La o densitate de 650 kg/m³ și încliere de 5% cu PMDI se obțin următoarele proprietăți ale OSSB (fig. 1.3.2.3.1, jos): coeziunea internă 0,5 MPa, rezistența la încovoiere (longitudinală/transversală) 20/10 MPa, modulul de elasticitate (longitudinal/transversal) 3,5/1.4 GPa, coeficientul de umflare în grosime după 24 de ore <15% [Han, 2010].

O altă sursă de materie primă pentru industria materialelor compozite sunt cojile rezultate la decorticarea orezului, care au un conținut de siliciu de până la 30%. La mărunțirea cojilor de orez se produce o mare cantitate de particule fine, iar mașinile sunt supuse uzurii sporite. Chiar și cu un grad de încliere de până la 8,5% cu PMDI, o rezistență mecanică suficientă a panourilor se poate obține numai la densități mari. În acest mod se reduce randamentul instalațiilor. De aceea, se recomandă utilizarea acestora în combinație cu cimentul și gipsul, cunoscută fiind rezistența paielor de orez la atacul dăunătorilor biologici [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Barbu et al., 2014; Paulitsch&Barbu, 2015].



Figura 1.3.2.3.1: Producția OSB din paie de orez în Yangling: instalație de balotat și depozitare provizorie (sus); segmente din paie și covorul din paie pe banda transportoare înainte de presare (centru); exemple de OSSB pentru design interior (jos) la pavilionul Expo2010 din Shanghai [Han, 2012 după Novofibre]

Pentru realizarea unor plăci compozite numai din paie de grâu (*Triticum*) este necesară o pregătire atentă a particulelor prin eliminarea prafului, cu scopul obținerii a cât mai multe suprafețe de contact cu rășina tip isocianat. Deși valorile rezistențelor mecanice pentru plăci compozite din resturi păioase din grâu sunt cele recomandate de standarde pentru utilizări în industria mobilei, producția acestora devine rentabilă numai dacă materia primă (paiele) are costuri minime, adică este ritmic disponibilă (2 recolte/an) [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Hague et al., 1997].

Din diverse plante agricole anuale s-a studiat la FHS (Kuchl), în urma mărunțirii paielor/tulpinilor (fig.1.3.2.3.2, sus), gradul de afânarea și influența acestuia asupra conductivității termice, în vederea

utilizării acestora ca materiale izolante. În condiții de laborator¹¹ s-au putut realiza plăci stabile, încheiate cu adezivi UF, având densitatea de 80 kg/m^3 , numai din tocătură din tulpini de porumb. În cazul celorlalte plante a fost posibilă producerea de plăci stabile doar la densitatea de cca. 160 kg/m^3 . Dependența conductivității termice de densitate este evidentă, iar valorile medii măsurate de $43 - 66 \text{ mW/(m}^2\text{K)}$ cu EP500 sunt în domeniul vatei minerale, spumelor poliuretanică, lânii de lemn sau plutei (fig.1.3.2.3.2, stânga jos)[Nagl et al., 2015]. Surprinzător este comportamentul la foc al acestor plăci din paie de grâu, încheiate de această dată și cu tanini și apă de sticlă (silicat de potasiu), fapt studiat printr-un dispozitiv, realizat tot în laboratorul FHS. Astfel s-a putut cuantifica pierderea în greutate și valori superioare le înregistrează varianta încheiată cu rășini pe bază de tanini (fig.1.3.2.3.2, dreapta jos) [Krenn et al., 2017]

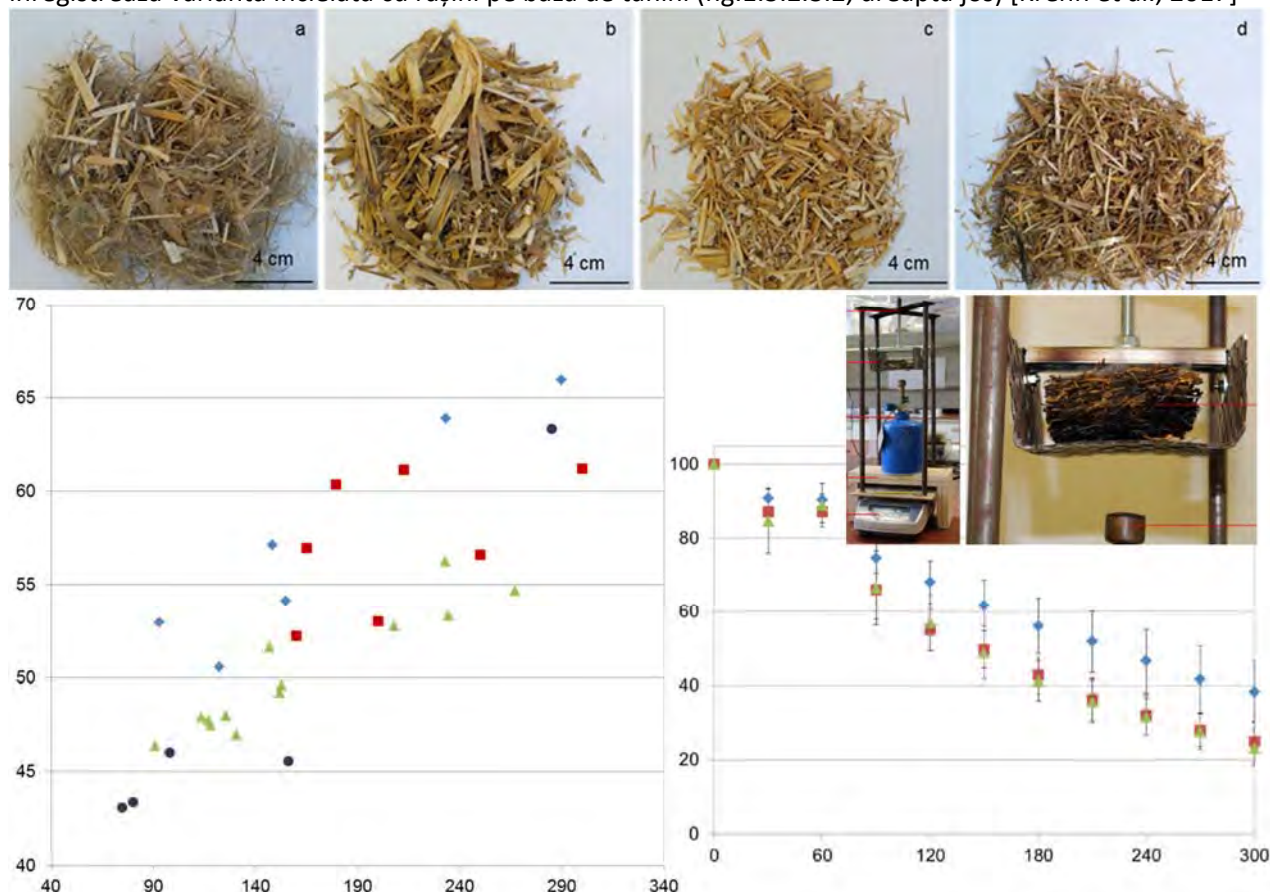


Figura 1.3.2.3.2: Tocătură din paie/tulpini de cânepă (romb), porumb (pătrat), miscanthus (triunghi) și grâu (cerc), utilizată ca material izolant termic (sus); Conductivitatea termică ($\text{mW/m}^2\text{K}$) în funcție de densitatea plăcilor din tocătură de paie/tulpini ($80 - 300 \text{ kg/m}^3$), măsurată la temperatura de 10°C și o diferență între plăci de 15 K (stânga, jos)[Nagl et al., 2015]; Pierderea în greutate prin expunere la foc în timp (secunde) a plăcilor din paie de grâu (250 kg/m^3) încheiate cu: tanin (romb), UF (pătrat) și apă de sticlă (triunghi)(dreapta, jos) [Krenn et al., 2017]

Amestecul făinii din lemn cu cea din grâu într-un aluat pe bază de drojdie a preocupat cercetătorii de la Wood K+ (Boku), astfel obținându-se un miez ușor expandabil la densitatea dorită, care se poate folosi la plăcile ușoare tip sandwich, bineînțeles utilizabil numai la interior și fără contact cu umezeala (fig.2.2.4, jos)[Neuhäuser et al., 2014].

Cultivarea porumbului (*Zea mays*) în toate formele sale, oferă materie primă pentru plăci. Tradițional tulpinile porumbului se folosesc ca hrană pentru animale, datorită substanțelor nutritive și conținutului ridicat de parenchim și redus de fibre. Încercările de realizare a unor plăci, cu posibilități de utilizare în construcții interioare, pentru izolații sau în industria automobilelor (cu scopul eliminării maselor plastice),

¹¹ Nagl et al. (2015) și Krenn et al. (2017) s-au realizat în perioada 2012-2016, în cadrul proiectului FFG838238, la FHS (Kuchl), autorul activând atât ca expert, cât și ca îndrumător și astfel s-au finalizat cu succes alte 2 teze de disertație, publicat și prezentat mai multe lucrări la conferințe internaționale.

reprezintă încă o șansă pentru valorificarea superioară a acestor resturi vegetale. Compoziția chimică, conținutul în silicați (< 0,9 %), proporția redusă de substanță solidă a tulpinii și posibilitatea de eliminare a frunzelor cu conținut ridicat de minerale, sunt aspecte favorabile realizării plăcilor din porumb mai ales pentru izolări termice (fig.1.3.2.3.2, jos). Din coceni de porumb, printr-o prelucrare simplă la nivel de laborator (Boku), s-a obținut materia primă și pus la punct tehnologia pentru o producție de 5000 m³/an pentru producerea miezurilor pentru plăci ușoare tip sandwich (B-i 2) denumită de inventatori maize cob board (MCB). Această placă realizată deja în serie mică (fig.1.3.2.3.3) are performanțele: rezistența la compresiune 2-3 N/mm², coeziunea internă > fețelor, rezistența la smulgerea șuruburilor cca. 700 N, conductivitatea termică < 0,1 W/m²K, rezistență similară plăcilor masive din lemn [Müller, 2010].

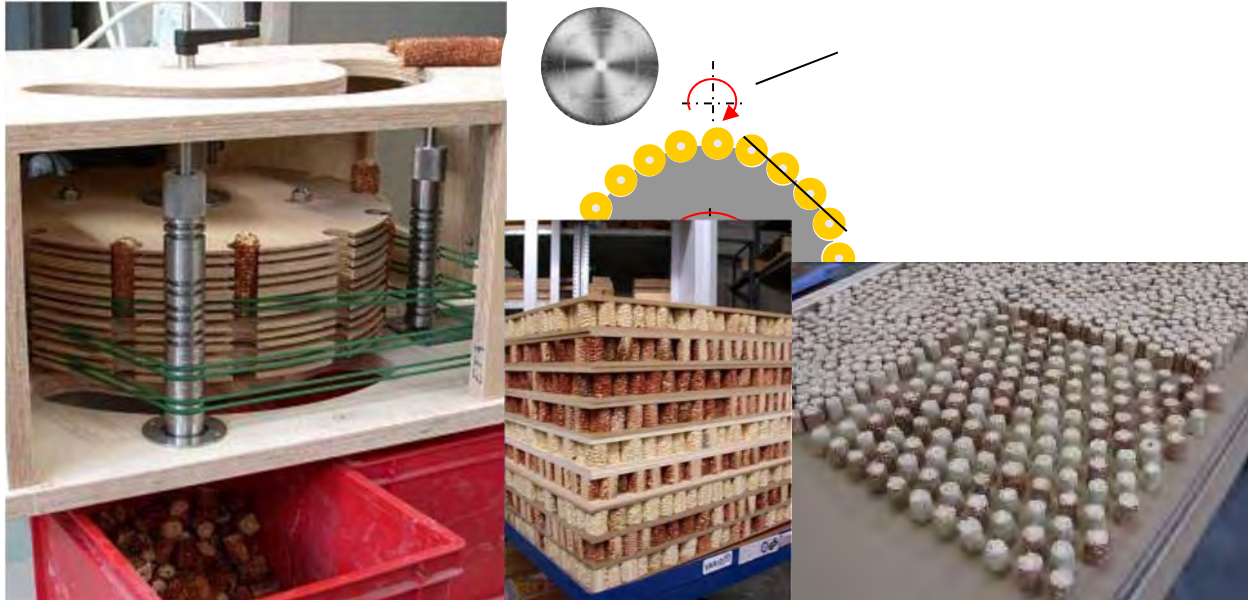


Figura 1.3.2.3.3: Prelucrarea cocenilor de porumb pentru stratul de miez al unei plăci ușoare tip sandwich (maize cob board) cu tehnologie patentă [Müller, 2010]

Rapita (*Brasica napus oleifera*) este o plantă tehnică, frecvent cultivată pe suprafețe importante, de peste 3 decenii de Comunitatea Europeană (CE), în scopul obținerii uleiului. Încercările de realizare a unor structuri sub formă de plăci nu s-au finalizat într-o soluție confirmată de industrie. De aceea, se impun noi studii în acest domeniu [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Barbu et al., 2014; Dix et al., 2009a-d; Paulitsch&Barbu, 2015].

Floarea-soarelui (*Helianthus annuus*) are un conținut scăzut de fibre, fapt ce determină valori mult mai reduse ale rezistențelor față de cele ale plăcilor realizate din porumb. Țesuturile lemnoase ale zonei medulare și de parenchim ale tulpinii permit numai realizarea unor plăci izolatoare, cu performanțe mecanice satisfăcătoare [Hesch, 1993]. Un alt domeniu cercetat se referă la utilizarea cojilor semințelor de floarea-soarelui pentru fabricarea plăcilor compozite încleiate cu diverse tipuri de rășini și diferite densități. Datorită conținutului ridicat în uleiuri, numai izocianatii realizează o încleiere bună, ce permite utilizarea acestora ca materie primă pentru plăci izolatoare, fără performanțe fizico-mecanice deosebite [Boehme, 1993]. În lucrări recente realizate de un colectiv al FIL s-au încleiat coji de semințe de floarea soarelui și tulpini de rapiță cu lignină în stare pură, nemodificată și s-au produs plăci tip PAL. În urma testelor s-au obținut rezultate promițătoare [Coșoreanu, 2015].

În unele țări, o sursă importantă pentru materialele compozite ligno-celulozice o constituie coaja arahidelor (*Arachis hypogaeae*), deșeurile de la sortarea și măcinarea boabelor de cafea (fam. *Rubiaceae*) și resturile lemnoase ale topinambur (*Helianthus tuberosus*), ceaiului (*Camellia sinensis*) [Hesch, 1993; Dix et al., 2009; Barbu et al., 2014c].

Trestia de zahăr (*Saccharum officinarum*) este una din plantele de cultură cu o largă răspândire și poate fi utilizată cu minimum de efort și investiții ca materie primă pentru plăcile compozite. În urma extragerii

melasei, a zahărului nerafinat, resturile din trestie se prezintă ca tulpini tocate. Există deja o tradiție în folosirea acestora pentru industria plăcilor din fibre și aşchii, celuloză și hârtie. În zonele tropicale, se recoltează anual cantități de până la 80 t/ha substanță uscată. Datorită structurii sale uniforme și recoltelor mari, constante, trestia de zahăr se numără printre materiile prime de viitor pentru fabricarea plăcilor compozite. Compoziția trestiei de zahăr supuse industrializării este de: 70-75 % apă; 11-13 % zahăr (5 % se pierde prin extracție); 13-18 % fibre, măduvă, substanțe minerale și ceruri. În urma extracției zahărului, sub forma melasei, se utilizează numai 37 % din greutatea plantei uscate și astfel valoarea materiei prime reprezintă 55-60 % din costul de producție (fig.1.3.2.3.4). Se impune însă o prelucrare intermediară a resturilor cu scopul îndepărtării reziduurilor de zahăr și a măduvei (care constituie, în anumite condiții, mediu propice dezvoltării dăunătorilor și biodegradării), cu utilaje specializate de tip separator, urmate de uscare până la umiditatea de 20 % în vederea depozitării și prelucrării ulterioare. Există încercări de a trata chimic cu acid propionic resturile pentru a evita pierderile prin depozitare (fermentare), cu dezavantajul că o parte din acid se regăsește ulterior în placă. În Thailanda de exemplu, pe parcursul a cinci luni, se pot recolta 2,7 mil. tone. Prin arderea deșeurilor sunt utilizate aproximativ 540.000 t; iar pentru fabricarea plăcilor se folosesc 178.000 t. Aceste reziduuri sunt balotate și apoi stocate, astfel încât această materie primă să poată fi utilizată pentru 10 luni. Important este modul de depozitare a baloților de aproximativ 250 kg, pentru a preîntâmpina infiltrațiile de apă, care pot influența negativ culoarea, dar pot produce și o degradare rapidă materiei prime (fig. 1.3.2.3.4, sus).



Figura 1.3.2.3.4: Stocare intermediară a baloților din deșeuri de trestie de zahăr, pentru evitarea biodegradării (sus); reprezentarea schematică a pregătirii baloților (centru); imaginea unui uscător și o instalație de PAL (jos) de capacitate mică (200 m³/zi) în Khon Kaen (Thailanda) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Bison]

Imediat după extragerea melasei, urmează sortarea deșeurilor (eliminarea măduvei), pre-uscarea și presarea baloților. Alimentarea cu baloți, așchieră, tratarea termo-chimică și defibrarea sunt realizate în echipamente adaptate acestui tip de materie primă, ca în cazul Khon-Kaen Wood din Thailanda. Și în Iran au fost efectuate o serie de încercări pentru optimizarea implementării deșeurilor din trestie de zahăr la fabricarea PAL. Ghalehno et al. (2011) a realizat PAL cu până la 40% din aceste deșeuri în straturile de față folosind adeziv UF, iar plăcile astfel obținute au o rezistență la încovoiere considerabilă. Prima fabrică de MDF din deșeuri de trestie de zahăr a început producția în 1985 în Thailanda cu un defibrator 36" și cu o presă cu cinci etaje. Instalații de acest gen au fost furnizate de firmele Binos, Andriz și Metso. În Pakistan a fost inaugurată în 1989 o altă fabrică de MDF cu o capacitate de 30.000 m³/an. Din 2009 funcționează în Iran o fabrică nouă cu capacitatea de 120.000 m³/an. Conform celor arătate într-o serie de lucrări, plăcile din fibre de trestie de zahăr se aseamănă cu cele din lemn (PAL, MDF, PAF, PFL) având însă dezavantajul unei culori închise, miros puternic și rezistență scăzută la dăunători [Deppe&Ernst, 1996/2000; Hesch, 1993; Heller, 1980; Barbu et al., 2014; Paulitsch&Barbu, 2015].

O altă sursă de materie primă o reprezintă trestia (*Phragmites comunis*), papura (*Polygonum*) și *miscanthus*. Cercetările efectuate au pus în evidență valori ridicate ale proprietăților fizico-mecanice și posibilități largi de utilizare a acestor plante în industria ambalajelor și construcțiilor. *Miscanthus sinensis*, este originară din China, cultivată în ultimele decenii în UE, cu scopul obținerii unor noi materii prime (înlocuitoare ale lemnului) și cunoaște o largă răspândire, utilizare și apreciere din punct de vedere industrial. Planta este perenă și aclimatizată la condițiile europene și poate realiza, după al 3-lea an de cultură, cantități impresionante de biomasă (30 t/ha), în condițiile menținerii unei stabilități a solului. Prelucrarea tulpinilor, se face, în prima fază, prin tocare în mori cu ciocane sau în curent dublu, după care urmează rafinarea [Barbu, 1995; Tröger et al., 1995; Barbu, 1999; Nagl et al., 2015; Krenn et al., 2017].

La BioComposite Center (Bangor) s-a produs MDF pe cale industrială în două variante: din materie primă nelemnoasă 100% (din fibre de paie) sau în amestec din 20% resturi vegetale ligno-celulozice și 80% materie primă lemnoasă. Pentru înclieirea fibrelor uscate s-au utilizat rășini UF la un consum specific de 12 %. După presarea la cald s-au obținut MDF cu grosimea nominală de 12 mm și densitatea de 750 - 800 kg/m³. În urma testării proprietăților fizico-mecanice ale MDF și analizei rezultatelor s-a constatat că o proporție de 20 % resturi vegetale ligno-celulozice din structura plăcilor, determină îmbunătățirea comportamentului în contact cu apa, o relativă creștere a rigidității și stabilității dimensionale în condițiile în care costurile de fabricație scad cu cca. 5 % [Hague et al., 1997].

Și la WKI (Braunschweig) există de mai bine de o jumătate de secol asemenea cercetări, reluate în ultimul deceniu datorită actualității și acutizării situației materiei prime lemnoase mai ales în Germania. Astfel, s-au realizat plăci tip PAL din diverse reziduuri agricole ca floarea soarelui, topinambur, porumb, *miscanthus* și cânepă și s-au testat principalele proprietăți fizico-mecanice, iar rezultatele au confirmat că este posibilă utilizarea acestor plăci cel puțin ca tip P2 [Dix et al., 2009a-d; Barbu et al., 2014].

Datorită prețurilor avantajoase atinse de resturile vegetale ligno-celulozice, rezultate după recoltarea cerealelor sau plantelor tehnice și a modificărilor aduse în fluxurile tehnologice, și anume, în sectorul de pregătire a materiei prime din cadrul fabricilor de plăci compozite (PAL și MDF), a devenit posibil ca în ultimii ani să se utilizeze superior această sursă de materie primă aflată la îndemâna tuturor. Prețul tonei de materie prime lemnoase față de cea ligno-celulozică de origine vegetală a devenit dublu în ultimul deceniu. Plantele amintite reprezintă materii prime neutilizate integral la fabricarea plăcilor compozite, cu inconvenientul unor recolte sezoniere, care necesită depozitarea unor cantități foarte mari, pentru o utilizare rațională a instalațiilor. Fără a se pune problema unei investiții mari este necesară dezvoltarea unor metode de depozitare și stocare îndelungată, care să mențină calitatea materiei prime în condiții uneori neprielnice conservării. Se poate dezvolta o industrie pentru sectorul agricol, cu instalații de capacități mici, care necesită investiții reduse și permit trecerea etapizată la producția industrială. Plantele anuale prezentate anterior pot deveni potențiale surse de materie primă și energie, cu avantajul că în urma procesului de fotosinteză reduc în timp cantitățile uriașe de CO₂ existent în atmosferă. Utilizarea optimă a acestor plante rămâne o problemă de soluționat în viitor. Producerea unor plăci izolatoare din fibre, bazate pe proprietățile țesuturilor de parenchim lemnos, realizează înlocuirea materialelor izolatoare de tipul spumelor poliuretanică și maselor plastice și economisirea petrolului [Barbu, 1999; Barbu, 2002; Barbu et al., 2014; Paulitsch&Barbu, 2015].

1.3.2.4 Coaja arborilor¹²

3,4 miliarde m³ masă lemnoasă se exploatează anual la scară mondială, iar peste 55% se folosesc direct ca lemn de foc. Din acest volum, scoarța reprezintă 10% în medie, de unde rezultă că aproximativ 140-170 milioane m³ coajă sunt (ne)valorificate anual pentru alte scopuri decât arderea [Barbu&Paulitsch, 2015]. Conform unui studiu al Confederației europene din industria hârtiei (CEPI), stocul pădurilor și a volumului lemnos din Europa se ridică la 21 miliarde m³, din care aproximativ 10% o reprezintă scoarța. Ritmul anual de creștere este de 1,27 miliarde m³ (cu coajă). În Europa, în industria celulozei și hârtiei, cherestei și a plăcilor compozite pe bază de lemn rezultă cantități enorme de coajă. În 2010, aproximativ 430 milioane m³ lemn rotund erau prelucrați în Europa, din care ponderea cojii a fost de 10 până la 12% [Mantau et al., 2010; Barbu, 2011]. Astfel, în urma cojirii buștenilor rezultă un volum de până la 50 de milioane m³. Conform datelor statistice din 2008, întreprinderile utilizează 31,5% din cantitatea totală de coajă pentru uz intern, la arderea acestora în centralele energetice proprii pe bază de biomasă, iar 68,5% se vinde [Heinzmann&Barbu, 2013].

Deficitul resurselor lemnoase trebuie să fie avut constant în vedere și, din această cauză, un obiectiv pe termen lung este exploatarea superioară a materialelor uzate prin folosirea ulterioară și reutilizare. Coaja reprezintă încă una dintre categoriile de produse naturale cu valoare redusă. Ca urmare a acumulării mari de coajă în fabricile de cherestea, există preocupări constante pentru a propune noi soluții alternative, economice și ecologice pentru valorificarea superioară în produse pe bază de coajă. Cercetările în acest domeniu (fig.1.3.2.4.1, stânga) confirmă interesul oamenilor de știință de peste o jumătate de secol în utilizarea cojii pentru producerea de PAL [Einspahr & Harder, 1975; [Link et al., 2013], plăci izolante [Kain et al., 2012; Wollenberg&Warnecke, 2004], materiale cu rezistență ridicată [Wollenberg & Warnecke, 2004; Tudor, 2014], extracte pentru adezivi, spume și peleți [Link et al., 2011; Wollenberg & Warnecke, 2004] sau ca sursă de energie [Barbu, 2011; Paulitsch&Barbu, 2015].

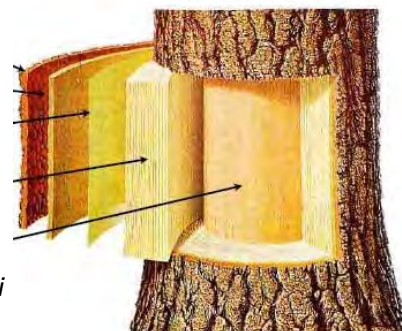


Figura 1.3.2.4.1: Posibilitățile utilizării cojii și structura trunchiului arborilor [Tudor, 2014]

Coaja se deosebește semnificativ din punct de vedere chimic, fizic și mecanic de lemn și conține un procent ridicat de „contaminări” minerale [Irlle, Barbu et al., 2013]. Din volumul buștenilor fasonați, coaja reprezintă între 6 și 22% dar, în cele mai multe cazuri, se consideră ca fiind 10% din volumul trunchiului [Vaucher, 1997]. Coaja se dezvoltă din cambium din interior spre exterior și este constituită din două zone (fig.1.3.2.4.1, dreapta). Coaja externă (periderm) este formată din celule moarte și dure, cu rol de protecție față de acțiunea agenților externi. Poate avea suprafața netedă sau cu crăpături (ritidom), de diferite culori, fiind astfel un element de identificare a speciilor lemnoase. Coaja internă este un țesut viu cu structură fibroasă și poroasă prin care circulă seva. Aceasta protejează trunchiul împotriva influențelor directe ale mediului înconjurător, în special grindină, foc și supraîncălzire (radiație solară), îngheț și radiații, de animale, paraziți etc. Conține taninuri, gume și rășini, care se extrag de la unele specii. Din cauza rezistenței mecanice reduse și a faptului că nu se poate colecta decât mărunțită, iar în stare umedă cu o durată de depozitare limitată, coaja prezintă un interes economic limitat. La arderea acestora, în comparație cu lemnul, rezultă de câteva ori mai multă cenușă și evident emisii de gaze sporite [Ghelmeziu, 1957; Filipovici, 1964; Wagenführ, 1999; Lunguleasa&Pescăruș, 2000; Warnecke, 2008].

¹² În cercetările conduse autor și publicate de Kain, Barbu et al. (2011-2016), Heinzmann&Barbu (2011-2015), Tudor, Barbu et al. (2014-2016) s-a avut ca scop prelucrarea cojii de la diverse specii de rășinoase pentru produse compozite cu densitate scăzută (plăci izolante), medie (blocuri pentru paleți) și ridicată (straturi decorative pentru podele).

După Vaucher (1997) și Godet (1998), caracteristicile cojii, care o recomandă la fabricarea compozitelor, sunt: densitatea scăzută, elasticitatea ridicată, rezistență la compresiune ridicată, coeficient de absorbție ridicat a zgomotelor, conductivitate termică scăzută, rezistență crescută la substanțe chimice, temperatură ridicată de aprindere și rezistență relativă la biodegradare. În afara utilizării principale pentru generarea energiei termice, ca mulci (chiar și după compostare), pentru absorbția apei, a reziduurilor de petrol, coaja uscată se mai folosește ca material izolant, agent pentru filtrarea apelor reziduale, a gazelor și absorbția mirosurilor.

În continuare vor fi prezentate trei studii realizate sub conducerea autorului în perioada 2011-2016, care au la bază diverse fracțiuni de coajă după cum urmează:

- particulele grosiere au fost utilizate la realizarea plăcilor izolante [Kain, Barbu et al., 2014];
- particulele medii au fost folosite pentru fabricarea blocurilor pentru paleți [Heinzmann&Barbu, 2014];
- particulele fine au fost separate pentru producerea stratului decorativ al panourilor [Tudor, Barbu et al., 2015].

Cu aceeași materie primă s-au realizat trei tipuri de produse compozite complet diferite, atât ca tehnologie, cât și ca proprietăți, dar mai ales ca utilizare. Modul de pregătire a materiei prime, producerea și testele efectuate sunt, de asemenea, particularizate pentru fiecare studiu în parte.

Pentru cercetarea privind realizarea de plăci izolante și blocuri pentru paleți s-a folosit coaja de pin (*Pinus silvestris*), molid (*Picea abies*) și brad (*Abies alba*), care a fost colectată din zona Austriei Superioare. Coaja de larice (*Larix decidua Mill.*) a fost aleasă datorită proprietăților sale speciale pentru studiul plăcilor decorative subțiri pentru pardoseli și a fost furnizată de o fabrică de cherestea specializată din Salzburg. Aceasta conține 35% polizaharide, în special în glucoză [Weismann, 1985], 30% lignină, 10 până la 12% tanin și aproximativ 4% metoxil [Wagenführ&Scheiber, 1985], 3% rășină și 13% arabinogalactan [Pelz, 2002].

În timpul prelevării probelor, atât pentru determinarea umidității, dar și a fracțiunilor s-a ținut cont de recomandările asociației austriece PapierHolz (2009), care stabilește metodologia pentru recepția lemnului subțire pentru industrializare. Probele au fost luate din partea de sus a grămezii de coajă, din cel puțin 2 puncte. Coaja a fost colectată de la aproximativ 30 cm adâncime, în scopul de a exclude influențele variabile de la suprafața grămezii. Toate tipurile de coajă au fost mărunțite cu ajutorul unui tocător (shredder) cu patru axe (RS40) (fig.1.3.2.4.2), pus la dispoziție de firma Untha din Kuchl (Austria), și succesiv fracționat prin site diferite pentru a obține particule de la 3 la 20 mm (fig.1.3.2.4.3).



Figura 1.3.2.4.2: Tocător tip shredder cu patru axe, model Untha RS40 [Kain, Barbu et al., 2012]

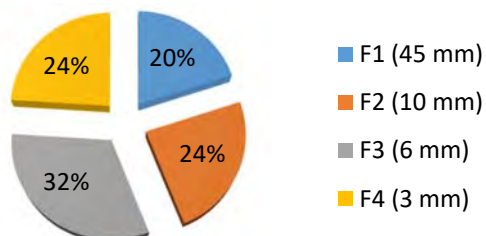
Ulterior, din fracțiunea de aproximativ 6 mm s-au obținut încă alte patru fracțiuni fine, începând cu 0,6 mm, cu sprijinul Centrului de competență al Egger (Unterradlberg). Acestea din urmă s-au folosit pentru fabricarea plăcilor decorative subțiri. Coaja a fost uscată timp de 2 săptămâni de la o umiditate inițială de 100% la una finală de 6%, cu ajutorul unui sistem de uscare în vid Brunner-Hildebrand High VAC-S, HV-S1, aparținând FHS (Kuchl).



Figura 1.3.2.4.3: Fraționarea cojii de larice prin intermediul sitelor [Kain, Barbu et al., 2012]

Stivuirea cojii pe site și mai multe etaje a avut o influență pozitivă asupra timpului de uscare. A fost realizată, de asemenea, analiza distribuției dimensiunilor particulelor cu ajutorul unei site vibratoare conform EN 15149-1:2010, utilizând eșantioane de 100 g pentru toate tipurile de coajă (fig.1.3.2.4.4).

Distribuția particulelor de coajă de molid și brad



Distribuția particulelor de coajă de larice

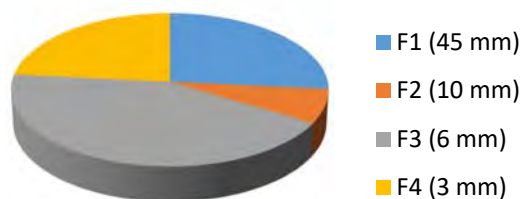
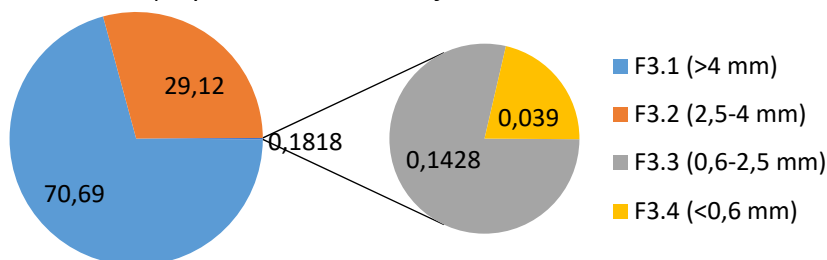


Figura 1.3.2.4.4: Fraționarea cojii de rășinoase [după Kain, 2013; Heinzmann, 2012; Tudor, 2014]

Distribuția particulelor de coajă de larice



1.3.2.4.1 Studiu privind utilizarea cojii de rășinoase pentru blocuri de (euro)paleți¹³

Obiectivul acestei cercetări l-a reprezentat analiza posibilității utilizării cojii de molid pentru fabricarea blocurilor de reazem pentru paleți (145x100x78 mm). În cadrul unui studiu care s-a întins pe durata a doi ani, finalizat în 2012, autorii au stabilit metodele de dezvoltare a unui bloc pentru europaleți realizat dintr-

¹³ Aceste cercetări au fost conduse de autor și publicate de Heinzmann et al. în perioada 2011-2015 și au avut ca scop valorificarea cojii de rășinoase pentru produse compozite de densitate medie pentru blocuri de paleți. Cu rezultatele din teza de disertație s-a obținut în anul 2012 un brevet german de invenție (DE202011004658.3).

o anumită fracțiune de coajă de molid și produs în concordanță cu normele europene specifice UIC Codex 435-2:2009. Mai multe tipuri de blocuri pentru paleți s-au fabricat din diverse fracțiuni de coajă, înclieate diferit cu rășini tip MUF, presate la cald și testate în conformitate cu standardele în vigoare. Influența sistemului de înclieiere, consumul de adeziv și ponderea de coajă asupra costurilor de producție au reprezentat criterii esențiale pentru întreaga cercetare experimentală. Astfel, s-a analizat în ce măsură un bloc pentru europaleți realizat din coajă de molid ar putea atinge proprietăți apropiate cu blocurile realizate industrial din aşchii de rășinoase conform UIC Codex 435-2:2009.

În continuare, este prezentată numai partea reprezentativă din testele și metodele utilizate în acest scop, sub conducerea autorului [Heinzmann, 2012; Kain, Heinzmann, Barbu et al. 2012; Heinzmann&Barbu, 2013; Kain, Heinzmann, Barbu et al. 2013; Heinzmann&Barbu, 2015]. Rezultatele demonstrează că în anumite condiții o serie de proprietăți se încadrează în cerințele normative. Sunt explicate succint metoda experimentală de producție la nivel de laborator, relațiile dintre diferiți parametri de bază și proprietățile blocurilor astfel obținute, permițându-se astfel optimizarea acestora.

Cu aproximativ 15 ani în urmă, blocurile din aşchii de lemn pentru paleți au început să le înlocuiască pe cele tradiționale, din lemn masiv [Heinzmann, 2012], având proprietăți fizice și mecanice asemănătoare sau chiar mai bune. De remarcat sunt densitatea uniformă, rezistența la apă a înclieierii cu MUF, stabilitatea dimensională și uniformitatea. Mai mult, aceste blocuri din aşchii de lemn au o durată mai lungă de utilizare decât produsele din lemn masiv, deoarece acestea tind să aibă mai puține fisuri sau rupturi când se bat cuiele sau la căderi accidentale. O estimare a producției de blocuri de paleți pentru Europa era de 1,5 milioane m³ pe an. Paleții au o importanță semnificativă, în prezent 400 milioane paleți (euro-paleți) circulă pe piață. La un preț de 10,5 €, rezultă o valoare de 4,2 miliarde €. Deoarece stocul de paleți se uzează în 3-4 ani și trebuie parțial înlocuiți sau în mare parte reparați, se poate aproxima o producție anuală de 100 milioane paleți. Cantitatea de paleți de unică folosință, pentru industria chimică și cei speciali este de 1,5 ori mai mare decât cea a paleților de schimb. Per total, 250 milioane paleți sunt necesari anual în Europa [Heinzmann&Barbu, 2013 după EPAL].

Cerința principală pentru blocurile de paleți este rezistența la o expunere pe termen lung la umiditate și temperatură. Numai adezivii pe bază de MUF, FF și PMDI se pot utiliza pentru a întruni toate condițiile de calitate. Structura blocurilor pentru paleți se presupune a fi omogenă și ca densitate de profil. Cavitățile din interiorul blocului duc la degradarea proprietăților acestuia, de aceea s-a evitat folosirea particulelor lungi sau grosiere. În consecință, coaja de brad și de molid a fost mărunțită (fig.1.3.2.4.3). Deoarece proprietățile blocurilor pentru paleți se deteriorează odată cu creșterea umidității, trebuie determinat și ales un conținut potrivit care să garanteze proprietăți mecanice optime și o stabilitate dimensională ridicată, dar și o presare facilă și o înclieiere bună. Înclieierea particulelor de coajă s-a realizat cu ajutorul unui echipament de laborator cu un singur arbore tip WAM WBH 75 (fig.1.3.2.4.5, stânga). Pentru presarea blocurilor de paleți a fost utilizată presa hidraulică de laborator model Höfer HLOP 280 (fig.1.3.2.4.5, centru). În plus, a fost realizată o formă specială din metal, care a fost astfel concepută, încât zonele de margine să nu se deterioreze în timpul presării (fig.1.3.2.4.5, dreapta). După presare, panoul este tăiat la dimensiunea blocurilor de paleți.

Blocurile de paleți, fiind elemente standardizate, au toate cerințele normative stabilite în UIC Codex 435-2:2009 "Standardul de calitate pentru euro-paleți din lemn". Cele mai importante proprietăți prevăzute în acest standard sunt: densitatea, umiditatea, testul de fierbere și determinarea în această stare a umflării, coeziunii interne, rezistența la scoaterea șuruburilor, emisiile de formaldehidă liberă. După UIC Codex 435-2:2009, fiecare bloc trebuie să aibă o densitate de 600 - 750 kg/m³, iar determinarea densității s-a făcut conform EN 323:1993. Conform UIC Codex, conținutul de umiditate nu poate depăși limita de 22%, iar determinarea acestuia s-a făcut conform EN 322:1993. Testul de fierbere permite analiza înclieierii particulelor, dacă se deteriorează și în ce măsură. Matricea trebuie să mențină particulele, care nu trebuie să se separe de bloc, iar suprafețele nu au voie să prezinte crăpături. Pe baza UIC-Codex 435-2:2009 testul constă în introducerea epruvetelor în apă (100°C), apoi fierberea timp de 2 ore la presiunea ambientală, uscarea 2 ore în etuvă (65°C). S-a determinat în conformitate cu EN 1987-1:1998 și coeziunea internă după fierbere pentru a estima calitatea înclieierii unui produs pe bază de lemn. Probele au fost fierse tot 2 ore, dar apoi au fost răcite timp de 1 oră prin imersie în apă la temperatura camerei. Testul de coeziune internă a fost realizat imediat după faza de răcire. Viteza de aplicare a forței a fost de 10 mm/min, iar valoarea minimă acceptabilă este 0,25 N/mm². Pentru determinarea umflării probele sunt imersate în apă (20°C)

timp de 24 de ore (EN 317:1997) și potrivit UIC-Codex 435-2:2009, valorile nu trebuie să depășească următoarele limite: 2% pe lungime și lățime, iar înălțimea maximă 5 mm. În total, s-au efectuat 18 măsurători pentru un tip de bloc. Rezistența la scoaterea șuruburilor s-a testat cu un șurub special care a fost extras dintr-o probă (80x80 mm) în conformitate cu standardul EN 320:2011. Determinarea emisiei de formaldehidă liberă s-a realizat prin metoda perforator (EN 120:2011) și prin metoda camerei (EN 717-1:2005), iar concentrația maximă admisă este de 5,5 mg/100g (testul perforator) sau 0,1 ppm (test cameră).



Figura 1.3.2.4.5: Echipamente de laborator pentru înclierea (stânga) și presarea (centru) în forme speciale (dreapta jos) a cojii de molid în blocuri pentru paleți (dreapta sus) [Heinzmann, 2012]

Diferite tipuri de blocuri pentru paleți din coajă de molid (fig.1.3.2.4.5, dreapta sus) au fost produse și testate în laboratoarele FHS (Kuchl) sub îndrumarea autorului. Acestea au fost realizate cu următoarele variabile:

- dimensiunea particulelor de coajă (molid): 15, 25, 35 și 45 mm;
- densitatea: 600, 650, 700, 750 kg/m³;
- tipul de adeziv: UF, MUF cu 5, 10, 15 și 22% conținut de melamină;
- consumul de adeziv: 8, 10, 12, 14%.

Toate probele au respectat valorile prevăzute de UIC Codex 435-2:2009 pentru densitate (600 - 750 kg/m³) și umiditate (<22%). Rezultatele testului de fierbere (2 ore) arată că niciuna din probele testate nu a prezentat crăpături vizibile și nici nu au existat particule dislocate în timpul acestui tratament. O structură mai omogenă și mai compactă s-a înregistrat pentru granulația mai fină a materiei prime, densitatea mai mare a blocurilor, creșterea procentului de melamină etc. Coeziunea internă după fierbere (fig.1.3.2.4.6) a scos în evidență că blocurile de paleți realizate din particule de coajă din fracțiunea medie (<15 mm) au avut rezultate mai bune decât blocurile realizate din particule mai mari.



Figura 1.3.2.4.6: Testarea coeziunii interne a unui bloc pentru paleți după fierbere [Heinzmann, 2012]

Diagrama box-plot a coeziunii interne din figura 1.3.2.4.7 este realizată pentru dimensiunile particulelor de coajă de la 15 la 45 mm. Blocurile cu o granulație de 15 mm au valoare medie a coeziunii interne de $0,55 \text{ N/mm}^2$, de două ori mai mare decât valoarea minimă prevăzută de UIC Codex 435-2:2009. Scăderea coeziunii interne este cauzată de structura neomogenă a secțiunii transversale a blocurilor prin mărirea dimensiunilor particulelor. Cu cât particulele sunt mai mari, cu atât compactarea miezului în timpul presării este mai mică, motiv pentru care apar cavități în structura materialului. O calitate corespunzătoare a încheierii particulelor este mai dificil de realizat cu particule de dimensiuni mari. Proprietățile mecanice se îmbunătățesc odată cu creșterea densității și sporirea procentului de adeziv, precum și a conținutului mai mare de melamină în sistemul încheiere.

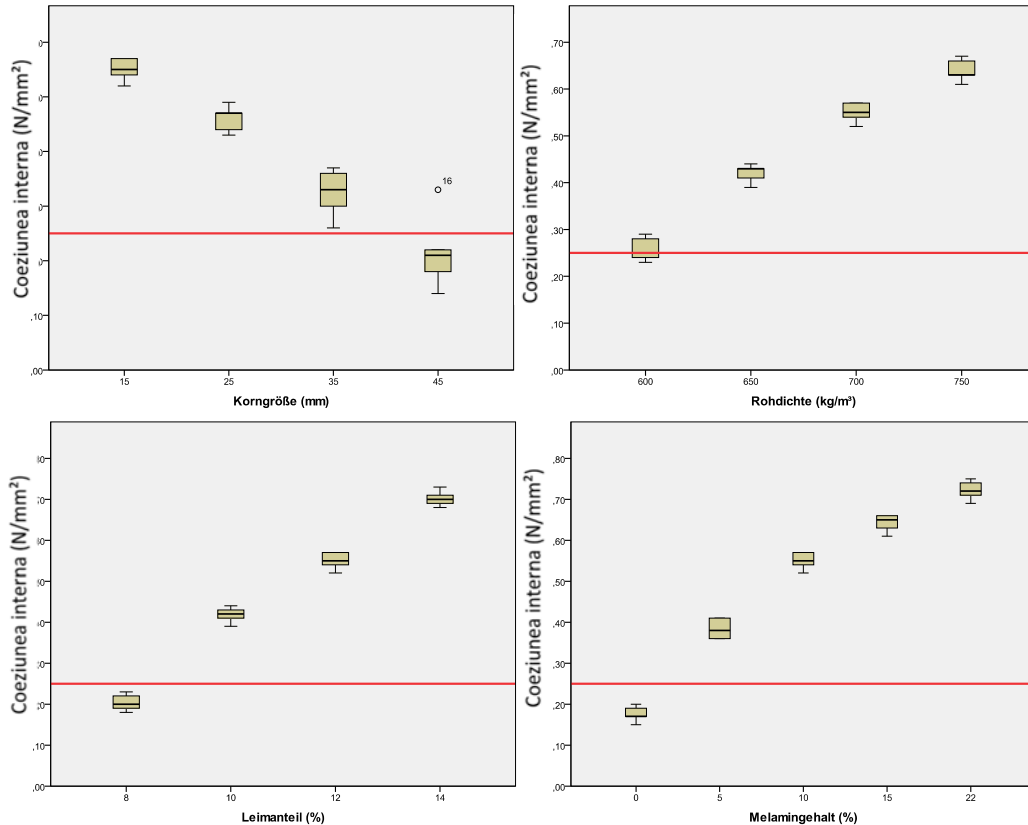


Figura 1.3.2.4.7: Coeziunea internă după 2h de fierbere în funcție de diferiți parametri: fracțiune (stânga sus), densitate (dreapta sus), consum adeziv (stânga jos), conținut de melamină (dreapta jos) pentru blocuri din coajă de molid încheiate cu MUF (implicit 700 kg/m^3 , 12% MUF și 10% conținut de melamină), $n=6$ [Heinzmann&Barbu, 2013]

Rezultatele satisfăcătoare ale coeziunii interne au fost rezultatul optimizării parametrilor de testare, care a necesitat câteva luni de experimentare (temperatura și timpul de presare). Numai în acest fel s-a putut îmbunătăți densitatea de profil (secțiunea transversală fig.1.3.2.4.8).

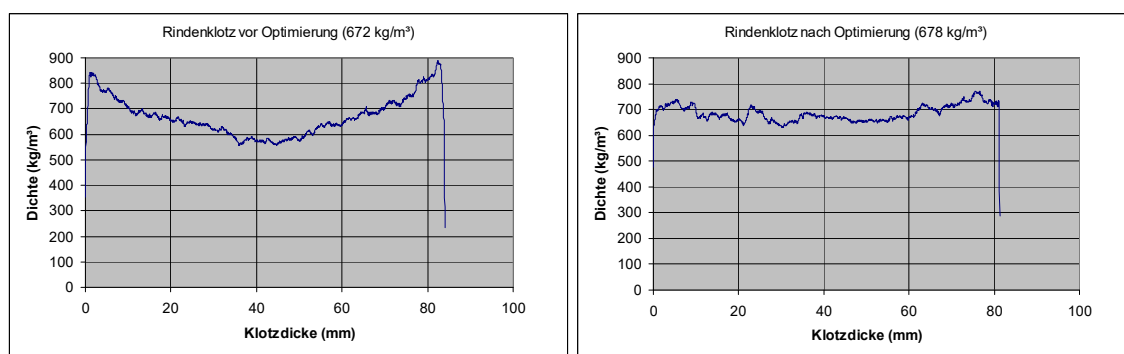


Figura 1.3.2.4.8: Densitatea de profil a blocurilor (78 mm) pentru paleți (670 kg/m^3) din coajă înainte și după optimizarea presării [Heinzmann&Barbu, 2013]

Forța necesară pentru scoaterea șuruburilor au fost comparată cu media a 30 de blocuri disponibile pe piață, realizate de producători diferiți. Valoarea medie a tuturor rezultatelor a fost 1434 N. Astfel, a fost creată o valoare de referință proprie. În cazul în care un bloc pentru paleți a atins o valoare de 1505 N (1434 N + 5%), s-a considerat ca testul a fost pozitiv. Tabelul 1.3.2.4.0 prezintă valorile medii ale forței maxime de scoaterea șuruburilor obținute pentru diverși parametri (fracțiunea de coajă, densitate, conținut melamină și consum adeziv tip MUF).

Tabelul 1.3.2.4.0: Valorile medii ale forței de smulgere a șurubului (F_{max}) din blocuri de coajă de molid în funcție de diferiți parametri [Heinzmann&Barbu, 2013]

Fracțiunea cojii (mm)	15 mm	25 mm	35 mm	45 mm	
	1748 N	1480 N	1308 N	1154 N	
Densitatea (kg/m ³)	600 kg/m ³	650 kg/m ³	700 kg/m ³	750 kg/m ³	
	1366 N	1582 N	1748 N	-----	
Conțin. melamină (%)	0 %	5 %	10 %	15 %	22 %
	1617 N	1592 N	1748 N	1786 N	1802 N
Grad de înclieiere (%)	8 %	10 %	12 %	14 %	
	1263 N	1509 N	1748 N	1921 N	

Conținutul de melamină a fost principala variabilă pentru analiza coeficientului de umflare total pe direcție tangențială. Blocurile din coajă (MUF, cu 22% conținut de melamină) au avut valori mai scăzute ale coeficienților de umflare decât cele în amestec cu UF (fig.1.3.2.4.9).

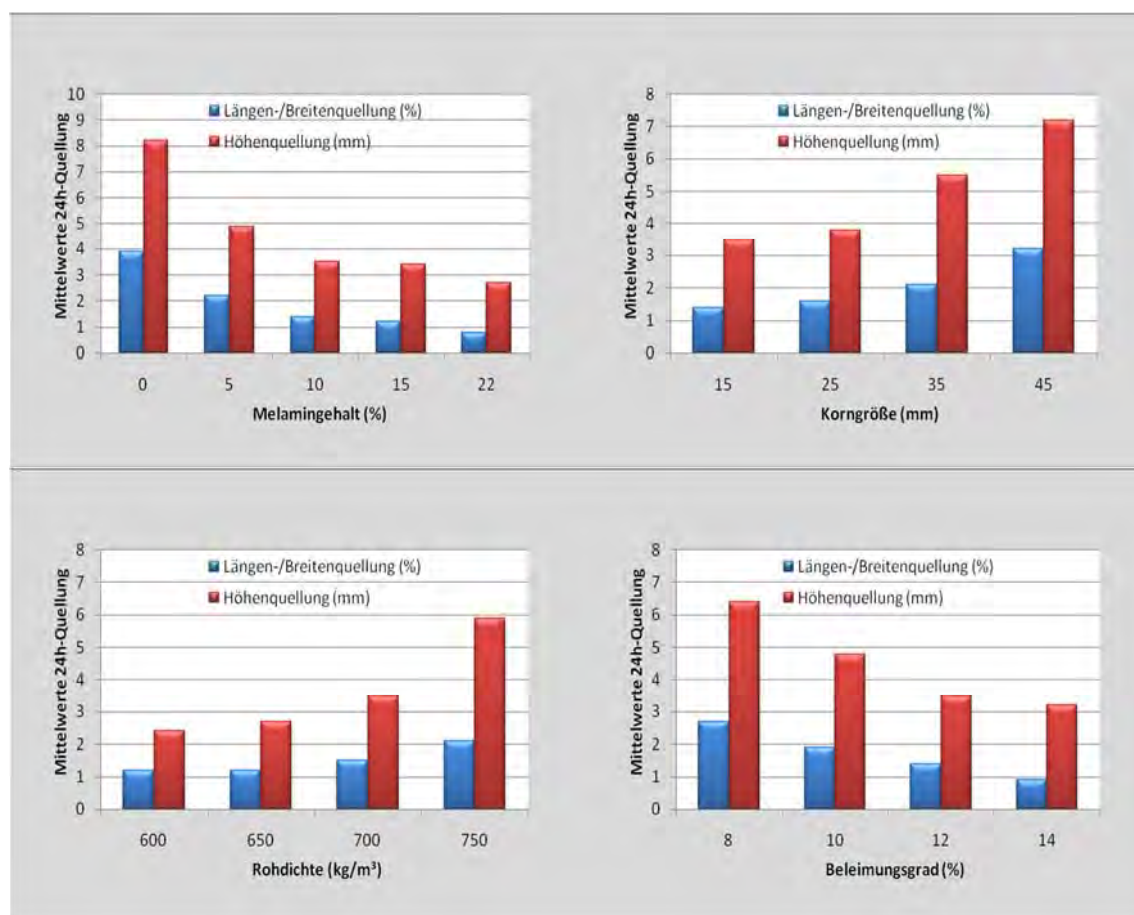


Figura 1.3.2.4.9: Coeficienții de umflare după 24 h imersie în apă a blocurilor pentru paleți din coajă de molid înclieiată cu MUF în funcție de diferiți parametri: conținut de melamină (stânga sus), fracțiune (dreapta), densitate (stânga jos), consum adeziv (dreapta jos), (implicit 700 kg/m³, 12% MUF și 10% conținut de melamină), n=6 [Heinzmann&Barbu, 2013]

Analiza umflării în cazul blocurilor produse din particule de coajă cu diferite mărimi a condus la următoarele rezultate: pentru particule între 15 și 25 mm, umflarea a fost în intervalul standard (2 - 5 mm). Blocurile realizate din particule mai mari au avut rezultate critice, deoarece spațiile dintre particule au fost umplute cu apă din cauza structurii neomogene a miezului blocurilor în timpul imersiei. Umflarea blocurilor de paleți crește odată cu mărirea densității (fig.1.3.2.4.9).

În ceea ce privește influența încheierii, a existat o tendință distinctă de scădere a umflării în cazul unui conținut mărit de adeziv. Probele încheiate cu 8% adeziv MUF nu depășesc valorile maxim impuse de standard, iar cele cu 10% MUF au fost la limita prevederilor UIC-Codex 435-2:2009.

Determinarea formaldehidei libere prin metoda perforator (EN 120:2011) a avut rezultate surprinzătoare. Astfel, blocurile de paleți din coajă emit, în mod clar, mai puțină formaldehidă liberă (2,78 mg/100 g) decât cele realizate din așchii de lemn (5,04 mg/100 g), produse în aceleași condiții (densitate, tip și consum adeziv, durata și temperatura de presare). Coaja pare a fi capabilă de a absorbi formaldehida liberă.

În urma acestui studiu rezultă că utilizarea cojii ca materie primă pentru producerea de blocuri de paleți este justificată prin îndeplinirea cerințelor UIC Codex-435-2:1999, în condițiile utilizării aceluiași adeziv (tip și consum). Disponibilitatea largă și costurile mici se consideră, de asemenea, factori pozitivi. Potrivit studiului realizat de autori, costurile materiei prime (inclusiv cele ale adenzivilor) sunt cu 21% mai mici, în cazul utilizării cojii, față de blocurile din așchii de lemn. Cu toate acestea, înainte ca blocurile pe bază de coajă să poată fi produse la scară industrială trebuie să se țină cont de:

- includerea în standardele actuale pentru blocuri de (euro)paleți a compozitelor pe bază de coajă;
- implementarea producției de blocuri de paleți din coajă în actualele linii de fabricație;
- calculul economic al instalației de pregătirea cojii (uscare, tocare, sortare) pentru producția de paleți.

În opinia autorilor, potențialul de valoare adăugată a unor astfel de produse trebuie sprijinit și încurajat, în special, pe fondul deficitului actual de materie primă lemnoasă [după Heinzmann&Barbu, 2013; Heinzmann&Barbu, 2015].

1.3.2.4.2 CT și modelarea discretă a relațiilor dintre orientarea particulelor din coajă și conductivitatea termică în panouri izolante¹⁴

În domeniul construcțiilor, tendința continuă a economisirii energiei și sustenabilitatea noilor clădiri duc la creșterea cererii de materiale eficiente și durabile pentru izolarea termică. O dezvoltare promițătoare o reprezintă utilizarea în construcții a cojii de copac pentru plăcile izolante, cercetări dezvoltate sub îndrumarea autorului în cazul rășinoaselor și publicate în revistele de specialitate sau prezentate la conferințele internaționale [Kain, Barbu et al., 2012; Kain, Barbu et al., 2013; Kain et al., 2014; Kain et al., 2015; Kain et al., 2016].

Tabelul 1.3.2.4.1: Design experimental cu factorii densitate, dimensiune particulelor și procent de adeziv

Densitate kg/m ³	Dimensiuni particule mm	Consum adeziv %	Nr. de plăci
500	30>x>13	12	3
		8	3
	13>x>8	12	3
		8	3
400	30>x>13	12	3
		8	3
	13>x>8	12	3
		8	3
300	30>x>13	12	1



Figura 1.3.2.4.10: Plăci izolante din coajă de larice [Kain, Barbu et al., 2012]

¹⁴ Aceste cercetări au fost îndrumate de autor și publicate de Kain et al. în perioada 2011-2016 și au avut ca scop valorificarea cojii de rășinoase pentru produse compozite de densitate redusă pentru plăci izolante. În afara publicațiilor în revistele de specialitate, s-a finalizat cu succes o teză de doctorat la TUM (München) [Kain, 2016] și un brevet austriac de invenție AT512707A1 [Kain, Barbu, Petutschnigg, 2013]

Fracțiunea de coajă selectată pentru producerea plăcilor izolante este cuprinsă între 8 - 13 mm și 13 - 30 mm. Particulele de coajă au fost încleiate cu UF și omogenizate într-un mixer de laborator așa cum s-a prezentat anterior la blocurile pentru paleți. Au fost fabricate plăci cu grosimea de 20 mm (fig.1.3.2.4.10) și densitatea de 300 - 500 kg/m³ cu ajutorul unei prese hidraulice Höfer HLOP 280 (1000 x1000 mm). Designul experimental este prezentat în tabelul 1.3.2.4.1.

Panouri izolante din coajă de larice au fost scanate cu ajutorul unui tomograf computerizat (CT), în scopul de a studia structura plăcii. Imaginile CT au fost segmentate, folosind un algoritm de clasificare bazat pe testul ANOVA. Pe lângă obținerea de informații despre porozitatea panourilor, analiza microstructurii a fost consolidată prin aplicarea unui model numeric pentru conductivitate termică bazat pe metoda elementului finit (MEF). Prin aplicarea CT și modelarea ulterioară s-a permis evaluarea efectelor orientării particulelor asupra conductivității termice a panoului. Rezultatele acestui studiu vin în sprijinul ulterioarelor dezvoltări ale panourilor izolante din coajă cu o microstructură bine definită. Autorul a ales cea mai recentă publicație spre exemplificarea cercetărilor în acest domeniu, iar în continuare sunt prezentate numai partea reprezentativă din metodele utilizate în acest scop [Kain et al., 2016].

O alternativă la materialele izolante organice (pe bază de petrol) și cele anorganice (din vată minerală), ambele tipuri cu performanță ecologică scăzută, ar putea fi panourile cu densitate redusă din coajă, care s-au dovedit a fi un material izolant promițător [Kain, Barbu et al., 2012; Kain, Barbu et al., 2013]. Pentru a analiza distribuția 3D a densității pentru PAL, OSB și MDF [Thömen, 2010] s-a aplicat tomografia computerizată, o tehnică familiară pentru cercetătorii de la FHS [Standfest et al., 2009]. Mai mult, porii din PAL și OSB [Standfest et al., 2012] și spumele din tanin [Tondi et al., 2009]. au fost caracterizate folosind sub- μ m-CT. De asemenea, structura unui material compozit din fibre de lemn și resturi de piele realizat tot la FHS a fost analizată cu ajutorul tomografiei computerizate cu raze X, în care poate fi distinsă matricea materialului [Wieland et al., 2013], fapt ce a determinat autorul să-și diversifice cercetările și în acest domeniu [Wagner et al., 2015]. Au fost scanate cu un CT industrial în total, 10 probe diferite (50 x 50 x 30 mm³), produse în laborator din particule (10 mm) de coajă (larice) cu orientare controlată (orizontală/verticală) și densitate variabilă (tab. 1.3.2.4.2), încleiate cu 10% UF și presate la cald (180°C) cu o presă Höfer HLOP 280. Conductivitatea termică a fiecărei plăci a fost măsurată cu ajutorul lambdametrului EP500 (lambda Technologies). Structura panourilor a fost analizată cu ajutorul unui dispozitiv Nanotom 180 NF CT cu tub nano-focus de 180 kV și detector 2.304 x 2.304 Hamamatsu, cu anod (target) din molibden. Rezoluția folosită a fost de 27 μ m, tensiunea în tubul nano-focus de 60 kV, intensitatea curentului de 410 μ A, iar timpul de integrare la detector de 1000 ms. În total au fost înregistrate 1.800 de proiecții pentru fiecare probă. Pentru reconstrucția imaginii, un algoritm de proiecție inversă filtrată a fost aplicat prin utilizarea soft-ului Nanotom datos/x (GE phoenix/X-ray).

Nu s-a efectuat nicio corecție suplimentară, cum ar fi corecția datelor CT sau orice fel de metode de filtrare pentru a reduce zgomotul. Spre deosebire de CT medicale, în cazul CT industrial nu s-au folosit valori de gri calibrate (coeficienți de absorbție) pentru materia primă (coaja de larice). Pentru a mări viteza de evaluare s-au folosit numai 50 de imagini din secțiunea transversală per eșantion (cu interstițiu 0,95 mm) pentru analiza de imagini digitale. Tomografiile rezultate (la care se da distribuția valorilor de gri (fig.1.3.2.4.12) au fost segmentate folosind un algoritm bazat pe ANOVA, utilizând criteriul de optimizare a marginilor valorilor de gri indicate în ecuația 1. Conductivitatea termică pentru diferitele tipuri de material (gol/interstițiu, coajă interioară, coajă exterioară) a fost estimată folosind ecuația 2. În modelarea numerică, voxelii au fost folosiți ca elemente de volum (fig.1.3.2.4.10), cu următoarele condiții limită pentru-matricea 3D: (a) temperatura laturii superioare este T1; (b) temperatura în partea inferioară este T2; (c) marginile de probă sunt izolate și de aceea nu are loc nicio interacțiune a fluxului de căldură cu spațiul înconjurător (adiabatică). Imaginile segmentate au fost salvate la o rezoluție tiff redusă la 200 x 111 x 50 pixeli, rezultând într-o matrice cu 1.1125 x 106 elemente voxel (dimensiune voxel: 12:24 x 00:24 x 0,95 mm³). În cazul condițiilor de temperatură staționară, echilibrul fluxului termic este 0 pentru fiecare element de volum. Urmărind distribuția 3D a temperaturii s-a determinat (fig.1.3.2.4.11), utilizând software-ul MATLAB R2009, modul de calcul al vectorilor de densitate spațială a fluxului de căldură în fiecare element de volum (ecuația 3). Conductivitatea termică globală poate fi derivată apelând la ecuația 4. Când se dă vectorul de densitate a fluxului de căldură pentru direcțiile spațiale, direcția vectorului fluxului termic rezultat poate fi determinată pentru fiecare punct al rețelei, exprimat prin unghiul cu care

fluxul de căldură se abate de la direcția gradientului de temperatură (direcția y) (ecuația 5) [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016].

$$MS_W = \frac{\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^L (g_{kl} - \bar{g}_k)^2 * h_{kl}}{\sum_{k=1}^3 h_k - 1} \rightarrow \min \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^J e_j^2 = \sum_{j=1}^J [\lambda_j - (\lambda_{1h} * f_{1j} + \lambda_{2h} * f_{2j} + \lambda_{3h} * f_{3j})]^2 \rightarrow \min \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^K e_k^2 = \sum_{k=1}^K [\lambda_k - (\lambda_{1v} * f_{1k} + \lambda_{2v} * f_{2k} + \lambda_{3v} * f_{3k})]^2 \rightarrow \min$$

$$\dot{q}_{y \text{ (or } x \text{ or } z)}(x, y, z) = -\lambda(x, y, z) * \frac{dT}{dy \text{ (or } dx \text{ or } dz)} \tag{3}$$

$$\lambda_{Model} = \frac{\iiint_{1,1,1}^{x,y,z} \dot{q}(x, y, z) * dx dy dz}{V} * \frac{d}{\Delta T} \tag{4}$$

$$\alpha_{x,z}(x, y, z) = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{\dot{q}_x(x, y, z)^2 + \dot{q}_z(x, y, z)^2}}{|\dot{q}_y(x, y, z)|} \right) \tag{5}$$

- g_{kl} valoarea de gri l in clasa k
- \bar{g}_k media valorii de gri a clasei k
- h_{kl} frecvența absolută pentru o valoare de gri l in clasa k
- h_k frecvența absolută a valorilor de gri din clasa k
- MS_W media sumelor pătratelor din clase
- $e_{j \text{ or } k}$ valori pentru cantități reziduale pentru probele j sau k în W/(m*K)
- $\lambda_{j \text{ or } k}$ conductivitatea termică a probelor j sau k în W/(m*K)
- λ_{ah} conductivitatea termică a structurii tip a cu particule orizontale
- λ_{av} conductivitatea termică a structurii tip a cu particule verticale
- $f_{aj \text{ or } k}$ frecvența relative a structurii tip a pentru probele j sau k
- $\lambda(x, y, z)$ conductivitatea termică a voxel-ului x, y, z în W/(m*K)
- $\left(\frac{dT}{dx}, \frac{dT}{dy}, \frac{dT}{dz}\right)$ gradientul de temperatură 3D în K/m
- $\dot{q}(x, y, z)$ densitatea fluxului de căldură pentru poziția x, y, z în W/m²
- V volumul în m³
- d grosimea panoului în m
- ΔT diferența de temperatură în K
- λ_{Model} conductivitatea termică medie modelată pentru probe in W/(m*K)
- $\alpha_{x,z}(x, y, z)$ deviația fluxului de căldură de la direcția transversală (x, z) pentru voxel-ul x, y, z

Tabelul 1.3.2.4.2: Design experimental pentru panourile din coajă cu particule orientate

Orientarea particulelor	Codificare	Densitatea în kg/m ³
Paralel cu planul	3V	200
	4V	283
	5V	366
	2V	450
	6V	500
Perpendicular pe plan	5H	200
	6H	283
	7H	366
	4H	450
	3H	500

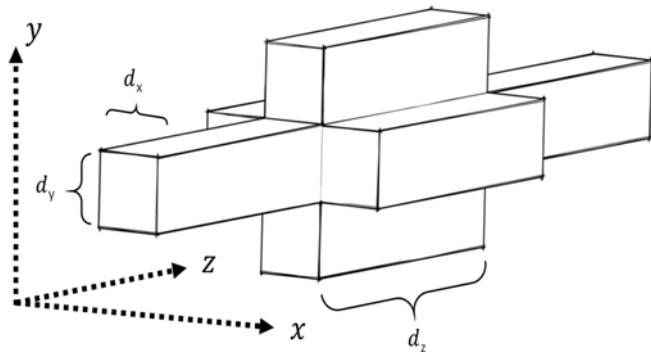


Figura 1.3.2.4.10 : Element de tip voxel cu definirea axelor (y este direcția gradientului de temperatură)

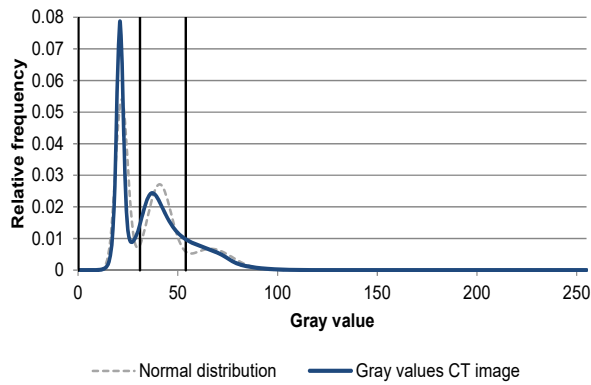


Figura 1.3.2.4.11: Histograma imaginii CT cu limita clasei optimizate și distribuția normală a probelor rezumată G2 (densitate 280 kg/m³, $\mu_1 = 21.80$, $\mu_2 = 407.73$, $\mu_3 = 66.52$, $\sigma_1 = 3.07$, $\sigma_2 = 6.05$, $\sigma_3 = 10.69$)

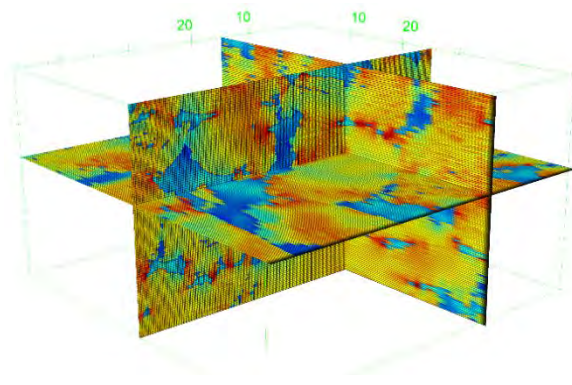


Figura 1.3.2.4.12: Densitatea fluxului de căldură (W/m²) pentru o probă de coajă (382 kg/m³, gradient 0.6 K/mm, flux de căldură mediu 44.6 W/m², conductivitate termică 0.08 W/(m*K)) [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016]

Pentru toate probele, fazele de material ar putea fi segmentate prin algoritimizare (fig.1.3.2.4.12). Conductivitatea termică a compartimentelor din coajă a fost determinată pentru panouri cu particule orizontale (gol = 0,025, coajă interioară = 0,088, coajă exterioară = 0,154 W/(m*K)) și particule verticale (gol = 0.028, coajă interioară = 0,077, coajă exterioară = 0,117 W/(m*K)). Analiza covarianței a arătat că densitatea panoului ($p < 0,001$) și orientarea particulelor ($p < 0,001$) au o influență semnificativă asupra conductivității termice. Panourile cu particule orientate orizontal au avut în medie o conductibilitate termică cu 13% mai mică decât panourile cu particule dispuse vertical (fig.1.3.2.4.13).

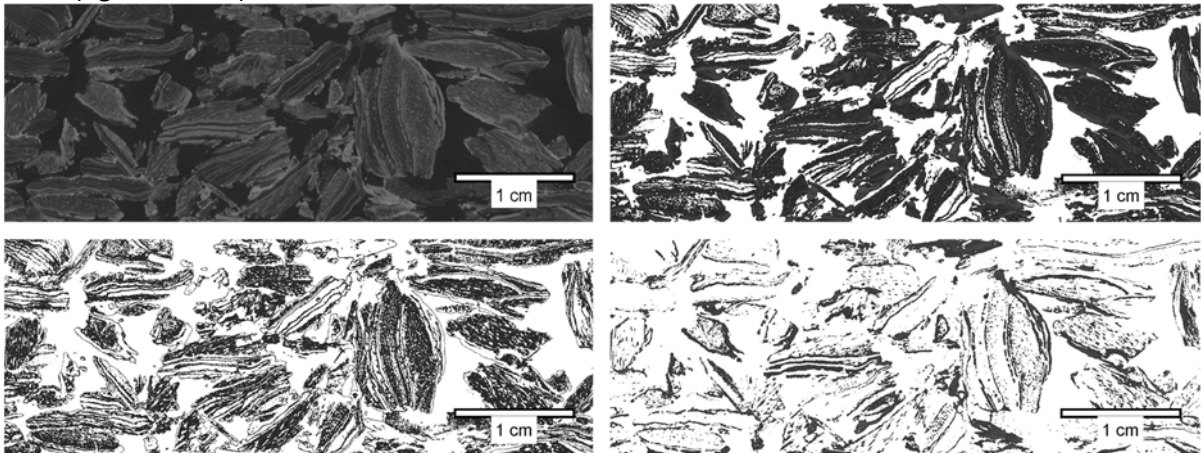


Figura 1.3.2.4.13: Tomografii cu raze X, dimensiuni probe din coajă de larice 50×50×20 mm³, densitatea 300 kg/m³, rezoluție 27 μm: a - tomografie, b - gol/coajă, c - gol/coajă interioară, d - gol/coajă exterioară [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016]

Conductivitatea termică a probelor a fost determinată pe baza modelului 3D (tab.1.3.2.4.3). Rezultatele s-au abătut, în medie, cu 5,7% de la valorile reale. În ceea ce privește valorile măsurate, păstrând același model, densitatea panoului și orientarea particulelor au o influență semnificativă ($p < 0,001$) asupra conductivității termice.

Unghiul mediu cu care fluxul de căldură deviază de la direcția y este mai mare în cazul unei densități mai mici și cu particule de coajă orientate vertical (fig.1.3.2.4.15). Ambele panouri cu orientare orizontală ($R = 0,99$) și verticală ($R = 0,97$) a particulelor au corelație negativă semnificativă ($p < 0,001$) între densitate și unghiul de deviere. Influența orientării particulelor este semnificativă ($p < 0,01$), iar cea a densității panoului este foarte semnificativă ($p < 0,001$). Un panou cu o densitate de aproximativ 200 kg/m³ a avut o abatere medie a fluxului de căldură de la direcția y de 8,5° pentru particule orizontale și de 10,5° pentru particule verticale. La o densitate de 500 kg/m³, abaterea medie a fluxului de căldură de la direcția y a fost 5.8°, iar diferența dintre particulele verticale și orizontale este neglijabilă.

Tabelul 1.3.1.4.3: Rezultatele modelării [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016]

Proba	Densitate (kg/m ³)	TC1 ^a W/(m*K)	TC2 ^b W/(m*K)	Dev.	Flux de caldură y (W/m ²)	Flux de caldură x (W/m ²)	Flux de caldură z (W/m ²)	Unghi xz (°)
5H6	206	0.062	0.054	-0.008	30.05	0.11	0.20	10.45
6H1	326	0.078	0.072	-0.006	40.24	0.38	0.29	8.94
7H3	383	0.085	0.083	-0.003	45.83	0.11	0.23	7.10
4H4	436	0.092	0.090	-0.002	50.35	0.24	-0.34	6.50
3H4	491	0.099	0.094	-0.005	52.30	-0.34	-0.27	5.94
3V5	220	0.056	0.052	-0.005	28.72	0.03	0.30	8.21
4V3	312	0.065	0.061	-0.004	33.77	-0.11	-0.23	7.22
5V2	382	0.072	0.070	-0.002	38.94	-0.06	0.29	6.39
2V1	467	0.080	0.074	-0.006	41.18	0.31	0.21	5.87
6V2	496	0.082	0.080	-0.002	44.59	-0.04	-0.25	5.35

^a conductivitatea termică măsurată; ^b modelul 3D al conductivității termice

Fluxul de căldură perpendicular pe plan este, în medie, de 292 ori mai mare decât cel din plan (direcția x și z). Așadar, fluxul de căldură în plan (x/z) nu prezintă nicio coerență sistematică cu densitatea panoului (fig.1.3.2.4.14).

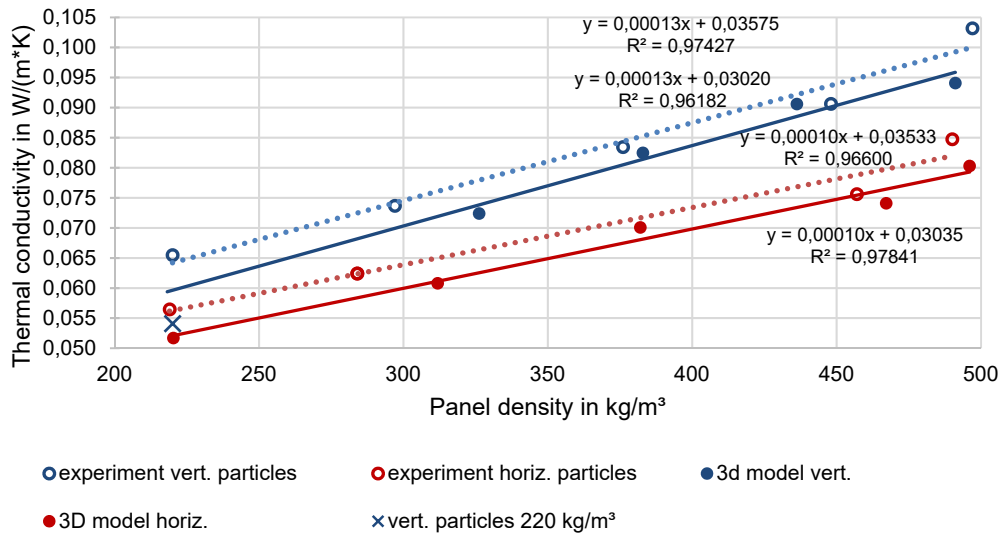


Figura 1.3.2.4.14: Influența orientării particulelor asupra conductivității termice a panoului și rezultatele modelate [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016]

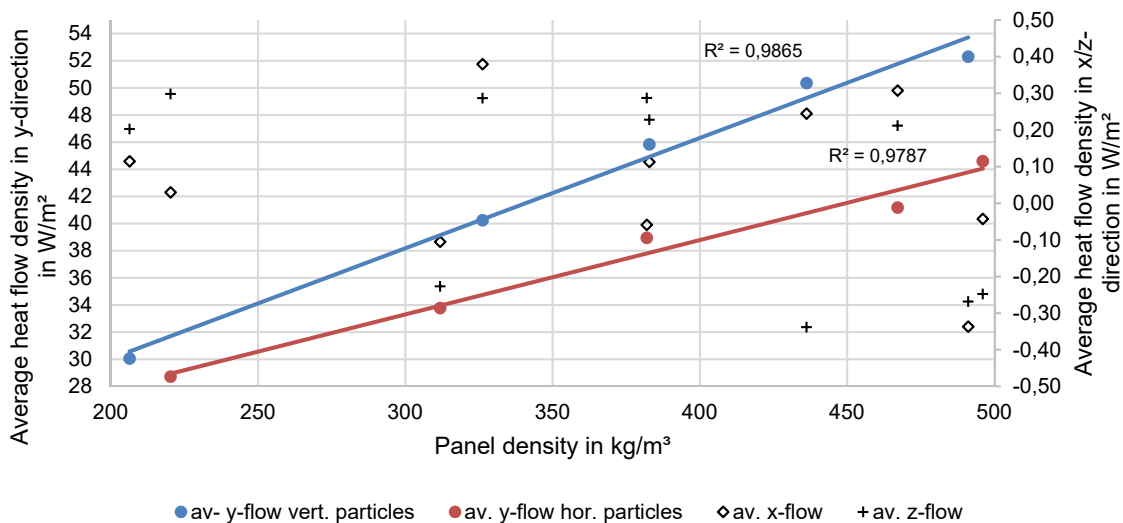


Figura 1.3.2.4.15: Fluxul de căldură în diferite direcții spațiale [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016]

Conductivitatea termică a compartimentelor din coajă a fost determinată în urma unei proceduri aplicate într-o cercetare anterioară [Kain, Charwat-Pessler, Barbu et al., 2015], care se bazează pe un model liniar, dar a fost optimizată separat pentru cele două tipuri de orientări ale particulelor. Rezultatele pentru golurile de material au fost mai mici pentru orientarea verticală (0,025 W/(m*K)) și orientarea orizontală (0,028 W/(m*K)) a particulelor comparate cu 0,030 W/(m*K) determinate anterior [Kain, Güttler, Lienbacher, Barbu et al., 2015]. Rezultatele observate pot fi atribuite dimensiunilor diferite ale porilor. Valorile par să fie realiste, de exemplu, s-a folosit o conductivitate termică de 0,026 W/(m*K) pentru goluri într-un studiu similar [Thömen et al., 2008]. În plus, acum 5 decenii s-a menționat că pentru materiale izolante din fibre, conducția aerului în goluri ajunge la 0,027 W/(m*K)[Hale, 1976].

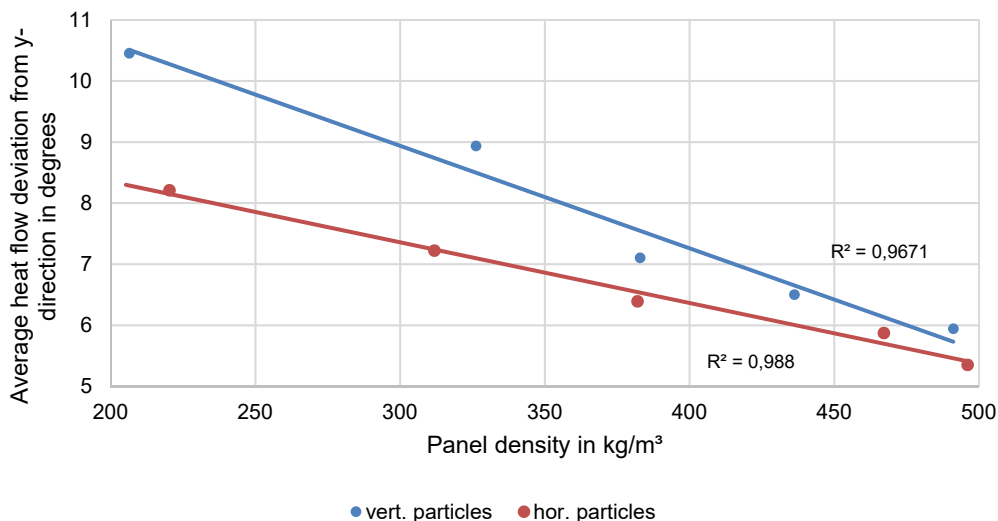


Figura 1.3.2.4.16: Devierea fluxului de căldură de la axa Y [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016]

Structura de coajă interioară a avut o conductivitate termică de 0,094 W/(m*K), în cadrul studiului anterior, iar acum s-a măsurat 0,088 și 0,076 W/(m*K). Conductivitatea corespunzătoare cojii exterioare calculată în acest caz a fost de 0,153 și 0,117 W/(m*K), în comparație cu 0,108 W/(m*K), în cadrul studiului anterior; rezultatele noului studiu indică o creștere semnificativă a valorilor. Acest lucru poate fi explicat prin compactarea mai puternică a particulelor în cazul orientării orizontale, care poate duce la zone cu densitate mai mare în structura panoului. Această ipoteză este susținută de către profilurile de densitate ale panourilor izolante din coajă, care au prezentat densități parțial eterogene ale panoului [Kain, Charwat-Pessler, Barbu et al. 2015]. Controlul orientării particulelor în interiorul plăcilor izolante din coajă se justifică, deoarece s-a dovedit ca panourile cu particule orientate orizontal au avut o conductivitate termică mai mică cu 13% (foarte semnificativ din punct de vedere statistic, $p < 0,001$) decât cele cu particule orientate vertical. Acest fapt determinat experimental a fost studiat cu ajutorul modelului termic. S-a folosit o versiune 3D a modelului, care a fost utilizat deja în alt studiu [Kain, Charwat-Pessler, Barbu et al. 2015]. Rezultatele modelate au arătat ca versiunea 3D a determinat un grad ușor mai ridicat de precizie decât cu modelul utilizat într-un studiu anterior. Modelul 2D s-a abătut în medie cu 8,6% față de valorile reale, iar modelul 3D (abateri absolute) cu 5,7%. Proprietățile materialului (conductivitate termică pentru compartimentele goale și umplute cu coajă) au fost optimizate separat pentru cele două tipuri de orientări de particule. Modelul termic urmează trendul măsurătorilor reale destul de bine, pe baza examinării înclinării funcțiilor de regresie (fig.1.3.2.4.15). Pentru ambele tipuri de orientări ale particulelor, valorile reale au fost subestimate (cu 6% verticală și 5% orizontală). O problema la producția panourilor a fost faptul că densitatea este atât de redusă, încât în timpul procesului de presare la cald, nu a avut loc o compactare corespunzătoare a particulelor. În consecință, orientarea particulelor nu este cu totul verticală. Prin acest fapt se explică de ce conductivitatea termică asociată este asemănătoare celei a panourilor cu particule orizontale. În plus, conductivitatea termică a golurilor trebuie să fie înțeleasă ca fiind conductibilitate termică sporită în modelul aplicat, combinând efectele de conducție, radiație și convecție. La temperaturi normale, efectele radiațiilor pot fi neglijate. Convecția din porii mai mici de 3-4 mm în diametru este mică; totuși, în interiorul anumitor panouri, mai ales cele mai ușoare (densitatea $< 300 \text{ kg/m}^3$), porii sunt mai mari, iar precizia modelului rezultat scade. În consecință, metoda prezentată

nu poate fi utilă pentru a studia aspecte referitoare la comportamentul termic al panourilor din coajă. Cu toate acestea, poate fi foarte util pentru a înțelege tendințele de bază [Kain, Charwat-Pessler, Barbu et al. 2015].

Deși, în cazul acestui model conductivitatea termică este subestimată, tendința este recunoscută și procesele termice la nivel de voxel pot fi folosite pentru a afla mai multe despre cauzele legate de conductivitatea termică mai mică a panourilor cu particule dispuse orizontal. În general, devierea fluxului de căldură de la direcția y este mai mare în cazul particulelor verticale (fig.1.3.2.4.17, sus). Fluxul de căldură în panouri cu particule orientate vertical poate urma rețeaua solidă (fig.1.3.2.4.17, jos). În panouri cu particule dispuse orizontal, fluxul de căldură trece direct prin goluri în cazul în care rezistența termică este mai mare. Acest lucru se poate observa într-o vizualizare a devierii fluxului de căldură de pe direcția transversală (fig.1.3.2.4.16). În panouri cu particule orientate vertical, fluxul de căldură este deviat să urmeze particulele verticale. În panouri cu structuri orizontale ale particulelor, cea mai mare deviație a fluxului termic se produce în cazul în care este forțat să ajungă în jurul zonelor goale, cu rezistență ridicată la fluxul de căldură.

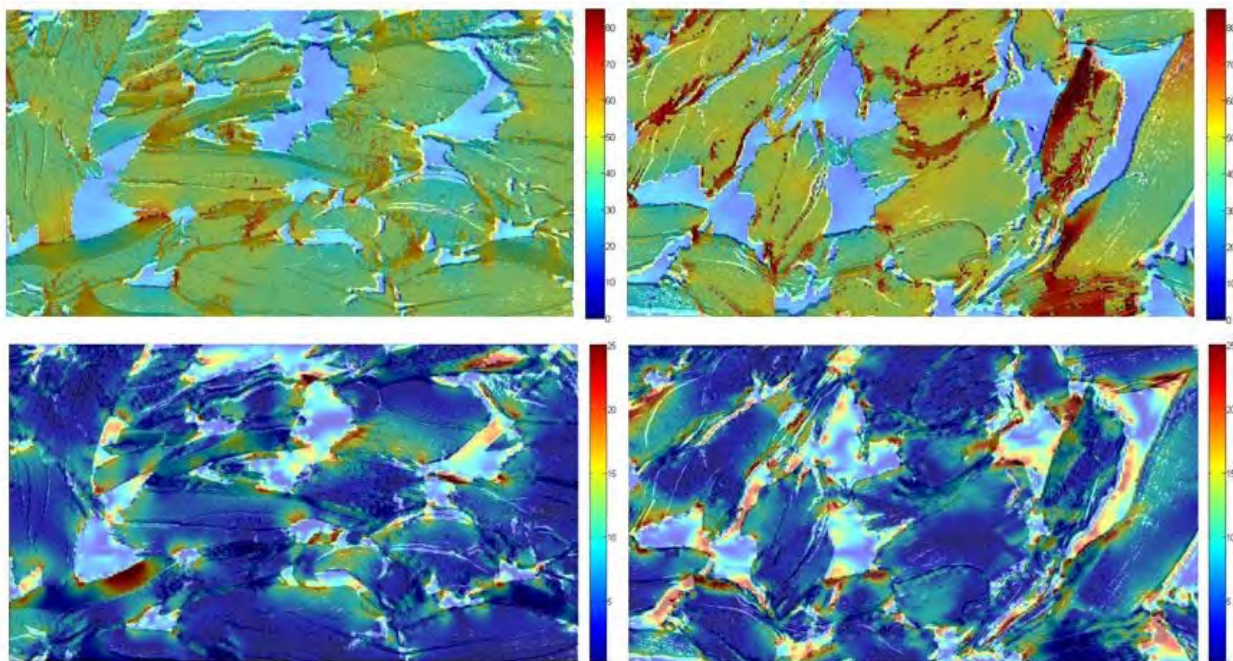


Figura 1.3.2.4.17: Centrul probei 5V2 (horiz. part., 382 kg/m^3) și 7H3 (vert. part., 383 kg/m^3): densitatea fluxului de căldură în W/m^2 (gradient de temperatură 0.56 K/mm) (sus) și deviere excesivă a fluxului de căldură transversal de la direcția panoului, în grade (jos) [Kain, Lienbacher, Barbu et al., 2016]

Această abordare experimentală propune o structură a panoului pentru care fluxurile de căldură perpendiculare pe plan sunt frânate de golurile dintre particule, ceea ce duce la o conductivitate termică scăzută, efect confirmat și în studii anterioare. În cazul panourilor realizate cu particule mai fine și cu aceeași densitate efectul este validat. Mai mult, fluxul de căldură este îngreunat printr-un sistem alternativ de goluri și elemente solide (particule de coajă). Spre deosebire de tehnologia de extrudare pentru producția unui tip de PAL cu particulele orientate perpendicular pe planul panoului, procesul de presare clasic permite producătorilor să controleze orientarea particulelor [Dunky&Niemz, 2002; Paulitsch&Barbu, 2015]. Aceste tehnologii ar putea fi utilizate pentru producerea de panouri pe bază de coajă, cu orientarea particulelor orizontale (precondiționate de optimizarea corespunzătoare a geometriei particulelor din coajă). În final, metoda propusă poate fi utilizată pentru a evalua procesele de difuzie (fluxul de căldură și difuzia aburilor) în cadrul unor sisteme complexe, eterogene și multifazice. Acest lucru ar putea conduce la descoperiri importante mai ales în domeniul ingineriei construcțiilor și justifică cercetări suplimentare în această direcție.

1.3.2.4.3 StratURI decorative subțiri din coajă de larice ca substitut al plutei pentru pardoseli¹⁵

Studiul de față urmărește o nouă utilizare a cojii de rășinoase, ca substitut pentru pardoselile cu strat decorativ din plută. În cadrul acestei cercetări s-a analizat posibilitatea înlocuirii suprafețelor utile din granule de plută ale podelelor cu un strat subțire pe bază de coajă. În acest scop, s-au produs plăci de 3 mm din particule fine de coajă de larice (<3 mm), în amestec cu adeziv poliuretanic (PUR). S-a utilizat aceeași structură multistratificată clasică, și anume hârtie hidroizolatoare, HDF ca strat de mijloc, peste care au fost presate plăcile subțiri din coajă, șlefuite și lăcuite. Grosimea totală a plăcilor multistratificate este de 10 mm. Au fost testate proprietățile mecanice, fizice ale acestor noi suprafețe, analizate statistic și ulterior comparate cu plăcile cu suprafața utilă din plută. Experimental s-a demonstrat că anumite proprietăți mecanice (rezistența la încovoiere, modulul de elasticitate, duritatea Brinell) și proprietățile stratului de uzură (rezistență la foc, rezistență la agenți chimici) ale probelor testate realizate din coaja de larice sunt similare și competitive cu cele ale pardoselilor cu strat de uzură din plută. În continuare este prezentată numai partea reprezentativă din testele și metodele utilizate în acest scop, realizate sub îndrumarea autorului și prezentate la conferințele internaționale.

Pardoselile clasice din lemn au fost reinterpretate sau înlocuite pe parcursul mai multor decenii cu diverse materiale compozite sau materiale alternative. În cazul parchetului stratificat, suprafața de uzură poate fi hârtie decorativă impregnată cu rășini pe bază de melamină, plută și linoleum. Cu toate că pluta este o materie primă sustenabilă, cantitățile disponibile sunt limitate, ținând cont că majoritatea pădurilor de stejar de plută (*Quercus suber*) sunt situate în partea de nord-vest a bazinului mediteraneean. În anul 2013, cererea pentru pardoseli elastice din lemn a crescut cu 4% (19,8 milioane m²). Cele două motive principale sunt trendul crescător al pardoselilor elastice și scăderea interesului de piață pentru parchet (stratificat) [Paulitsch&Barbu, 2015; Tudor 2014].

Materia primă pentru suprafața de uzură este coaja de larice (*Larix decidua Mill.*). Colectarea și pregătirea a fost amintită la începutul subcapitolului. S-au folosit, pentru fiecare placă, două fracțiuni de coajă, 80% reprezentând pe cea de 2,5-4 mm și 20% pe cea de 0,5-2,5 mm. Particulele fine de coajă au fost încleiate cu adezivul Epotal P100 ECO, o dispersie a unui elastomer de poliuretan furnizat de BASF, ușor compostabil în conformitate cu EN 13432: 2000. Ulterior, cu presa de laborator Höfer HLOP 280 în laboratoarele FHS, plăcile cu dimensiunea de 0,3x50x50 cm³ au fost presate timp de 5 min. la o temperatură de 80°C. De menționat faptul că, amestecând particulele de coajă de larice cu PUR, placa rezultată de 3 mm este elastică. Astfel, au fost realizate 5 plăci diferite, codificate în funcție de densitatea stratului de suprafață (E_450, E_500, E_600, E_700 și E-800), câte două plăci pentru fiecare tip. Firma Tilo (Lohnsburg) a pus la dispoziție două plăci similare, cu o grosime totală de 10 mm, cu strat de uzură din plută, în scopul de a servi drept referință pentru testări. Designul experimental este sistematizat în tabelul de mai jos.

Tabelul 1.3.2.4.4: Design experimental pentru panourile subțiri decorative din coajă de larice [Tudor, 2014]

Cod placă	Densitate (kg/m ³)	Adeziv PUR (%)	Temp. presare (°C)	Timp presare (min)	Dimensiuni placă (mm ³)
E_450	450	10	80	5	500x500x3
E_500	500	10	80	5	500x500x3
E_600	600	10	80	5	500x500x3
E_700	700	10	80	5	500x500x3
E_800	800	10	80	5	500x500x3

Plăcile de 3 mm din coajă de larice în amestec cu PUR au fost aplicate industrial la partenerul industrial (Tilo) fiind încleiate pe suport HDF de 7 mm cu adezivul PVAc (Folcolit) și presate la rece timp de 30 de minute împreună cu hârtia hidroizolantă (120 g/m²) rezultând o placă sandwich de 10 mm, apoi șlefuite (0,1 mm adaos) și lăcuite cu Twist Plus (grad de luciu 18), la o grosime a stratului de 65 μm. Epruvetele au

¹⁵ Aceste cercetări au fost îndrumate de autor și publicate de Tudor et al. în perioada 2013-2016 și au avut ca scop valorificarea cojii de rășinoase pentru produse compozite de densitate ridicată pentru plăci subțiri decorative. Cu aceste rezultate se pregătește documentația pentru un brevet austriac de invenție, precum și finalizarea unei teze de doctorat la TUZ (Zvolen).

fost selectate din diferite zone ale plăcii multistratificate și confecționate conform EN 326-1: 1994. Conținutul mediu de umiditate a fost de 9%, cu o deviație standard de 0,5%. Au fost testate proprietățile mecanice, cum ar fi rezistența la delaminare (EN 311: 2002), duritatea Brinell (HBW), proprietăți fizice, cum ar fi densitatea (EN 323: 1993), absorbția de apă (WA) și umflarea în grosime (TS) după 24 de ore (EN 317: 2005) și caracteristicile suprafeței, cum ar fi rezistența la abraziune (EN 14354: 2014), comportamentul la zgâriere (cross-cut) (EN 2409: 2013), rezistența la substanțe chimice (EN 26987: 2012) și rezistența la inflamare (EN ISO 11925-2: 2010). Înainte de testare, plăcile au fost condiționate timp de 3 zile într-o cameră climatică, la 20°C și 65% umiditate relativă a aerului. Proprietățile plăcilor sunt prezentate în tabelul 1.3.2.4.5.

Tabelul 1.3.2.4.5: Rezultatele experimentelor [Tudor, 2014]

Cod placă	Densitatea (kg/m ³)	Rezist. delaminare N/mm ²	Duritate Brinell N/mm ²	Umflare grosime %	Absorbție apă 24h %
E_450	813.06 (6.53)	0.25 (0.04)	15.10 (0.94)	23.4 (2.36)	29.5 (0.96)
E_500	817.34 (6.95)	0.23 (0,01)	18.18 (1.06)	23.95 (1.32)	25.61 (1,54)
E_600	844.90 (10.71)	0,24 (0.02)	19.14 (1.08)	29.92 (0.66)	27.29 (0.43)
E_700	873.82 (12.19)	0.33 (0.03)	19.83 (1.86)	31.11 (0.75)	29.12 (0.87)
E_800	890,91 (5.63)	0.31 (0.02)	26.83 (5.95)	20.66 (1.4)	23.51 (0.6)
Plută	752.45 (9.73)	0.79 (0.02)	10,00 (0,00)	2.99 (0.27)	10.25 (0.05)
EN		≥1*		≤15**	
* Cerințe minime conform EN 13329:2005					
** Cerințe minime conform EN 14534:2014					

Cele mai bune rezultate au fost obținute pentru tipul de placă E_800, atât pentru rezistența la delaminare și duritatea Brinell, cât și pentru umflarea în grosime și absorbția apei, deși aceste valori din urmă sunt peste limita de 15% impusă de EN 14534:2004. Rezistența la delaminare furnizează informații despre coeziunea particulelor în straturile de suprafață realizate din coaja de larice și indirect despre calitatea lipirii pe suportul din HDF. Niciuna din aceste plăci stratificate cu suprafața de uzură din coajă de larice, realizate în condiții de laborator, nu a atins valori apropiate de 0,8 N/mm², caracteristice plăcilor industriale cu suprafața de uzură din granule de plută, așa cum sunt afișate în diagrama de mai jos (fig.1.3.2.4.18, stânga).

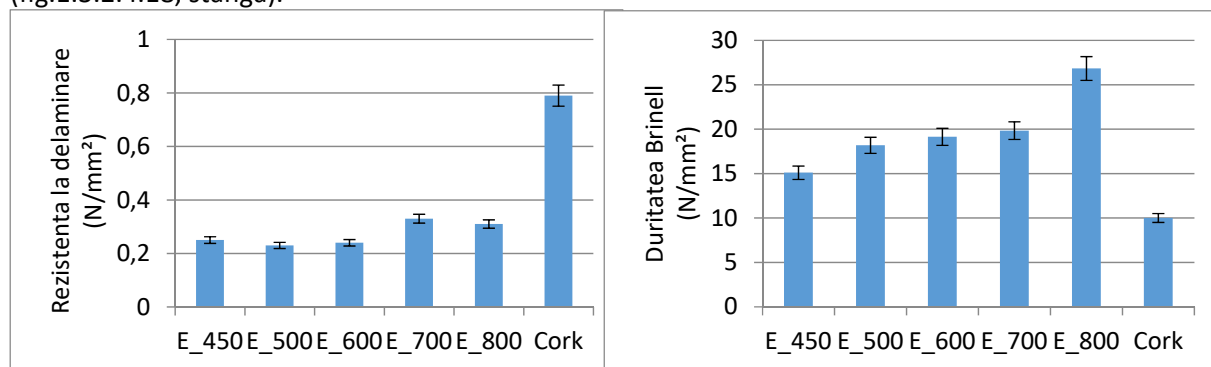


Figura 1.3.2.4.18: Rezistența la delaminare a plăcilor multistratificate cu suprafața de uzură din coajă de larice și plută (n=6) [Tudor, Barbu et al., 2016]

Figura 1.3.2.4.19: Duritatea Brinell a plăcilor multistratificate cu suprafața de uzură din coajă de larice și plută (n=6) [Tudor, Barbu et al., 2016]

Pentru epruvetele testate s-au măsurat valori între 0,21 și 0,38 N/mm², semnificativ mai mici decât 1 N/mm², după cum impune EN 13329: 2006, nereușind să se încadreze în clasa 21 - categoria de produse/dușumele pentru locuințe (clasa 33 – dușumele pentru spații comerciale cu trafic greu). Nici densitatea (450 - 800 kg/m³) nu are o influență semnificativă asupra rezistenței la delaminare.

Din figura 1.3.2.4.19 (dreapta) se observă că, odată cu creșterea densității crește și duritatea Brinell. Pentru plăcile cu suprafața de uzură din plută s-au măsurat 10 N/mm², depășite de toate celelalte tipuri de plăci E_450 (14 - 16 N/mm²), E500 (17 - 20 N/mm²), E_600 (18 - 21 N/mm²), E_700 (17 - 23 N/mm²) și E_800 (20-28 N/mm²). Deoarece duritatea este un criteriu important pentru pardoseli, atingerea valorilor cel puțin duble față de probele martor cu suprafața de uzură din plută rezultă că, pentru o densitate mai mare de 700 kg/m³, plăcile cu suprafața de uzură din coajă de larice pot reprezenta o alternativă a produselor existente pe piață. Un test Shapiro-Wilk ($p = 0,409 > 0,05$) și o analiză vizuală a histogramei au fost efectuate pentru rezistența la delaminare și duritatea Brinell. Testul Shapiro-Wilk (fig. 1.3.2.4.19, stânga) a arătat că rezistența la delaminare are o distribuție aproape normală, cu un indice de asimetrie de 0,351 (SE = 0,472) și gradul de aplatizare de -0,501 (SE = 0,918) - distribuție platicurtică. Valoarea Z a indicelui de asimetrie este 0,743, iar pentru aplatizare $Z = -0,545 (\pm 1,96)$. Histograma durității Brinell (fig. 1.3.2.4.19, dreapta) prezintă distribuția aproximativă a valorilor măsurate ($p = 0,902$), cu indicele de asimetrie de 0,094 (SE = 0,472) și grad de aplatizare de -0,560. Valorile Z sunt 0,199 (asimetrie), și -0,61 (aplatizare) ($\pm 1,96$) [Tudor, Barbu et al., 2016].

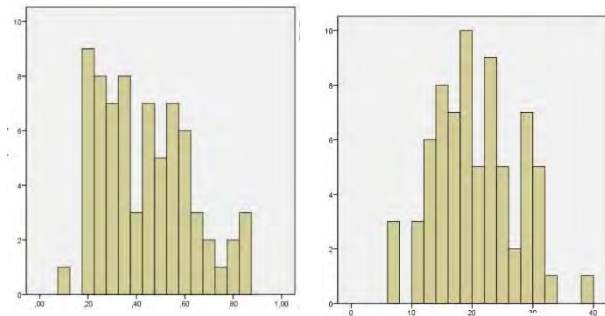


Figura 1.3.2.4.19: Histograma rezistenței la delaminare (stânga, N/mm²) și a durității Brinell (dreapta, N/mm²) [Tudor, Barbu et al., 2016]

Umflarea în grosime și absorbția de apă după imersie timp de 24 de ore (20°C, pH 7) nu depinde numai de mărimea particulelor de coajă și proprietățile structurale ale materialului, ci și de adezivul utilizat. Probele cu suprafața de uzură din plută au avut cel mai mic coeficient de umflare în grosime, variind de la 2,76 până la 3,45% (fig.13.2.4.20). Pentru probele cu suprafața de uzură din coajă, influența densității nu poate fi considerată esențială, deoarece pentru probele cu 450 și 800 kg/m³ a reieșit un comportament similar după imersia timp de 24 de ore în apă și coeficientul de umflare a fost de 18 - 27%. Epruvetele cu o densitate cuprinsă între 500 și 700 kg/m³ au înregistrat coeficienți de umflare de 27 - 32%. Expus la contactul cu apa, stratul din granule de plută aglomerată rezistă mai bine decât compozitele din coajă de larice, cu grad mediu de absorbție a apei de 25% (fig. 1.3.2.4.21). Probele cu suprafață de uzură din coajă au absorbit mai multa apă (valori medii cuprinse între 23,5 - 29,5%), explicate prin porozitatea determinată de distribuția diferită a fracțiunilor de coajă de larice (0,5-2,5 mm și 2,5-4 mm) și, de asemenea, de compoziția cojii [Tudor, Barbu et al., 2016].

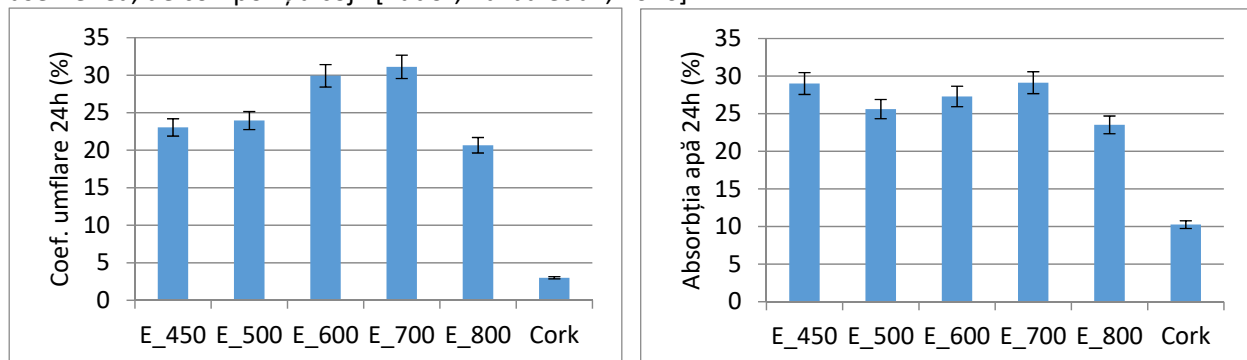


Figura 1.3.2.4.20: Coeficientul de umflarea în grosime după 24 ore (n=6) [Tudor, Barbu et al., 2016]

Figura 1.3.2.4.21: Absorbția de apă după 24 ore imersie (n=6) [Tudor, Barbu et al., 2016]

Rezistența la abraziune este prezentată prin numărul de rotații ale discului abraziv și monitorizat prin intermediul cadranelor (fig.1.3.2.4.22) [Wolpers¹⁶, 2015]. Rezultatele nu sunt rotunjite conform EN 14354: 2007, ci redate cu exactitate, deoarece pentru valori rotunjite acestea ar fi toate egale pentru 100 de rotații, și, astfel, nu s-ar putea analiza nicio diferență semnificativă. Probele de referință din plută au ajuns la 154 de rotații și au cu numai 29 de rotații mai mult decât minimul de 125 de rotații ale plăcii E_450. Cel mai bun rezultat s-a înregistrat pentru tipurile de plăci E_600 și E_800, adică 140 de rotații. Cu toate acestea, valorile (tab.1.3.2.4.6) oferă doar informații marginale despre straturile de uzură, deoarece numai suprafața lăcuită a fost supusă acestui test. Alte diferențe rezultate scoase în evidență în urma acestui test, se pot explica prin formarea manuală a particulelor de coajă de larice încleiate cu PUR direct în forma de presare, ceea ce a condus la o structură neomogenă a plăcii, inclusiv a suprafeței, având ca efect o distribuție inegală a lacului, deoarece pe anumite porțiuni au fost acoperite golurile de material [Tudor, Barbu et al., 2016].

Tablelul 1.3.2.4.6: Rezistența la abraziune (număr de rotații, conform EN 14354: 2007) a plăcilor multistratificate cu suprafață de uzură din coajă de larice și plută

Cod placă	Nr. de rotații
E_450	125
E_500	127
E_600	140
E_700	135
E_800	140
Plută	154



Figura 1.3.2.4.22: Epruvetă împărțită în 16 sectoare pentru analiza rezistenței la abraziune conform EN 14354: 2007 [Tudor, Barbu et al., 2016]

La fel ca și metoda pentru determinarea rezistenței la abraziune, testul de zgâriere (cross-cut) nu prevede niciun rezultat cantitativ, ci doar o analiză calitativă a stratului de uzură. În schimb acest test oferă informații cu privire la calitatea suprafeței și aderența finisajului (lac sau hârtie), elemente esențiale în caracterizarea podelelor. Rezultatele au fost evaluate vizual și clasificate conform EN 2409: 2013. În medie, zona exfoliată în urma zgârierii nu reprezintă mai mult de 5% din suprafață. Toate probele cu suprafața de uzură din coajă de larice s-au încadrat în clasa 1. Cele mai mici valori ale probelor de referință din plută aparțin clasei 2 (5-15% zonă exfoliată). În conformitate cu EN 14354: 2007 toate plăcile realizate satisfac cerința minimă de încadrare în clasa 1 sau 2 de uzură pentru podele [Tudor, Barbu et al., 2016]. Testarea rezistenței la substanțe chimice oferă informații dacă suprafața podelei s-a modificat după ce s-au aplicat diverse substanțe lichide sau dacă finisajul suprafeței o protejează suficient de bine. Substanțele pentru aceste teste au fost: alcool etilic, cafea, vin roșu, detergent și apă oxigenată. Mărimea epruvetelor a fost aleasă astfel încât toate substanțele de testare să aibă suficient spațiu să se împrăștie și să nu se treacă peste canturile probei. Pentru fiecare substanță a fost selectat un câmp propriu, trasându-se cu un marker permanent un cerc cu diametrul de 40 mm, rezultând astfel o suprafață de 300 - 400 mm², acoperită cu lichidul respectiv. După un timp de reacție de 2 ore, lichidul a fost îndepărtat cu hârtie absorbantă, iar zona afectată a fost analizată. Astfel, s-a atribuit un cod în funcție de gradul de modificare al suprafeței: 0 - suprafața neschimbată, 1 – suprafață ușor modificată; 2 - suprafață modificată moderat; 3 - suprafață modificată și 4 suprafață modificată puternic. Niciuna din epruvete nu a fost modificată semnificativ, doar probele expuse la alcool au fost ușor deteriorate (E_450, E_500, E_600 și E_700). Densitatea suprafeței de uzură și, prin urmare, porozitatea afectează rezistența la substanțe chimice, efect remarcat în special la probele E_450 și E_500 [Tudor, Barbu et al., 2016].

Testarea rezistenței la aprindere (small flame) a dovedit că amestecul de coajă de larice și adeziv poliuretanic are o rezistență sporită la ardere. Clasificarea rezultatelor s-a făcut în conformitate cu EN 13501-1: 2009. Pentru ca seria de epruvete testate să se încadreze în clasa B, flacăra care se dezvoltă după aplicarea unei surse de foc normată pe suprafață de la cantul inferior, timp de 30 de secunde

¹⁶ Lucrare de disertație îndrumată la FHS de autor și E.Tudor în perioada 2013-2015

(fig.1.3.2.4.23), nu trebuie să depășească în direcția verticală 150 mm (urma flăcării). Corelația Pearson, între durata până la stingerea flăcării (care a continuat să ardă pe suprafață și după încetarea aplicării sursei externe de foc) și durata flăcării de inițiere aplicată pe cant, indică o corelație strânsă: $r = 0,937$, $p = 0$ [Tudor, Barbu et al., 2016].

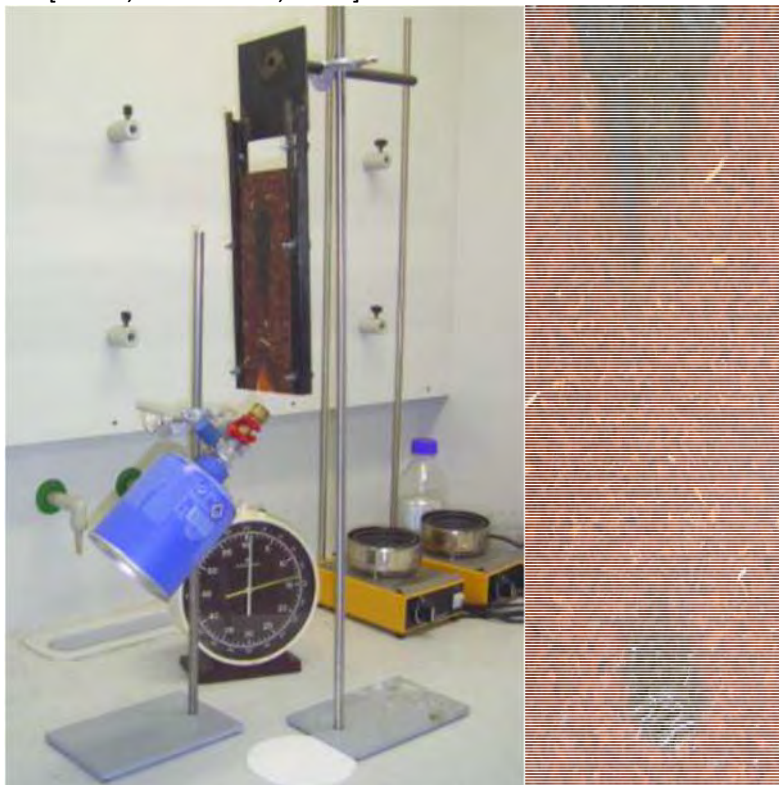


Figura 1.3.2.4.23: Testul rezistenței la aprindere (small flame) aplicat unei probe multistrat cu suprafață de uzură din coajă de larice încleiată cu PUR (EN 11925:2011)[Tudor, Barbu et al., 2016]

Plăcile multistratificate cu suprafață de uzură din coajă de larice pot fi considerate ca alternative ale podelelor cu strat utilitar din plută. Acest studiu a demonstrat că, dintr-o materie primă sustenabilă, se pot realiza plăci subțiri (3 mm) cu aspect decorativ și suprafață de uzură pentru dușumele. Duritatea Brinell a acestor plăci multistratificate este semnificativ mai bună decât a celor de control cu strat de uzură din granule de plută aglomerată. Un dezavantaj îl reprezintă proprietățile higroscopice (coeficientul de umflare în grosime și absorbția apei după 24 h), care pot fi îmbunătățite prin utilizarea altor tipuri de adezivi și altor amestecuri din fracțiuni coajă (prin optimizarea spectrului de la 0,5 până la 4 mm). Suprafețele testate au avut un comportament adecvat la abraziunii, fără modificarea drastică a stratului exterior, inclusiv în urma aplicării de diverse substanțe chimice sau expunerea la foc, ceea ce recomandă suplimentar acest tip de structură compozită.

1.3.2.4.4 Compozite din plută¹⁷

Pluta este o parte din coaja unui anumit tip de stejar (*Quercus suber*) și una dintre cele mai sustenabile materii prime la nivel mondial. Portugalia este lider și are aproximativ 600 de ateliere și fabrici cu aproximativ 9000 de angajați în industria plutei. În cazul plutei, compoziția chimică medie este de 15,3% extractive, 38,6% suberina, 21,7% lignină, 18,2% polizaharide și 0,7% cenușă. Glucoza reprezintă 50,6% din monozaharide, xiloza 35,0%, arabinoza 7% și galactoză și manoză, respectiv, 3,6% și 3,4%. După circa 6 la 9 luni de uscare naturală și condiționare, plăcile brute din coajă, recoltate la fiecare 9 ani, se fierb 1 oră la sub 100°C. Acest procedeu de aburire și fierbere reduc substanțele poluante și microflora, asigurând o elasticitate mai mare și o densitate și mai scăzută a materialului. În urma fierberii, volumul plutei crește cu aproximativ 20% [Pereira, 2007; Tudor, 2014].

¹⁷ În urma colaborării cu instituțiile universitare partenere, specializate de cercetarea plutei din Lisabona, Porto, Viseu, dar și a vizitei celui mai mare producător mondial din Portugalia (Amorim), autorul a inclus tehnologia prelucrării plutei și a compozitelor pe bază de plută în cercetările efectuate, cursurile predate și capitole din cărțile publicate [Barbu et al., 2014; Paulitsch&Barbu, 2015].

Plăcile brute de plută devin astfel plane, mai ușor și rentabil prelucrabile. După fierbere, pluta trebuie să se stabilizeze timp de 2 până la 3 săptămâni (fig.1.3.2.4.24, stânga sus). Dopurile de plută se ștanțează manual sau automat din plăcile tratate de calitate superioară. După ștanțare resturile se transformă în granulat (fig.1.3.2.4.24, dreapta sus și jos), care prin înclieiere aglomerare sau extrudare se pot reutiliza integral, printre altele, pentru obtinerea așa-numitei plute "tehnice". Granulele neînclieiate se folosesc pentru materiale izolante, sisteme de afânare, amortizare etc. și se comercializează în diferite dimensiuni, de la pulbere până la bucăți de câțiva centimetri (fig.1.3.2.4.24, jos)[Tudor, 2014 ; Barbu et al. 2014 ; Paulitsch&Barbu, 2015].



Figura 1.3.2.4.24: Calitate inferioară de plută este balotată (stânga sus); deșeurile rezultate din producția de plută (dreapta sus); Frațiuni din granulat din plută (jos)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Amorim]

Plăcile brute din plută de cea mai bună calitate sunt utilizate pentru producerea de dopuri. Celelalte calități împreună cu deșeurile sunt folosite pentru fabricarea granulelor din care se produc plăci aglomerate cu echipamente similare celor din industria PAL. Se pot produce prin presare la cald foi subțiri, forme, blocuri sau cilindri prin înclieierea cu diverși adezivi (PUR) și densități și granulații diferite, care se prelucrează apoi prin ștanțare, fierăstuire, derulare, tăiere plană în plăci, furnire, repere etc. Pentru fabricarea blocurilor din plută, formele au dimensiunile 25x100x100 cm³. Mai multe asemenea blocuri se așază, alăturat, pe o bandă lungă transportoare și ulterior printr-o singură trecere se produc furnire cu ajutorul mașinilor de tăiat plan. Aceste furnire artificiale din plută se folosesc ca suprafețe decorative (tapet, suprafețe decorative, podele), plăci izolante și absorbante etc. În mod asemănător, sunt pregătiți cilindrii din granulat de plută (diametru 1 m), densificați în forme, se întăresc în tunele de uscare. Din acești cilindri se derulează furnire (> 1,5 mm) (fig.1.3.2.4.25).

Foliile (<1,5 mm) nu mai pot fi fabricate asemănător furnirelor din plută (prin tăiere sau debitare) și se folosesc prese continue cu bandă dublă, procedeu asemănător obținerii foliilor din material plastic, hârtiei densificate, dar și UTHDF (fig.1.3.2.4.26, stânga sus). Operația de presare are loc la viteze mari de avans, iar foliile sunt imediat rebobinate. Înainte de prelucrarea ulterioară, rolele cu foliile din granulat de plută sunt depozitate intermediar (fig.1.3.2.4.26, dreapta sus) și ulterior se prelucrează prin ștanțare, laser sau tăiere în diverse produse, cum ar fi garnituri de etanșare (fig.1.3.2.4.26, jos) [Paulitsch&Barbu, 2015].

Alte produse pe bază de granulat înclieiat din plută se produc în forme speciale și se folosesc cu succes de peste două decenii pentru izolarea termică, absorbția vibrațiilor, șocurilor în industria transporturilor, materialelor sportive, înălțăminte, confecțiilor, militară etc.



Figura 1.3.2.4.25: Depozitarea cilindrilor din granulat de plută înleiat (stânga); Centrarea și fixarea cilindrilor între vârfuri în vederea derulării (dreapta) ; Derularea cilindrilor din plută (jos)



Figura 1.3.2.4.26: Presă continuă cu bandă dublă pentru producția de folii din plută (stânga, sus); Depozitarea intermediară a rolerilor în rafturi (dreapta sus); Exemple de produse finale din folii de plută: suprafețe decorative (stânga jos) și garnituri de mașini ștanțate (dreapta jos) [Paulitsch&Barbu, 2015]

(B-ii) Direcția de cercetare 2: STRUCTURI COMPOZITE CU GREUTATE REDUSĂ¹⁸

Creșterea costurilor și deficitul de materii prime, limitarea greutății în transportul de marfă care a devenit scump, precum și modificările în proiectarea mobilierului în privința limitării greutății pachetelor, au determinat dezvoltarea structurilor compozite ușoare pe bază de lemn și alte materiale. Încă de la începutul producției industriale a PAL, la sfârșitul anilor '40, s-au fabricat plăci aglomerate mai ușoare decât cele standard (tip P2, EN312:2004) pentru mobilierul de astăzi. Odată cu utilizarea tot mai răspândită a plăcilor pe bază de lemn pentru mobilă au crescut și exigențele impuse acestora, de exemplu, pentru rezistența la smulgerea șuruburilor a fost nevoie de un strat de miez mai dens. Una dintre posibilități a fost de a crește densitatea totală a PAL la peste 650 kg/m³. În plus, au început să fie folosite și specii lemnoase cu densitate mare, precum lemnul de fag, carpen, castan, în funcție de disponibilitatea pe piață. După apariția și introducerea melaminării plăcilor, la începutul anilor '70, nu s-a mai putut reduce greutatea plăcilor din cauza condițiilor dure de presare la care acestea erau supuse [Paulitsch&Barbu, 2015].

În industria mobilei, expansiunea MDF, care a început în ultimele 2-3 decenii (în Europa și America de Nord) s-a oprit, în ciuda proprietăților excelente și a prelucrabilității. Unele motive ar fi calitatea superioară a materiilor prime, greutatea sporită (fig.2.1.0) și, implicit, prețul lor mai mare. Astfel, piața mondială a plăcilor continuă să fie totuși dominată de PAL (>60% Europa), căruia i se adăugă placajul (Asia) [Barbu&Paulitsch, 2014; Paulitsch&Barbu, 2015].

Principalele avantaje ale PAL, comparativ cu MDF sau placajul, care pot explica această situație, sunt posibilitatea de a utiliza 100% lemnul reciclat, pentru a produce panouri ușoare la cel mai scăzut preț. În anumite regiuni, placajul pe bază de specii ușoare cu creștere rapidă este o soluție echilibrată între o densitate mai mică și condițiile impuse pentru materialele de construcții sau mobilier. În general, capacitățile mari din industria mobilei dețin tehnologii de procesare și finisare, care sunt axate numai pe PAL și acest lucru ar putea fi, de asemenea, un motiv pentru supremația acestui produs. În ultimii ani, dezvoltarea și implementarea plăcilor ușoare a devenit subiect independent care țintește îmbunătățirea funcționalității, reducerea costurilor și a impactului ecologic. Mai ales piața în creștere pentru mobila demontabilă se bazează pe produse cu densitate mai mică [Wiedemann, 2007]. Noile considerente impuse de marile lanțuri de desfacere a mobilei „la pachet” limitează greutatea pieselor componente, în scopul de a corela dimensiunile cu abilitățile ergonomice pentru utilizatorii finali. Piese grele de mobilier trebuie distribuite în mai multe pachete. O greutate maximă de 25 kg pe pachet se consideră acceptabilă în acest context. Totuși, prin scăderea greutății pieselor individuale de mobilier, utilizarea poate fi de asemenea, simplificată, odată ce produsul este asamblat. Acest lucru reduce riscul de daune și ar putea prelungi durata de viață a produsului [Barbu et al., 2010b; Frühwald et al., 2009].

Panourile ușoare constituie un aspect important al dezvoltării mobilierului, mai ales în sens constructiv și al transportului (pentru aplicații de tip do-it-yourself). Experții în domeniu se așteaptă ca mobila să nu mai fie 100% bazată pe PAL, ci pe "soluții hibride", atunci când, în funcție de cerințele funcționale, se folosește materialul optim. O anumită reticență a consumatorilor este legată de ideea că mobila ușoară are o durată de utilizare mai scurtă decât mobilierul din structuri masive. Utilizatorul final nu este interesat în mod

¹⁸ În studiile la care autorul a participat sau pe care le-a coordonat ca proiecte de cercetare FFF806939 : 2002-2003 (FHK); FFG809980: 2005-2006 (FHS); UHH: 2008-2010, FFG822221: 2009-2010 (UIbk) ; FHS :2013-2016 (Kuchl) (detalii în B-ii 2), prin lucrările de licență (7) și disertație (9) pe care le-a condus și prin tezele de doctorat finalizate cu succes în cotelă [Lüdtke, 2011 ; Shalbfan, 2013; Kain, 2016] s-a avut ca scop reducerea greutății structurilor compozite prin diverse strategii tehnice. Inițial, cea de a-2-a teză de doctorat a autorului [Barbu, 1996] i-a permis acestuia să acumuleze experiența necesară, atât la nivel de laborator, cât și la nivel de tehnologie industrială, descrise în cea de-a doua sa carte de specialitate [Barbu, 2002], dar și într-un capitol din cartea sa recent publicată [Paulitsch&Barbu, 2015]. Două patente europene [Lüdtke et al., 2007 ;Kain, Barbu, Petutschnigg, 2013], recunoscute cu succes și în alte state din afara UE, multe lucrări susținute la conferințe internaționale (Pullmann, 1996 ; Bangkok, 1996 ; Bangor, 1997-1998 ;Porto, 2008 ; Bled, 2008 ; Bar Harbor, 2008 ; Brașov, 2009/2011/2015 ; Espoo, 2009 ; Dresda, 2009 ; Tokyo, 2009 ; Kuchl, 2010 ; Geneva, 2010 ; Quebec, 2014 ; Salzburg – keynote , 2015 ; Atlanta, 2015 ; Augsburg, 2016 – keynote ; Viena, 2016) și publicații în revistele de specialitate, dar și numeroase proiecte de cercetare în cooperare cu industria de profil din Austria, Germania, Indonezia, Thailanda au confirmat repetat această direcție de cercetare a autorului (a se vedea CV-ul și lista completă a publicațiilor).

special de problemele de greutate ale mobilierului, ci de avantajele sau aspectele ecologice și tehnologice, ca urmare a economisirii semnificative de material [Barbu, 2015].

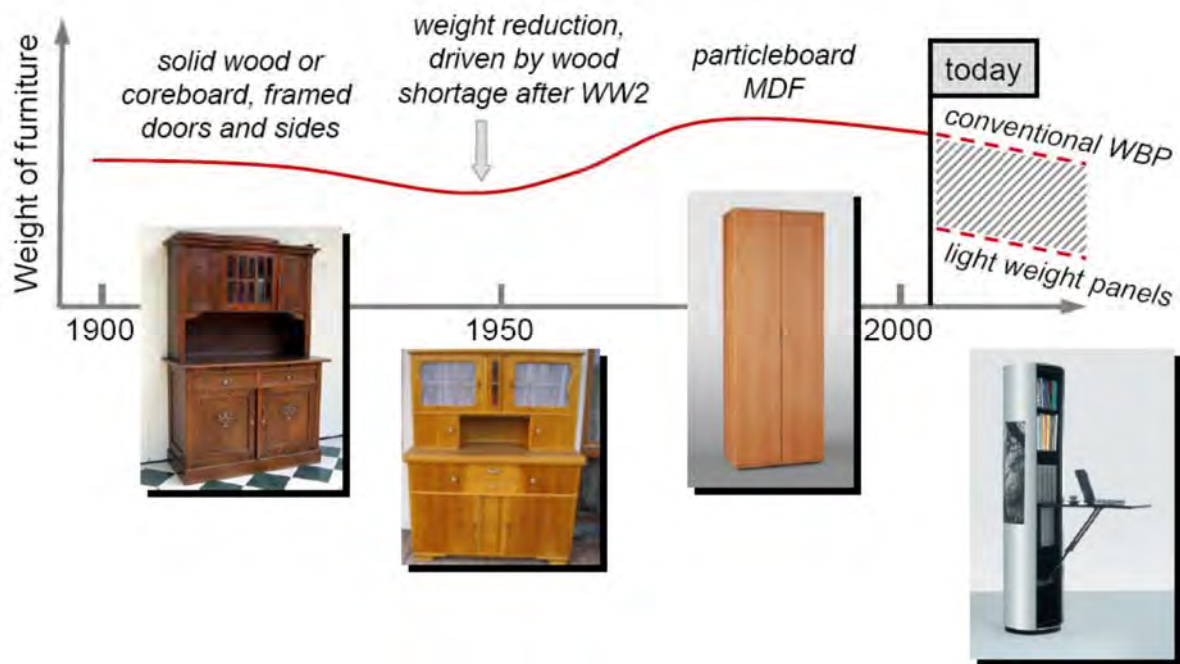


Figura 2.1.0: Evoluția greutății mobilei [Barbu et al., 2010b după Frühwald et al., 2009]

Începând cu anul 2000, dezvoltarea plăcilor ușoare din lemn este o temă esențială în cercetare. Autorul și colectivele de cercetare din care acesta a făcut parte propun industriei compozitelor din lemn soluții diverse în funcție de tipul plăcii, materia primă, procesul de fabricație și utilizare.

2.1 PLĂCI UȘOARE PENTRU MOBILĂ

Producția de plăci ușoare este mai elaborată, implicând costuri mai mici de producție și de materii prime decât pentru spumele sau materialele expandabile, care sunt adesea mai mari în comparație cu majoritatea plăcilor clasice. Avantajul greutății reduse este contrabalansat de productivitatea scăzută, costurile și prețurile pentru produsul final și pentru îmbinările sofisticate pentru semi-elemente [Barbu et al., 2010b; Lüdtke et al., 2007; Michanickl, 2006]. În cazul în care procesele de producție devin mai eficiente prin soluții inovatoare, până la 30% din panourile pe bază de lemn peste 20 mm grosime ar putea fi substituite cu plăcile ușoare [Frühwald et al., 2009]. Menținerea prețurilor scăzute pentru placaj, PAL și MDF este încă un impediment pentru implementarea pe piață, pe termen scurt, a plăcilor ușoare moderne.

Plăcile clasice pe bază de lemn (> 25 mm) cum ar fi placaj, PAL și MDF (în principal cunoscut sub numele de LDF), cu greutate parțial redusă (> 450 kg/m³), reprezintă o soluție probată din punct de vedere al performanței și prețurilor scăzute. În ultimele decenii, dezvoltarea structurilor ușoare din lemn a urmat tendințe diferite pentru reducerea densității miezului. Industria plăcilor a redus densitatea folosind specii de lemn autohtone cu densitate scăzută (rășinoase și foioase moi). Încă de la începutul anilor '90 a crescut cu mult consumul de adeziv și datorită trecerii de la clasa E2(3) la E1 de formaldehidă liberă și s-a optimizat profilul densității plăcilor. Această abordare permite o reducere cu maximum o treime din densitatea inițială și păstrează proprietățile principale – umflarea, coeziunea internă și rezistența la încovoiere – la un nivel acceptabil. Costurile de producție ar putea fi o problemă pentru producătorii care nu au specii de conifere sau foioase moi la îndemână sau nu dispun de capacității de producție proprie a adezivului, care se dozează într-o cantitate cu până la 50% mai mare. Costurile cu materia primă reprezintă peste 50% din costurile totale de producție. Aceste plăci ușoare¹⁹ au grosimea mai mare de 20 mm și densitatea de cca.

¹⁹ Reducerea densității MDF a fost cercetată de autor pe perioada celei de a 2-a teze de doctorat (1994-1997), atât la nivel de laborator la Boku (Viena), cât și de producție industrială la partenerul industrial Leitgeb, ulterior Funder Industrie (Kühnsdorf), care avea prima presă continuă în uz din sud-estul Europei.

500 kg/m³, dar domeniul lor de aplicare se limitează în special în industria mobilei. Proprietățile mecanice ale miezului sunt comparabile cu cele standard, dar nu se poate spune același lucru și despre fețe în ceea ce privește densitatea și rugozitatea acestora [Barbu&Resch, 1996; Barbu, 1997; Barbu, 2002; Barbu 2015a-b].

Un caz special de plăci aglomerate ușoare îl reprezintă panourile tubulare din particule de lemn, produse prin extrudare. Pentru multe aplicații, cum ar fi cazul ușilor, aceste plăci s-au impus la nivel mondial. Această soluție specială, PAL extrudat, a avut o poziție stabilă pe piață până când spumele din plastic au fost acceptate. Grosimi cuprinse între 30 și 60 mm cu densități de 275 până la 450 kg/m³ sunt dificil de realizat cu tehnologiile actuale. În general, densitatea scăzută a furnirelor, a particulelor și fibrelor solicită adezivi speciali, dar și consumuri semnificativ mai ridicate. Acest tip de placă nu acoperă cu succes intervalul de grosimi sub 25 mm. Reducerea severă a densității miezului, folosind un amestec de particule de lemn și non-lemn și un anumit profil al densității pentru fețe a deschis calea pentru producția industrială a LDF de astăzi [Barbu, 2015a; Barbu, 2015b; Paulitsch&Barbu, 2015]. Din particule grosiere din lemn au fost fabricate plăci cu densitate redusă. Ca alternativă, au fost experimentați adezivii pe bază de spumă [Deppe&Ernst, 2000]. Thole a preluat această idee din nou și a realizat în laborator PAL cu densitatea de 390 kg/m³, înleiat cu adeziv pe bază de spumă (2005) [Michanickl, 2006].

O nouă generație de PAL cu greutate redusă (de exemplu, <25 mm), cu miezuri realizate din polistiren expandat (EPS) în amestec cu particule de lemn a făcut posibilă dezvoltarea unor plăci cu densitatea de 200 kg/m³ comercializate sub numele Kaurit Light sau AirMaXX (fig.2.1.1) sub licența Basf.



Figura 2.1.1: Granule de polistiren (PS) neexpandat (stânga sus); polistiren expandat (EPS) (dreapta sus), amestec de aşchii de miez și EPS (dreapta jos); placă ușoară tip PAL Kaurit AirMaXX Light (stânga jos) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Basf]



Figura 2.1.2: Superpan Star cu fețe din fibre și miez din aşchii și EPS cu canturi din ABS (stânga sus) și după testul de dezlipire (stânga jos)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Basf și Finsa]; Aşchii de miez și floricele din porumb industrial mărunțite (centru), respectiv placă ușoară tip PAL BalanceBoard (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Pfliederer]

Utilizarea EPS implică anumite neajunsuri, cum ar fi topirea, lipirea și arderea pe benzile preselor continue sau emisia de compuși organici volatili suplimentari. De asemenea, reciclarea este problematică. O replică este utilizarea floricelelor de porumb în loc de EPS, proiect dezvoltat la Georg-August Universität Göttingen și utilizat de Pfeleiderer, cu numele comercial Balance Board (fig.2.1.2, dreapta). Aproximativ 30% din particulele lemnoase din stratul de mijloc pot fi înlocuite cu floricelele de porumb, care sunt produse la fața locului cu granulația stabilă. Această placă PAL ușoară se încadrează încă în tipul P2 (EN312:2004), are un impact îmbunătățit asupra mediului, dar o rezistență mai scăzută la umiditate, atacul ciupercilor, insectelor. Ideea de PAL extrudat a fost regândită de Swedspan (actualmente Ikea Industry) într-o placă cu densitate duală numită BoBoard. Densitatea acestei plăci, cu grosimea de 19 mm, variază pe lățime de la sub 500 kg/m³ la peste 600 kg/m³ (fig. 2.1.3). Zonele cu densitate mai mare sunt pre-proiectate pentru îmbinări, de exemplu legăturile între rafturi și pereții laterali ai acestora. În cazul raftului Billy, Ikea a raportat 16% economie de material folosind BoBoard. Provocarea tehnologică pentru linia de producție este de a completa cu capete mobile, la formarea miezului covorului de așchii, care dispun de controlul propriu al dozajului și de autopозиționare. Și pentru planificarea producției fiecărei comenzi sunt solicitate dimensiuni predefinite fixe ale elementelor de mobilier. Cea mai nouă generație de acest tip de bord este CoLight. Aceasta este produsă din așchii pătrate plate (wafer 40x40mm), încleiate cu PMDI la o densitate constantă (400 kg/m³), asigurându-se astfel o reducere a greutateii cu 30%. [Barbu, 2015a; Barbu, 2015b; Paulitsch&Barbu, 2015].



Figura 2.1.3: Detaliu al secțiunii transversale a PAL ușor tip BoBoard cu trecerea dintre zona de densitate redusă (< 500 kg/m³) la cea ridicată (> 600 kg/m³) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Swedspan]

Armarea straturilor de față cu materiale nelemnoase ligno-celulozice, provenite din agricultură, cum ar fi cerealele sau fibrele (in, cânepă, kenaf) au fost folosite deja de câteva decenii pentru a reduce greutatea PAL, datorită efectului lor de armare. Pe durata primei teze de doctorat, autorul a cercetat și optimizat structura PAL 38mm cu fibre de in încleiate cu PMDI la nivel de laborator al LMU (München) și a putut reduce greutatea plăcii cu până la 20% [Barbu, 1995; Barbu&Tröger, 1995a-d; Barbu&Tröger, 1996a-b; Barbu, 1999]. Plăcile produse industrial sub denumirea "cannabis excelent", Stropoly, Linex Pro-Grass au densități cuprinse între 350 și 550 kg/m³, la grosimi de 16 - 50 mm [Barbu, 2015a; Barbu, 2015b; Paulitsch&Barbu, 2015]. Alte cercetări de laborator se concentrează, de câteva decenii, pe utilizarea altor reziduuri agricole, cum ar fi bagasa (reziduurile rezultate în urma prelucrării trestiei de zahăr), bambus, brassica, plută, tulpini și coceni de porumb, bumbac, coji de nuci etc., încleiate mai ales cu adezivi PMDI [Barbu et al., 2014; Paulitsch&Barbu, 2015].

Din lemnul speciilor lemnoase extrem de ușoare, cum ar fi albizia, balsa, ceiba, fuma, llomba etc., se produc, de bună vreme, panouri masive multistratificate pentru uși și industria mobilei cu denumirile comerciale „Lightwood”, „Sandwich light”, „llomba light” (Moralt). Densitatea miezului este de 200 - 360 kg/m³ pentru grosimi cuprinse între 16 și 22 mm (25-100 mm pentru balsa). Fețele sunt din lamele subțiri sau furnire groase din pin, plop, tei sau okoumé. Importul continuu al acestor specii lemnoase la o calitate și un preț acceptabile, utilizarea adezivului adecvat pentru încleiere, continuă să fie o provocare pentru producători [Barbu, 2015a-b; Paulitsch&Barbu, 2015].

Dezvoltările în designul de mobilier din ultimele trei decenii, cum ar fi elemente subțiri, suprafețe drepte sau curbate, conectori și aplicarea de hârtie melaminată, hârtie stratificată densificată (HDS) sau a suprafețelor acoperite cu furnir permit și necesită folosirea unor panouri ușoare. Unii producători de panouri ușoare de tip sandwich, realizate prin procese discontinue clasice nu pot acoperi cu ușurință toate posibilele domenii de aplicabilitate [Michanickl, 2006]. Un panou tip sandwich cuprinde trei straturi: miezul, relativ gros și foarte ușor (Homalight), și două straturi subțiri de față, cu rol decorativ și de rezistență (fig.2.1.6, sus). Miezul nu este supus la tensiuni mari de forfecare, motiv pentru care poate fi discontinuu, cu interspații. Tensiunile aplicate asupra straturilor exterioare sunt mult mai mari, motiv pentru care structura lor trebuie să fie mai rezistentă. De aici rezultă proprietăți statice bune în funcție de greutate.

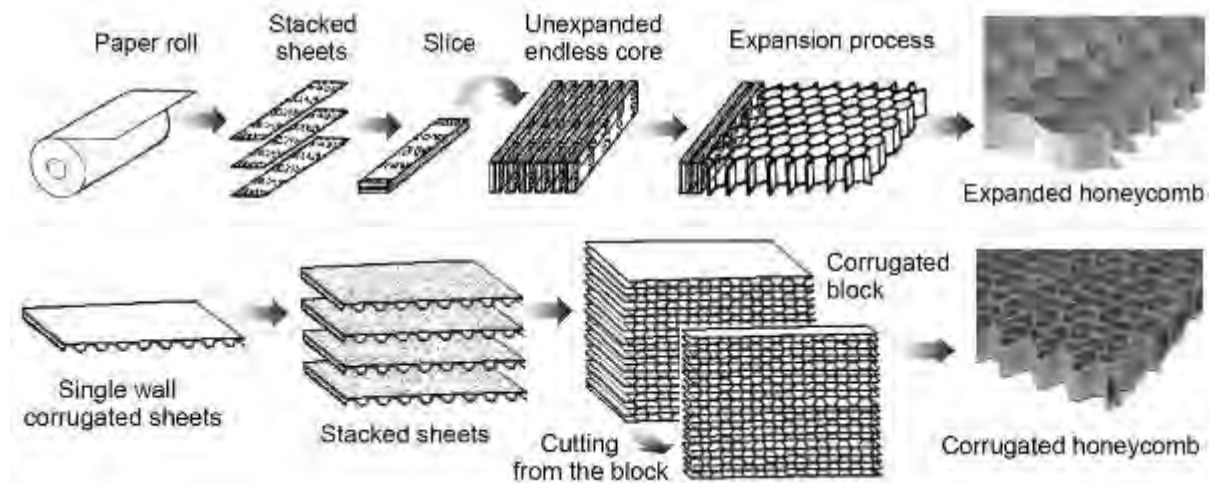


Figura 2.1.4: Schema fabricării miezului tip fagure: prefabricat din hârtie kraft, cu grosimi și lățimi variabile sub formă pliată – comprimată și expansiunea la utilizator (sus); blocuri de carton ondulat tăiate in situ la grosimea dorită (jos)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Pflug&Verpoest, 2004]

Recent, a fost optimizată și reutilizată tehnologia de producere a panourilor sandwich cu miez de tip fagure cu (BOF) sau fără rame (BOS) din șipci aplicate și fețele din plăci subțiri dure și decorative, în scopul reducerii greutății cu până la 50% (fig.2.1.5, stânga sus). Miezul de tip fagure este prefabricat, de obicei, din hârtie kraft și livrat la grosimea și lățimea comandată, sub formă pliată - comprimată (acordeon) (fig.2.1.4, sus). Pentru anumite miezuri se folosesc blocuri de carton ondulat gros, care sunt tăiate in situ, permițând astfel o anumită flexibilitate în cazul capacitaților mici în ceea ce privește grosimea (fig.2.1.4, jos). Unele dezavantaje ale acestor panouri (Eurolight), din cauza miezului de tip fagure limitează succesul de piață: format și îmbinări, stabilitate panou, rezistență scăzută la sarcini paralele, rezistența redusă a miezului la umiditate și limitarea pentru plăci groase (>24 mm). Panourile sandwich cu celule mari în miez necesită soluții foarte sofisticate în ceea ce privește conectorii, procesarea și acoperirea marginilor (mai ales la structurile fără rame). Cu toate acestea, odată cu creșterea grosimii plăcilor se folosește mai mult material, iar în cazul panourilor mai groase de tip fagure crește numărul de spații goale în panou, determinând scăderea costurilor relative. Acesta este un motiv serios pentru care panourile sandwich cu miez de tip fagure devin rentabile pentru grosimi mai mari de 24 mm [Poppensieker&Thömen, 2005; Barbu, 2015a-b; Paulitsch&Barbu, 2015].



Figura 2.1.5: Flux tehnologic pentru producția de plăci cu miez fagure fără rame tip Eurolight cu presa continuă (centru)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Siempelkamp]; Placă cu miez fagure fără și cu ramă tip Eurolight (stânga); Detaliu al secțiunii transversale cu diblu special cu autofixare (dreapta) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Egger]

O nouă generație de miezuri tip fagure este fabricată cu hârtie kraft folosind sofisticatul procedeu Tor-Hex (fig.2.1.7, dreapta jos) de la EconCore. Acesta este un sistem special pentru produsele foarte ușoare, necesare în industria aeronautică și a transporturilor și folosește fagurii din plastic, aluminiu sau armături din fibre de sticlă ($< 250 \text{ kg/m}^3$). Un alt tip de miez din plastic se realizează printr-un procedeu special (ThermHex) pentru stamparea celulelor hexagonale din folii de polipropilenă (PP) sau pentru celulele cilindrice (EconCore) (fig.2.1.7, dreapta sus). De asemenea, furnirele pliate sau curbate cum ar fi Heilight (fig.2.1.6, dreapta jos), produs de Schotten & Hansen sau elemente realizate din HDF ca Kettboard, produs de Kettler se pot folosi ca miezuri. Fețele exterioare standard sunt din PAL, placaj sau plăci din fibre ultrasubțiri, de ultima generație (UT-HDF), și ca placă, ating densitatea de $200 - 330 \text{ kg/m}^3$. Pentru aplicații speciale, fețele sunt realizate din HPL, CPL, aluminiu, folii de plastic sau filme armate cu fibră de sticlă [Paulitsch&Barbu, 2015].



Figura 2.1.6: Miez din LDF (Homalight) (stânga sus), sandwich cu fețe din UT-HDF finisat postforming (dreapta sus) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Homanit]; Sandwich cu miez din spumă și fețe din HDS (HPL) (centru stânga), respectiv HDF (centru dreapta)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Weiß-Chemie]; Panouri cu miez din fâșii de UT-HDF îmbinate (stânga jos) și fâșii aliniate paralel (dreapta jos) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Finsa, respectiv Greenpanel]

Altă soluție este utilizarea de panouri tip sandwich cu un miez de spumă, care sunt produse în procese discontinue ce folosesc spume pre-expandate pentru miez și plăci subțiri sau folii pentru fețe. Materialul pentru miez este, de obicei, un bloc din spumă din care se taie la fața locului (grosimi diferite) sau se livrează apoi la o anumită grosime. Miezul din spumă se lipește pe fețele din furnire groase, placaje subțiri, PAL sau MDF (fig.2.1.6, sus).

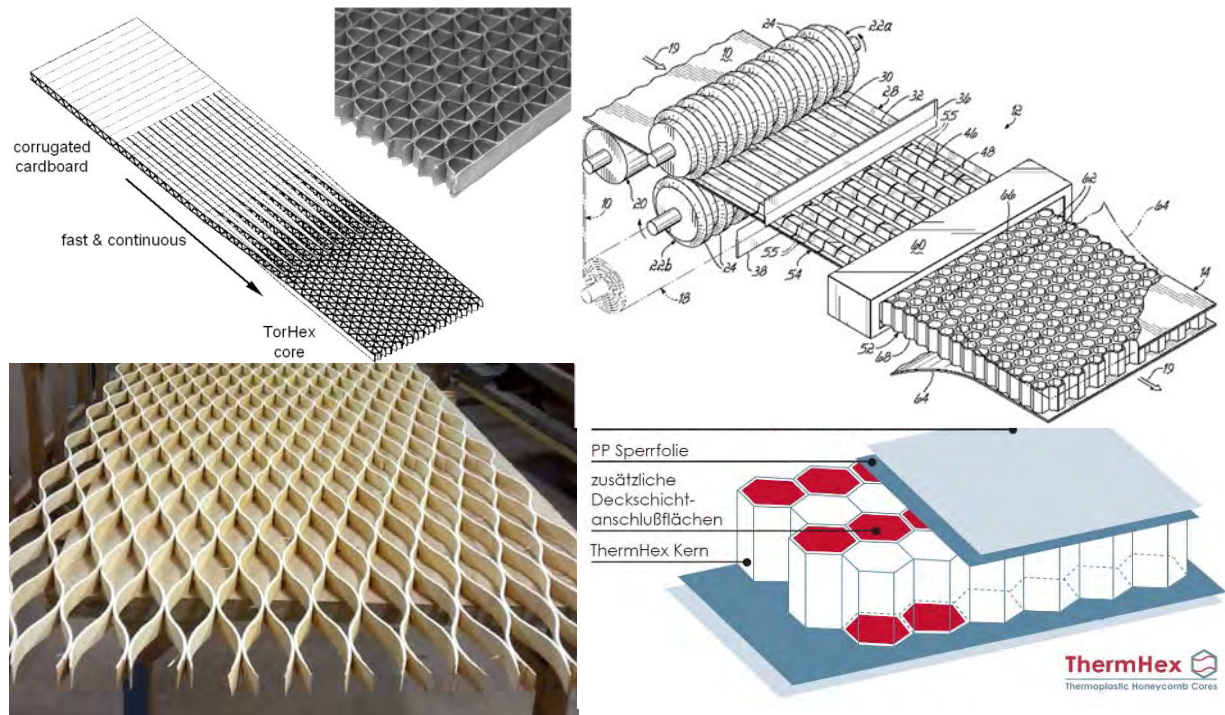


Figura 2.1.7: Schema de fabricare a miezului TorHex din carton ondulat dublu (stânga sus) [Paulitsch&Barbu, 2015 după EconCore]; Miez celular din fâșii de furnire Heilight (stânga jos) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Schotten&Hansen]; Schema de fabricare și asamblare a miezului ThermHex prin stampare continuă (dreapta)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Bradfor, 2011]

În consecință, procesul de producție a unui panou tip sandwich cu miez din spumă se realizează în trei etape și se recomandă utilizarea fețelor prefinisate (acoperite/cașerate), deoarece ulterior, nu pot fi prelucrate industrial din cauza dimensiunilor lor fixe ale acestora. Deoarece dimensiunea celulei materialului tip spumă este foarte mică în comparație cu tuburile sau fagurii, problemele cu eterogenitatea miezului, cum ar fi prelucrarea canturilor sau efectul "telegrafiere" la suprafață sunt neglijabile. Mai mult, miezurile din spumă servesc și ca izolare termică, fonică, având și proprietăți ignifuge, fapt pentru care se folosesc în mijloacele de transport frigorifice, dar și în rulote, cabine camioane, vapoare etc. Costurile ridicate de producție cauzate de procesul discontinuu și dimensiunile limitate contrabalansează reducerea importantă în greutate posibilă prin această tehnică. Pentru grosimi standard de la 15 la 19 mm, panourile cu miez de spumă pot prezenta o alternativă competitivă. Pentru fețele din foi sau folii există o tehnologie de producție continuă (fig.2.1.8). În comparație cu procedeul discontinuu, această tehnică utilizează mai puțini pași pentru asamblarea panourilor de tip sandwich. În acest caz sunt folosite doar role cu folii de plastic, aluminiu, carton sau hârtie, impregnate cu melamină, iar miezul din spumă expandează în timpul procesului de producție. Datorită proprietăților de aderență ale materialului - de obicei prin folosirea spumelor poliuretanică (PU) - nu este necesar un strat suplimentar de încliere. Acest proces este de preferat nu numai din punct de vedere tehnic, ci și pentru că productivitatea este mai mare și consumul de material este redus. În plus, din perspectiva calității, s-a relevat faptul că un proces continuu are ca rezultat un panou mult mai stabil și cu dimensiuni variate [Barbu et al., 2010b; Paulitsch&Barbu, 2015].

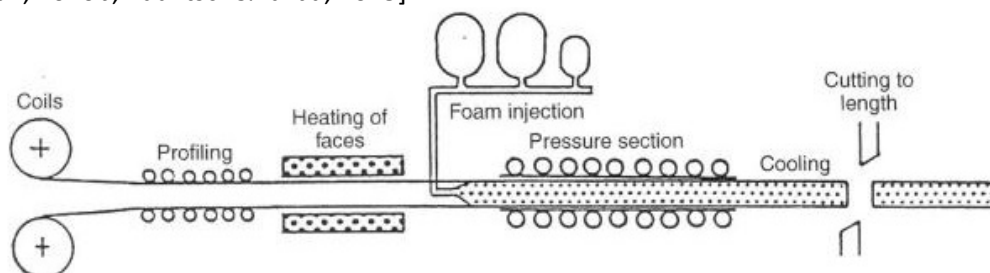


Figura 2.1.8: Principiul producției continue a unui panou tip sandwich cu miez din spumă expandată și fețe din folii [Davies, 2001]



Figura 2.1.9: Lisocore: panouri cu miezuri speciale 3D din fibre textile și sintetice realizate prin tehnologia nonwoven [Paulitsch&Barbu, 2015 după Lightweight Solutions]

Utilizarea unor miezuri speciale 3D realizate în plăcile de tip sandwich, cum ar fi carton ondulat sau fibre textile (în, cânepă, kenaf, sisal etc.) și sintetice realizate prin tehnologia nonwoven, cunoaște un avânt rapid. Lisocore (fig.2.1.9) este produs industrial sub formă de sandwich deosebit de stabil și ușor (270 kg/m³ la o grosime de 19 mm) cu fețe subțiri și dure din plăci pe bază de lemn și o matrice 3D gofrată (similar cu cartonul pentru ouă) din fibre de cânepă sau kenaf (80%) și adeziv acrilic (20%) [Paulitsch&Barbu, 2015].

2.2 PLĂCI CU MIEZ DIN SPUMĂ EXPANDATĂ IN SITU²⁰

La UHH (Hamburg) a fost patentată o nouă tehnologie pentru producerea continuă de panouri de tip sandwich cu miez din spumă și fețe exterioare din compozite pe bază de lemn fără etapa de prefabricare [Lüdtke et al., 2008]. În această nouă tehnologie, fabricarea fețelor și miezului are loc în timpul procesului de presare continuă la cald a panoului de tip sandwich. Metoda este derivată din procesul convențional de producție continuă a plăcilor compozite din lemn (PAL și MDF) cu zonă de răcire (fig.2.2.1 sus)[Barbu&Resch, 1996]. Covorul de particule format din trei straturi de fibre, așchii fine sau grosiere de lemn amestecate cu adeziv este realizat folosind capetele de formare printr-un procedeu asemănător industriei PAL. În miez se presară material termoplastic expandabil sub formă de microgranule, care se activează odată cu creșterea temperaturii. După compactarea și întărirea fețelor la densitatea dorită, temperatura din miez inițializează expansiunea microgranulelor. La scurt timp după aceea, presa este deschisă la grosimea panoului dorit, iar expansiunea miezului continuă până la ocuparea uniformă a întregului spațiu disponibil (fig.2.2.1 jos).

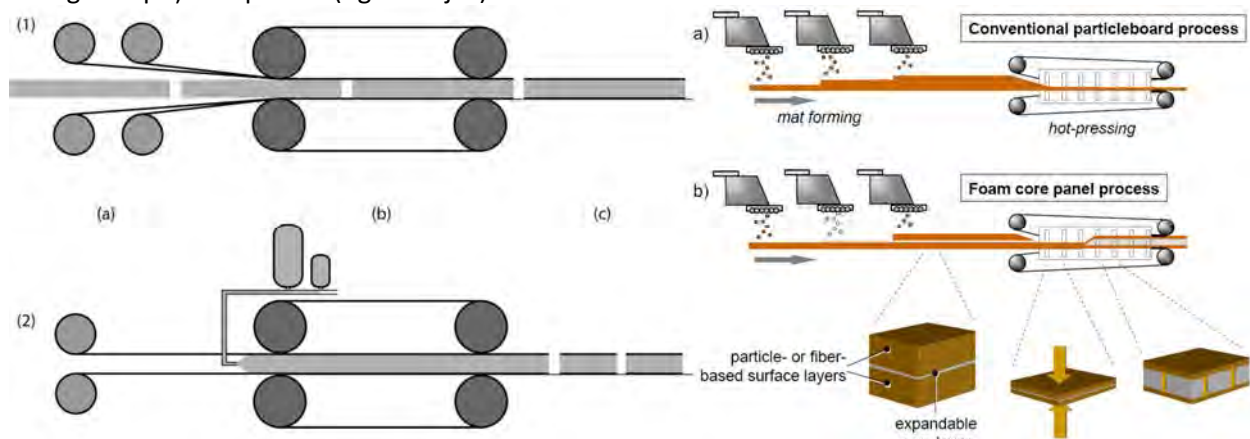


Figura 2.2.1: Principiul procesului de fabricare într-o singură etapă cu prese continue: discontinuu (1); continuu (2); PAL (a); panou cu miez expandat (b) [Lüdtke et al., 2008; Lüdtke, 2011; Barbu et al., 2010b]

²⁰ Colectivul de cercetători, din care a făcut parte și autorul, a realizat printr-un proiect de cercetare (UHH: 2008-2010) dezvoltarea plăcilor ușoare, tip sandwich, cu miez din spume poliuretanic expandate in situ în prese cu benzi duble și zonă de răcire și a obținut un patent european [Lüdtke et al., 2007], recunoscut și în alte țări cum sunt Canada [Lüdtke et al., 2008], SUA [Lüdtke et al., 2010], Noua Zeelandă [Barbu et al, 2012], Indonezia [Lüdtke et al., 2013], Australia [Thömen et al., 2013], CSI [Lüdtke et al., 2011], dar și prin lucrările de licență (2) și disertație (3) și tezele de doctorat finalizate cu succes sub cotutela autorului [Lüdtke, 2011; Shalbafan, 2013].

După o fază de consolidare (răcire), panoul este gata pentru procesare, de exemplu formatizare. Densitatea plăcii poate fi stabilită între 200 - 600 kg/m³. Deoarece polimerul din miez a fost amestecat cu particulele lemnoase cu scopul optimizării împrăștierii materialului, zona de tranziție dintre straturile de suprafață și miezul din spumă completează definirea formei. Încleierea este definită prin calitatea adeziunii polimerului. Panourile de tip sandwich, cu o grosime de 19 mm, au fost produse la scară de laborator apelând la noua tehnică de producție continuă. Stratul de suprafață constituit din așchii de lemn de rășinoase încleiate cu UF este identic cu cel pentru straturile de față ale PAL. Pentru realizarea plăcilor s-a utilizat o presă de laborator 800 x 600 mm², conform unui proces de presare la cald într-o singură etapă (descrisă mai înainte). Grosimea straturilor de suprafață ale panourilor poate să fie între 3 și 5 mm. Pe durata încercărilor, cantitatea de spumă în miez a rămas neschimbată. Consumul de UF pentru suprafețele exterioare a fost menținut, pentru toate panourile tip sandwich, la 12%. Proprietățile testate au fost rezistența la încovoiere (MOR), conform EN 310:1993 și coeziunea internă (IB) după EN 319:1993 [Lüdtke et al., 2008; Barbu et al., 2010b; Barbu et al., 2012].

Figura 2.2.2 (stânga) prezintă un profilul simetric al densității în secțiune transversală a unui panou de tip sandwich cu grosimea de 19 mm, fețe de 4 mm și miezul de 11 mm. Densitatea medie a panoului este de 380 kg/m³. Densitatea fețelor este de până la 880 kg/m³, în timp ce miezul are o densitate medie de 160 kg/m³. Alte variante au fețele de 3 și 5 mm grosime și o densitate medie de 310, respectiv 510 kg/m³. Densitatea grosimii miezului poate varia între 100 și 400 kg/m³ prin amestecarea polimerului expandabil cu materiale mai dense (particule de lemn). Densitatea panoului poate fi prestabilită de la 200 kg/m³ la 600 kg/m³. Acest lucru este posibil, deoarece grosimea fețelor poate să fie mai mică de 0,5 mm [Lüdtke et al., 2008; Barbu et al., 2010b].

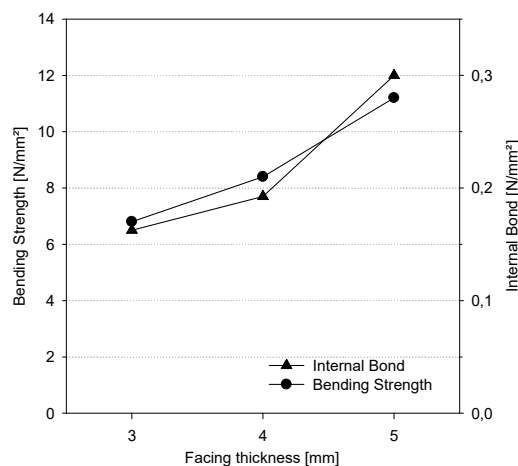
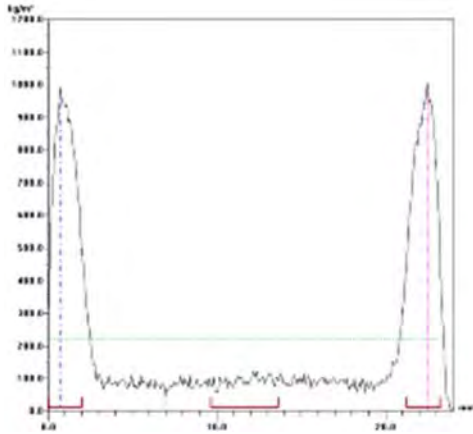


Figura 2.2.2: Profilul densității unui panou sandwich cu fețe așchii din lemn și miez din spumă expandată realizate in situ [Frühwald et al., 2009; Barbu et al., 2010b]

Figura 2.2.3: Variația rezistenței la încovoiere și a coeziunii interne cu grosimea fețelor [Lüdtke, 2011; Barbu et al., 2010b]

Figura 2.2.3 (dreapta) exemplifică dependența rezistenței la încovoiere (MoR) și coeziunii interne (IB) de creșterea grosimii fețelor. Valoarea medie a rezistenței la încovoiere pentru plăcile cu fețele de 3 mm a fost de 6,5 N/mm², pentru 4 mm 7,7 N/mm² și pentru 5 mm 12 N/mm². Compactarea mai mare a spumei interpușe între fețele exterioare mai groase a avut ca rezultat un miez cu rezistență mai mare la forfecare. Coeziunea internă a urmat o tendință similară. În cazul fețelor exterioare mai groase, s-au obținut valori superioare ale coeziunii interne 0,17 N/mm² pentru fețele de 3 mm, 0,21 N/mm² pentru 4 mm și respectiv, 0,28 N/mm² pentru 5 mm. Ruptura s-a produs mereu în zona interfeței dintre stratul exterior format din așchii de lemn și miezul din spumă. Pe măsură ce polimerul a fost amestecat cu particulele din lemn pentru optimizarea dispersiei materialului, a fost investigată ancorarea particulelor lemnoase în interiorul spumei. Figura 2.2.4 (stânga sus) prezintă o zonă de tranziție între stratul de față (de jos) și miezul din spumă (sus). Compactarea fibrelor din stratul de față indică o densitate ridicată, care nu este influențată de polimerul care, inițial, sub formă de granule neexpandate separă cele două straturi exterioare la începutul presării. Interfața dintre părțile exterioare și miez este prestabilită, iar încleierea este definită

prin calitatea aderenței polimerului. Imaginile de la microscop confirmă buna încastrare a particulelor de lemn în spuma expandată, astfel încât particulele nu prezintă aparent defecte.

Și spumele rigide din lignină-furan, polimeri de condensare pe bază de tanin amestecate cu fibre de lemn (fig. 2.2.4, dreapta sus), dezvoltate la FHS (Kuchl) [Link et al., 2011; Pizzi, 1994] sau din făină de grâu și de lemn într-un aluat cu drojdie, studiate la Wood K+ (Boku) ar putea fi utilizate în cadrul aceluiași proces in situ pentru producerea miezurilor panourilor ușoare tip sandwich (fig. 2.2.4, jos)[Neuhäuser et al., 2014].

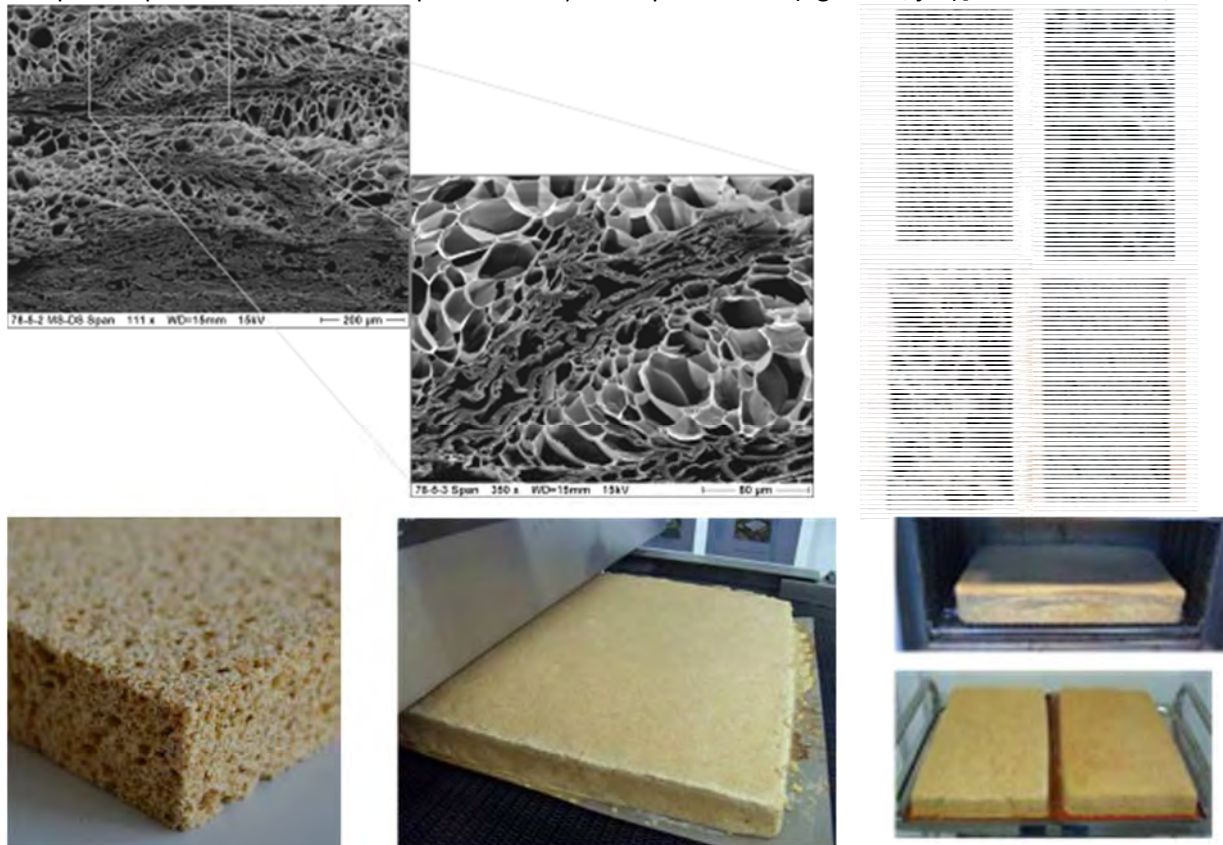


Figura 2.2.4: Interfața dintre fața interioară din aşchii și miez din spumă expandată (stânga sus) [Lüdtke, 2011; Barbu et al., 2010]; Spume rigide din lignină-furan sau polimeri de condensare pe bază de tanin de diferite densități (dreapta sus)[Link et al., 2011]; Miez ușor din aluat din făină de grâu și de lemn cu drojdie (340 kg/m^3)(jos)[Neuhäuser et al., 2014]

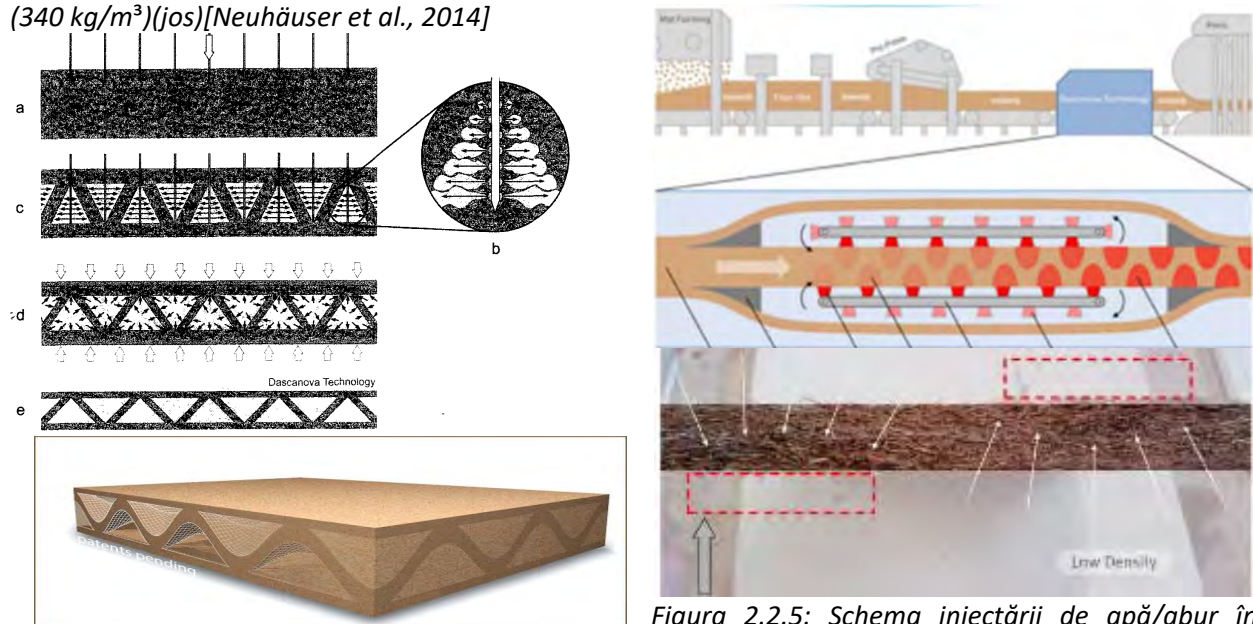


Figura 2.2.5: Schema injectării de apă/abur în covorul de fibre (stânga sus), pentru realizare structurii 3D a miezului unei plăci din fibre Dascanova (dreapta sus); Placă obținută în laborator cu exemplificarea zonei 3D densificată (dreapta jos); Schema sistemului de injectare (stânga sus) [Paulitsch&Barbu, 2015 după Dascanova]

Până în prezent, nicio tehnologie nu poate să producă structuri cu miez fagure plin (fără spații) într-un singur proces de presare. O tehnologie recentă a firmei Dascanova poate produce la scară de laborator in situ, prin injectarea locală și dirijată de apă/abur în covorul de fibre sau aşchii, astfel încât să se producă o structură 3D proiectată, cu o densitate mare în miezul unei plăci din fibre (similară MDF), care conectează fețele printr-o structură ușoară rezistentă la sarcini puternice (fig.2.2.5)[Barbu, 2015].

2.3 PLĂCI UȘOARE CU MIEZ DIN CHERESTEA ȘI GEOMETRIE PROIECTATĂ²¹

O idee recentă a fost dezvoltarea unui strat de miez pentru schiuri mai ușor, care să confere o amortizare mai mare. Această idee a fost dezvoltată cu miezuri dintr-un singur strat de chereștea, utilizate pentru mobilă și panouri tip DendroLight, recomandate și pentru construcții ușoare (podele, tavane, pereți). Avantajele principale ale acestor panouri sunt: greutatea cu 40% mai redusă, stabilitate dimensională mai mare (0,5% umflare) și rezistența la scoaterea șuruburilor. Panourile mai groase utilizate în construcții au o bună izolare fonică, termică și rezistență la foc. Punctele slabe inițiale, și anume tăierea și șlefuirea laborioasă a lamelor, precum și volumul de 40% reziduuri de tăiere, au fost rezolvate odată cu prima producție industrială la DendroLight Latvija [Müller&Berger, 2011; Paulitsch&Barbu, 2015; Berger, Barbu et al., 2016].

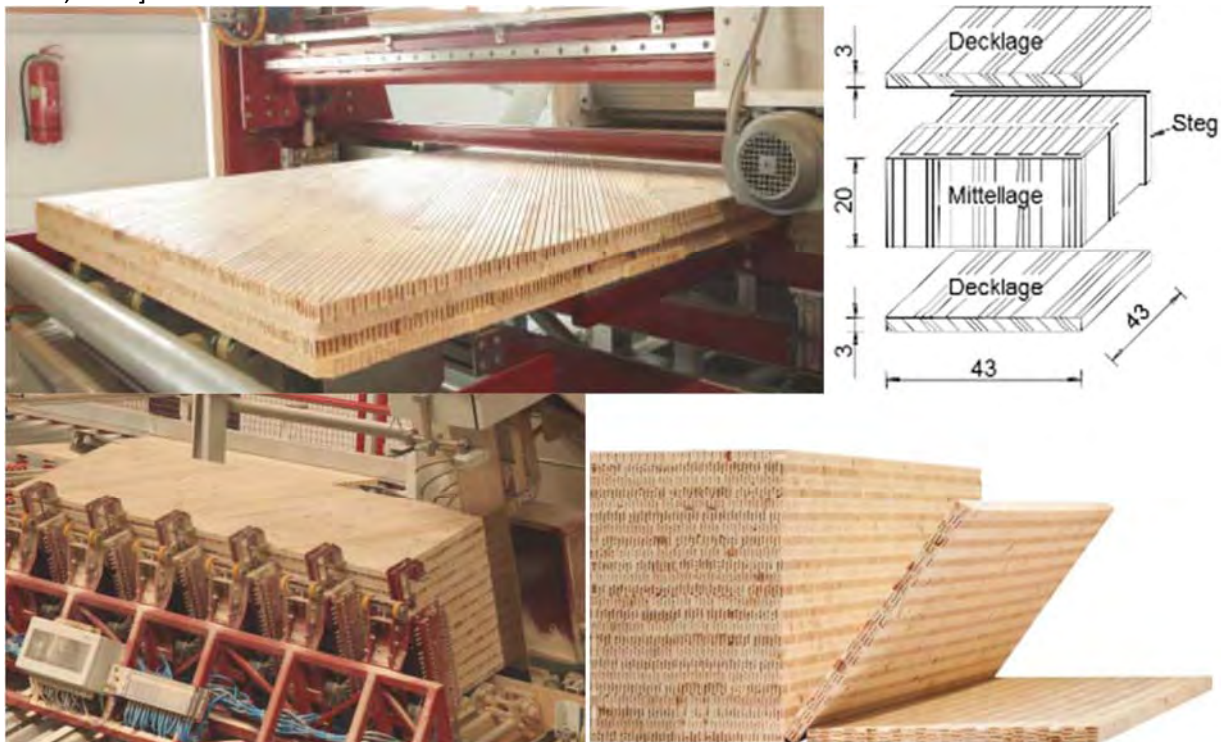


Figura 2.3.1: Producția de miezuri Dendrolight cu caneluri speciale ferăstruite în chereștea: generația 1a paralel (dreapta sus); Generația a 2a la 45° (dreapta jos) [Müller&Berger, 2011 după Dendrolight Latvija]

Următorul pas în dezvoltarea panourilor DendroLight cu proprietăți îmbunătățite este BionicDelta (generația 3). Modernizarea geometriei cavităților oferă noi orizonturi în producția de uși, mobilier și construcții din lemn (fig. 2.3.1). BionicDelta constă din lamele din chereștea încleiate sub unghiuri diferite pentru a realiza o mai bună rigiditate și stabilitate. Noile caneluri proiectate în panourile ușoare au formă de triunghi. Miezul este optimizat datorită canelurilor cu formă delta bionică, în vederea obținerii proprietăților structurale-fizice dorite și, prin urmare, reducerea consumului de materie primă. Împreună cu fețele din furnir, placaj sau UT-HDF rezultă un panou cu următoarele proprietăți: prelucrare simplă, materie primă sustenabilă și, bineînțeles, greutate redusă, se poate folosi și pentru construcții. În urma

²¹ Colectivul de cercetători, din care a făcut parte și autorul, a realizat printr-un proiect de cercetare (FHS: 2014-2016), plăci ușoare cu miez din chereștea cu geometrie proiectată și a optimizat generația a 3-a (BionicDelta) și a susținut implementarea industrială. S-au finalizat cu succes lucrări de licență și disertație sub cotelul autorului, fiind prezentate lucrări la conferințe și realizate diferite publicații. Alte cercetări se află încă în etapa de laborator.

testărilor efectuate la FHS (Kuchl) s-au determinat rezistența la încovoiere (3 și 4 puncte), modulul de elasticitate, coeziunea internă, rezistența la extragerea șuruburilor și rezistența la compresiune. Valorile medii ale modulului de elasticitate (MoE) și ale rezistenței la încovoiere (MoR), testate conform EN 310:2005 sunt 2597, respectiv 19,7 N/mm² pentru placa de 20 mm, 2693, respectiv 19 N/mm² pentru placa de 25 mm și 1440, respectiv 9 N/mm² pentru placa de 60 mm. La măsurarea coeziunii interne (IB) testate conform EN 319:2005 s-au obținut valori cuprinse între 0,47 N/mm² (20 mm), 0,88 N/mm² (25 mm) și 1,04 N/mm² (60 mm). Determinarea rezistenței la compresiune s-a efectuat în conformitate cu EN 789:2004 pentru plăci cu grosimea de 75 și 120 mm. Valorile rezistenței la compresiune sunt comparabile cu plăcile subțiri (75 mm) și cu 25% mai scăzute pentru plăcile groase (125 mm). Valoarea caracteristică pentru rezistența la compresiune a lemnului masiv este de 21 N/mm² pentru clasa de rezistență C24 conform EN 338: 2009. MoE pentru panoul de 75 mm este cu aproximativ 40% mai mic decât pentru lemnul masiv, iar la grosimea de 125 mm, cu aproximativ 80% mai mic. MoR pentru panourile de 75 mm grosime este cu aproximativ 25% mai mică decât pentru lemnul masiv, iar pentru panourile de 125 mm cu 64% mai scăzută. Aceste valori sunt datorate densității reduse a miezului, prin canelurile interioare [Berger, 2015].



Figura 2.3.1: Miez ușor tip BionicDelta cu formă triunghiulară a canelurilor (stânga) și panou utilizat în industria mobilei (dreapta) [Berger, Barbu et al., 2016]

Sub îndrumarea autorului²², este în curs de finalizare cercetarea începută în 2014 privind realizarea unor panouri ușoare multistratificate cu miez din lamele de molid (22 și 38 mm) dispuse transversal, într-o rețea cu structură optimizată, acordându-se o importanță deosebită utilizării și mai eficiente a materialului printr-o tehnologie de producție îmbunătățită. Obiectivul acestui studiu a fost inserarea de spații libere (10, 20 și 30 mm) în stratul de miez și analiza influenței lor asupra rezistenței stratului de încleiere (fig.2.3.2). Variabilitatea spațiilor goale din miezuri este principala caracteristică, dependentă de utilizarea finală și este posibilă prin individualizarea rețelei de lamele care asigură panoului canturi închise.

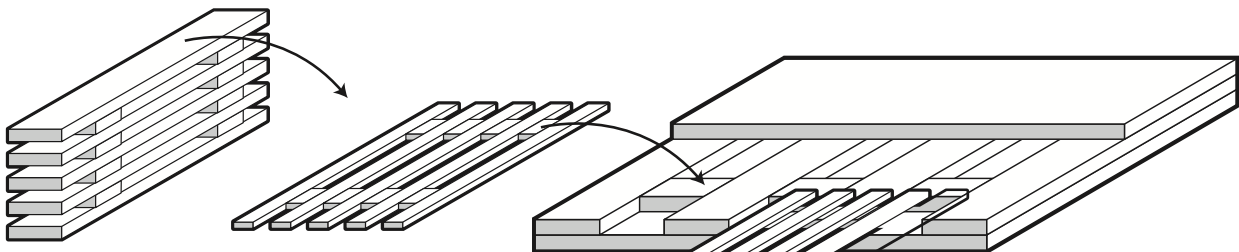


Figura 2.3.2: Reprezentare schematică a plăcilor ușoare cu miez din lamele orientate perpendicular într-o rețea transversală cu interspații și dimensiuni prealabil proiectate în funcție de utilizarea ulterioară [Delbeck, Ullrich, Barbu et al., 2015 după Delbeck, 2015]

²² Autorul împreună cu un colectiv de cercetători și parteneri industriali din Austria a condus un proiect de cercetare (FHS: 2013-2016) cu scopul dezvoltării de plăci stratificate ușoare cu miez din lamele de cherestea de diverse grosimi dispuse cu interspații în rețele cu dimensiuni proiectate. S-au finalizat cu succes lucrări 2 de licență și o disertație și o alta este în curs de finalizare tot sub îndrumarea autorului. Cu acordul partenerilor s-au prezentat lucrări la conferințe și sunt în pregătire altele. Se va depune o documentație pentru un brevet de invenție.

Principalul rezultat a fost dezvoltarea unui strat de miez, cu interspații de dimensiuni prestabilite prin analiza FEM a tensiunilor în diferite situații de solicitare, utilizând tehnologia CLT, și proiectarea modificării fluxului tehnologic în vederea pregătirii pentru producția industrială. Pe baza mai multor teste ale rezistențelor la încovoiere, la forfecare, a încheierii cu diverși adezivi (MUF și EPI) aplicate mai multor panouri ușoare formate din 3 straturi dispuse transversal, cu miezuri de dimensiuni și interspații diferite între lamele, a fost posibil să se determine influențele acestora asupra principalelor proprietăți mecanice. Utilizarea adezivului EPI a avut ca efect doar o îmbunătățire parțială a proprietăților panoului. Din acest motiv, nu se poate face nicio recomandare clară (pentru EPI), având în vedere, în special, prețul mult mai mare în comparație cu MUF. Orientarea straturilor de lamele perpendicular pe fibrele straturilor exterioare a dus, parțial, la creșterea sau îmbunătățirea proprietăților (modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere) în comparație cu un panou masiv de aceeași grosime. Prin introducerea interspațiilor în stratul de miez al plăcii, s-a redus vizibil densitatea. Pentru o distanță între lamele de 30 mm, densitatea plăcii a scăzut de la aproximativ 500 la 410 kg/m³. La realizarea straturilor de mijloc s-a demonstrat că, în special pentru lamelele de 38 mm, s-a observat că în timpul pregătirii materiei prime, mai ales dacă umiditatea este variabilă, pot să apară și deformații semnificative, cum ar fi răsuciri, curbări și dezlipiri. Greutatea panoului se poate reduce și mai mult, în comparație cu plăcile din lemn masiv, pentru grosimi mari ale miezului. Rezultatele acestui studiu ilustrează clar potențialul pe care îl implică posibila utilizare a cherestelei de calitate redusă (chiar și marginilor) în producția de panouri ușoare. Aceste panouri triplu-stratificate din lemn masiv, proiectate conform principiului elementelor ușoare, permit, pe lângă economisirea de materie primă și reducerea cantității de adeziv utilizat. Teoretic, se pot reduce astfel costurile pentru adeziv cu 16%, pentru un interspațiu de 10 mm între lamele. În cazul în care această distanță este de 30 mm, economia de adeziv va fi de 36%, comparativ cu panourile tradiționale din lemn masiv tip CLT sau SWB (fig.2.3.3)[Delbeck, 2015].

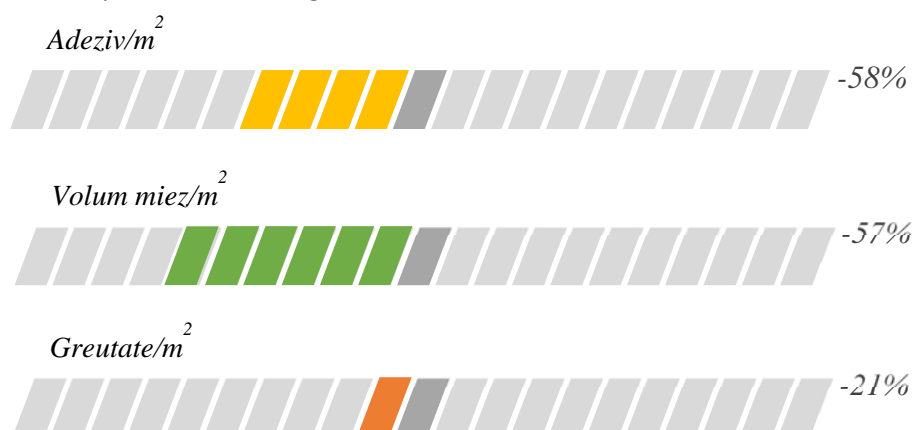


Figura 2.3.3: Potențialul economisirii de material pentru plăcile ușoare din trei straturi și miez din lamele cu interspații [Delbeck, Ullrich, Barbu et al., 2015 după Delbeck, 2015]

În ideea că elementele ușoare, în special în industria mobilei, sunt asociate deocamdată cu o calitate scăzută, se cere o analiză suplimentară a potențialei extensii funcționale, de exemplu, prin integrarea izolării fonice, a încălzirii și a aerisirii în interspațiile din miez. În ceea ce privește utilizarea acestor panouri în designul interior sau în construcția de mobilă, emisiile de VOC, cum ar fi formaldehida, joacă un rol important și, prin urmare, ar trebui examinate efectele cavitațiilor, din care s-ar putea emite mai repede VOC. Pe baza rezultatelor existente aceste panouri ușoare pot să fie utilizate și în scopuri portante, dar pentru această utilizare pe scară largă a panourilor ușoare ar trebui să fie analizat în investigații viitoare și potențialul pieții [Delbeck, Ullrich, Barbu et al., 2015].

2.4 SOLUȚII UȘOARE PENTRU APLICAȚII STRUCTURALE

Pentru aplicații structurale, grinzile stratificate (GLT) din cherestea, sortată nedistructiv, îmbinate în dinți automat și încheiate cu adezivi rezistenți la contactul cu apa sunt normate, atât ca materie primă, specii ușoare (densitatea 350-450 kg/m³) datorită rezistenței, cât și a tipului încheierii. Producția mondială a GLT a totalizat peste 5 mil.m³, din care în Europa (aproximativ 3 mil.m³), Asia (aproximativ 2 mil.m³) și un

procent foarte scăzut pentru America de Nord. Dezvoltarea acestor elemente de rezistență din construcții a continuat cu grinzile în formă de I, plăci din furnir încleiate paralel (LVL), plăci din aşchii lungi orientate (OSB), dar și clasicele placaje și PAL. Producătorii de elemente prefabricate din lemn ușoare pentru construcții au fost martorii unei creșteri favorabile în Europa, SUA și în Orientul Îndepărtat, cel puțin până la începutul crizei financiare din 1997 în Japonia, urmată de criza la nivel mondial în 2008. Punctul cel mai scăzut al efectului crizei financiare asupra industriei construcțiilor pare să fi fost depășit încă din anul 2014. Grinzile tip I, pe de o parte, reduc greutatea construcției la jumătate, dar induc limitări serioase ale dimensiunilor, iar pe de altă parte numărul elementelor crește prin reducerea interspațiilor dintre acestea. Cea mai mare producție de grinzi I fabricate în America de Nord se ridica în 2004 la 391 mil.m, dar a scăzut la mai puțin de o treime în 2009. La nivel mondial, aproximativ 20 mil.m de grinzi I pentru cofraje sunt produse în Europa (30 mil.m). LVL este produs la nivel mondial la un volum de aproximativ 3,5 mil.m³. În America de Nord producția de LVL a fost de 1,8 mil.m³, iar în Europa doar Finlanda (Kerto), Germania (din fag) și Rusia sunt producători. Grinzile din fâșii lungi de furnire orientate paralel (PSL), cheresteaua din aşchii lungi laminate și orientate (OSL) sunt produse doar în câteva fabrici din America de Nord. Noua generație de plăci autoportante, pentru construcții ușoare din lemn, o reprezintă cheresteaua laminată și încleiată transversal (CLT), dezvoltată concomitent de mai mulți întreprinzători din Austria (fig.2.4.1). Capacitatea instalată în Europa (în Alpi) este de 800.000 m³ și pentru prima dată un număr redus de linii de producție de capacitate mică a început să funcționeze în Scandinavia, Canada și Statele Unite ale Americii, unde sunt planificate clădiri performante din lemn cu mai multe etaje (record actual 20 de etaje cu structura portantă din lemn).



Figura 2.4.1: CLT în varianta prefabricată cu izolare termică, ferestre și fațadă (stânga); Același exemplu la interior cu suprafața pereților finisată la vedere (dreapta)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Binderholz]

Tot în Austria a apărut o placă ușoară autoportantă, Kielsteg, pentru acoperișuri care în mai puțin de 10 ani a trecut de la faza de laborator la producția de serie (2 angajați/schimb, 40.000 m²/an), fiind acceptată de piață și omologată de institutele de profil acreditate (fig.2.4.2).

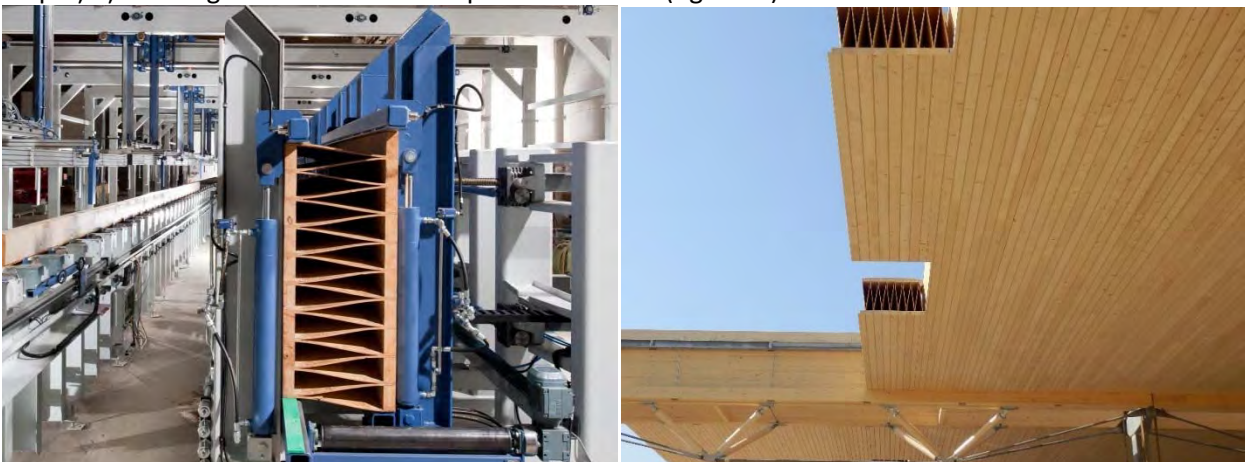


Figura 2.4.2: Kielsteg cu miez din OSB sau placaj subțire, încleiat pretensionat de tălpile din cherestea într-o singură operație (stânga); Exemplu de utilizare a plăcii cu dimensiuni variabile L=9 - 27 m și H = 228 - 800 mm (dreapta)[Paulitsch&Barbu, 2015 după Kielsteg]

Creșterea neașteptată a prețului oțelului și schimbările favorabile în Eurocodul 5, susținut concomitent de majoritatea legislațiilor naționale (Europa, America de Nord, Japonia, Australia), permit structurilor autoportante din lemn să concureze cu sistemele clasice din beton, sticlă și oțel, pătrunzând astfel în domeniul construcțiilor multietajate (fig.2.4.3)[Barbu&Paulitsch, 2014; Paulitsch&Barbu, 2015; Barbu, 2015]



Figura 2.4.3: Construcții multietajate din CLT în Viena (stânga)[ProHolz Austria] și Londra-Hackney (dreapta)[Bauhandwerk]

2.5 DEZVOLTĂRI VIITOARE ȘI PERSPECTIVE

Piața europeană a avut nevoie de aproximativ două decenii pentru a accepta faptul că dinamica dezvoltării sociale și demografice presupune altă abordare în ceea ce privește locuințele și dotarea acestora (de exemplu, cu mobilier), deoarece nu mai sunt concepute și proiectate pentru mai multe generații. Casele prefabricate din lemn sunt proiectate și construite pentru o folosință de numai câteva decenii, izolarea acustică și termică (vară- iarnă) este acceptabilă, precum și rezistența la foc și condiții meteo diverse. Normativele în construcții, europene, nord-americane și din sud-estul Asiei, permit deja ridicarea clădirilor din lemn cu mai multe etaje. Mobilierul ușor nu se poate compara cu cel masiv, dar calitatea, în ceea ce privește servizarea, este similară. Stabilitatea dimensională și rezistența la umiditate sunt acceptabile, în ciuda duratei de utilizare mai scurtă și ciclurile de mutare mai puține din cauza demontabilității scăzute. Diferitele tehnici introduse pentru a reduce greutatea compozitelor pe bază de lemn au diverse părți negative particulare. Fie producția de panouri ușoare este prea laborioasă, fiind în cele mai multe cazuri prea costisitoare, fie performanțele mecanice și fizice ale panourilor sunt reduse semnificativ. Ținând cont totuși de numărul mare de beneficii pe care plăcile ușoare le oferă, adică o greutate scăzută și o flexibilitate crescută, cresc astfel și provocările privind promovarea lor. O procedură de reducere a greutății este diminuarea generală a cantității de materie primă combinată cu o creștere a cantității de adeziv, asociată unui sistem optim de înclieiere și distribuire a densității în placă. O altă modalitate este schimbarea structurii, avându-se în vedere introducerea miezului tip fagure din diverse spume expandabile sau a structurii tip sandwich. Au fost dezvoltate și testate, până la nivel de instalații pilot, noi procese care implică o singură etapă de prelucrare, în scopul de a îmbunătăți eficiența și pentru a produce structura de tip sandwich la scară industrială. Pe fondul unei disponibilități tot mai mari a elementelor și conceptelor de design pentru producătorii de structuri și mobilă și a cererii unor tehnici eficiente și continue de producție, unele dintre evoluțiile prezentate vor reprezenta în curând alternative viabile și fiabile ale tehnicilor de producție existente [Paulitsch&Barbu, 2015; Barbu, 2015].

(B-i3) Direcția de cercetare 3: TEHNOLOGII MODERNE ȘI IMPLEMENTARE INDUSTRIALĂ

În această parte a lucrării de abilitare sunt prezentate noi tehnologii aplicate deja la scară industrială, rezultate în urma cercetărilor efectuate de autor și colectivele cu care a colaborat, pentru care s-au acordat subvenții din partea instituțiilor abilitate din străinătate sau au fost finanțate de către partenerii din industrie. În proiectele de cercetare la care autorul a participat sau pe care le-a coordonat, s-a avut ca scop optimizarea sau implementarea unor prototipuri în fluxurile tehnologice ale partenerilor industriali. Activitatea autorului a implicat numeroase colaborări cu parteneri din industria de prelucrarea lemnului și din instituțiile de învățământ superior și de cercetare din Austria, Finlanda, Germania, Indonezia, Italia, Olanda, Suedia etc. (B-ii2). Fiecare proiect este descris, în special, prin prisma metodelor aplicate și mai puțin prin detalierea măsurătorilor, respectiv a rezultatelor. Este de punctat faptul că toate proiectele descrise în continuare nu au rămas la faza de raport scris/tipărit pe hârtie, ci au fost transpuse, la foarte scurt timp, direct, în practica industrială, fiind deja utilizate cu succes și reprezentând uneori noua tehnică de producție în ingineria lemnului. După cum a mai fost menționat și anterior, parte din rezultatele acestor studii au caracter confidențial și nu au putut fi publicate în întregime ori, conform acordurilor semnate, au fost prezentate după un interval relativ mare de timp, după implementarea completă a rezultatelor sau a instalațiilor pilot în liniile de producție.

3.1 PLĂCI DIN FIBRE DE LEMN CA MIEZ PENTRU HÂRTIA STRATIFICATĂ DENSIFICATĂ²³

Obiectul acestei cercetări a fost fabricarea covoarelor din fibre de lemn înclieate cu diferite rășini fenol-formaldehidice în stare umedă și apoi procesate prin procedeul uscat tip MDF. S-au produs, în acest scop, diferite variante de covoare din fibre, mai întâi la scară de laborator, apoi cu o instalație pilot și, în final, la scară industrială, folosind grade de înclieare ridicate, prin procedeul uscat. Amestecurile prestabilite de fibre de rășinoase și foioase și înclierea masivă cu rășini fenolice (FF) și melaminice (MF) au influențat pozitiv proprietățile fizico-mecanice ale produsului finit, și anume, HSD (high pressure laminates, HPL), realizat într-o altă etapă de presare la cald (cu răcire sub presiune) a covorului, în prealabil, prepresat (prepreg). În plus, s-au putut optimiza, atât structura covorului de fibre prepresat, cât și HSD/HPL prin diversele compoziții decorative din structura multistrat cu miezul din prepreg. Proprietățile fizico-mecanice ale HSD/HPL cu miez covor de fibre prepresat au fost testate în conformitate cu cerințele EN438/2: 2014, iar corelațiile dintre rezistența la încovoare, coeficientul de umflare în grosime după 2 ore de fierbere și 1 oră de răcire în apă, densitatea plăcii, numărul de prepregs din fibre și compoziția straturilor de față au confirmat potențialul de optimizare al HSD/HPL astfel fabricate (fig.3.1.1). După etapa de laborator, ce confirmase rapid și sigur potențialul acestei dezvoltări originale, autorul a conceput și construit o instalație-pilot la partenerul industrial, care putea să simuleze, la scara 1:10, performanța unei instalații de înclieare a fibrelor în conducta de fugă, caracteristică unei linii tehnologice pentru fabricarea plăcilor din fibre de lemn (MDF/HDF) prin procedeul uscat. Speciile utilizate au fost de foioase tari (fag și carpen), în diverse amestecuri cu rășinoasele (molid și brad), în funcție de proprietățile ce se doreau a fi obținute. Defibrarea tocăturii s-a realizat cu utilajele și tehnologia specifică fabricării plăcilor din fibre de lemn (fig.3.1.1:1-3). Parametrii de defibrare au fost modificați astfel încât să se obțină o anumită lungime, respectiv coeficient de zveltețe a fibrelor. Din instalația de defibrare (fig.3.1.1:3), fibrele fierbinți și umede intră în conducta de fugă (fig.3.1.1:4), în care s-au injectat, într-o anumită ordine și cu ajutorul unor duze special proiectate și dispuse, adezivii și aditivii pentru hidrofugare. Rășinile utilizate pentru înclierea fibrelor s-au folosit fie separat, componente individuale, fie în amestec. După ieșirea din

²³ Autorul împreună cu un colectiv de cercetători de la Boku și HFA (Viena) și parteneri industriali din Austria a condus, în perioada 1997-1999, două proiecte de cercetare, subvenționate din fondul de stat pentru cercetare (FFF13057 și FFG800798), cu scopul dezvoltării de plăci din fibre de lemn cu densitate ridicată, produse prin procedeul uscat (tip HDF), pentru a înlocui tehnologia clasică de fabricare a hârtiei stratificate densificate (HSD/HPL). Proiectul s-a finalizat cu succes prin patentul european EP1185587B1/19.2.2003 [Barbu et al., 2003], producții de serie la partenerul industrial, iar tehnologia a devenit „state-of-the-art” (ansamblu al soluțiilor tehnice cunoscute), însă nu s-a permis publicarea acesteia.

conducta de fugă, fibrele supraîncleiate sunt uscate (fig.3.1.1:5), în câteva secunde, la un conținut de umiditate, care poate să varieze între 10 și 15%, aspect deosebit de important pentru presarea ulterioară a covoarelor de fibre prepresate (semifabricat prepreg), atât pentru o densificare optimă, cât și pentru condensarea finală a rășinilor sintetice. Fibrele supraîncleiate și uscate au fost depozitate intermediar într-un siloz (fig.3.1.1:6), cu ajutorul mașinilor de format cu vacuum au fost presărate într-un covor (fig.3.1.1:7-8a), care apoi a fost puternic pre-comprimat la rece (fig.3.1.1:8b) și pulverizat pe ambele fețe cu un agent antiaderent (fig.3.1.1:8e). S-a aplicat o presare continuă la parametrii astfel aleși, ca semifabricatul (prepreg) să atingă densitatea de de 800 - 900 kg/m³, fără a avea o densitate de profil pregnantă și, mai ales, fără ca rășinile să fie polimerizate complet, la o umiditate finală de 6% (fig.3.1.1:8-13).

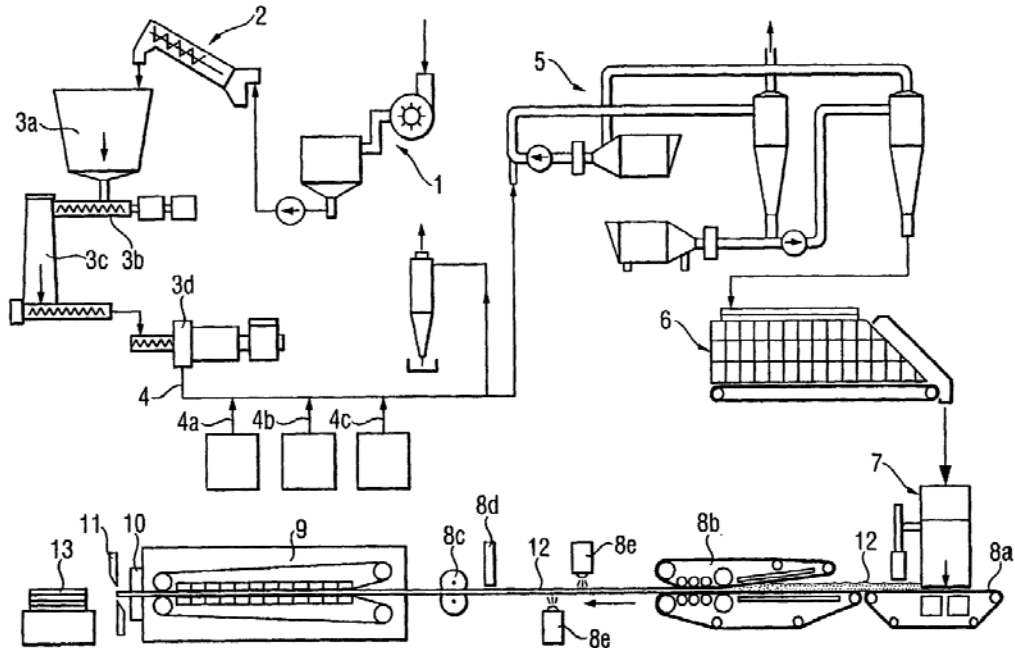


Figura 3.1.1: Schema procesului de fabricație a covoarelor de fibre supraîncleiate cu rășini sintetice prin procedeul uscat (prepregs) și presare continuă, ca înlocuitor al miezului din producția hârtiei stratificate densificate (HSD/HPL)(EP1185587B1/19.2.2003)[Barbu et al., 2003]

Într-o a doua etapă a prelucrării, semifabricatele din fibre au fost folosite ca miezuri pentru producerea de plăci tip HSD/HPL uni sau multistratificate, prin presare în condiții similare cu clasicele HSD/HPL. În cazul unei structuri multistratificate, între prepregs, ca și pentru stratul exterior, s-a folosit hârtie kraft (NKP) preimpregnată cu rășini fenolice. Suprafața decorativă, pe una sau pe ambele fețe, a fost realizată prin hârtii NKP preimpregnate cu FF, peste care s-au aplicat în aceeași operație de presare hârtii decorative preimpregnate cu melamină. Grosimea plăcilor decorative triplu-stratificate a fost de 8 până la 10 mm, iar densitatea acestora a fost de 1100 - 1300 kg/m³, în funcție de tipul de miez din fibre prefabricat. Proprietățile fizico-mecanice ale acestor plăci decorative, denumite comercial și compact au fost în conformitate cu EN 438/2:2014 aplicate pentru HPL [Barbu et al., 2003].

3.2 OPTIMIZAREA SORTĂRII AUTOMATE NEDISTRUCTIVE A CHERESTELEI PENTRU GLT²⁴

Obiectivul acestor proiecte de cercetare a fost îmbunătățirea randamentului sortării materiei prime pentru producția de grinzi stratificate din lamele (GLT), prin efectuarea de testări nedistructive, mai rapide

²⁴ Autorul, împreună cu un colectiv de cercetători de la LMU (München), TUG (Graz) și HFA (Viena) și parteneri industriali din Austria și Germania, a participat ca expert, în perioada 2002-2005, la două proiecte de cercetare, subvenționate din fondul de stat pentru cercetare (FFF806377 și FFG809778), cu scopul implementării unui prototip pentru sortarea automată și nedistructivă a lamelor de cherestea pentru GLT. Proiectul s-a finalizat cu succes prin implementarea instalației în linia de sortare la partenerul industrial, pe care institutele acreditate din ambele țări au omologat-o, în premieră mondială, iar tehnologia a devenit „state-of-the-art”, însă nu s-a permis publicarea rezultatelor cercetării. Pe baza experienței acumulate autorul a publicat două capitole unice în conținut despre tehnicile nedistructive utilizate în industria lemnului [Barbu et al., 2014b; Paulitsch&Barbu, 2015].

și mai precise în evaluarea în timp real a densității, calității fețelor și canturilor cherestei, detectarea defectelor la suprafață și în profunzime și marcarea precisă a zonelor cu probleme din fiecare piesă. Toate aceste aspecte permit standardizarea ulterioară și mai fină a grinzilor stratificate, gamă de produse cu proprietăți prestabilite, integrarea eficientă și utilizarea totală a cherestei, aprovizionarea durabilă cu sortimente de materii prime adecvate etc., dar și pentru creșterea productivității și astfel, a competitivității. În sistemul de sortare existent a fost incorporat un prototip pentru măsurarea vibrațiilor longitudinale în piesele de cherestea. Această măsurătoare este o parte integrantă a instalației pentru determinarea nedistructivă, rapidă și exactă, a rezistenței pieselor de cherestea. O altă parte a proiectului a fost de urmărire (data tracking) și ordonare a datelor, dezvoltarea unei noi modalități de marcarea și recunoaștere a lamelelor sortate la viteze mari ale transportoarelor (100 buc./min). Pentru măsurarea precisă a frecvenței proprii a cherestei a fost nevoie de dezvoltarea unui sistem mecanizat propriu, care să redea cu acuratețe curbele de vibrații și s-a realizat cu ajutorul unui vibrometru cu laser (fig.3.2.1).

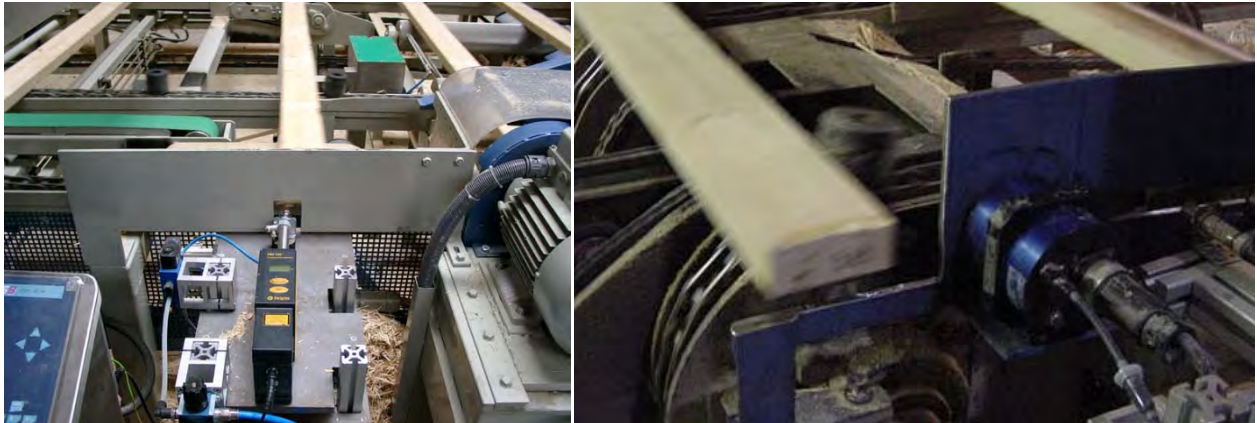


Figura 3.2.1: Vibrometru cu laser cu pendul montat pe un transportor transversal pentru determinarea frecvenței proprii a cherestei (stânga); Sistem de imprimare a propriei frecvențe (dreapta)[MicroTec]

După aceste măsurători, a urmat imprimarea cu jet de cerneală pe un capăt al lamelelor a frecvenței proprii. Cercetarea a continuat cu urmărirea lamelelor (tracking) și îmbunătățirea modalității de citire a frecvențelor imprimate (fig.3.2.2). Această valoare este citită printr-un sistem video, iar ulterior fiecărei lamele i se atribuie clasa de rezistență conformă sortării. Pentru urmărirea datelor inscripționate pe lamele, se compară imaginile între ele, două câte două, iar în cazul în care se suprapun, valoarea frecvenței este introdusă în formula de sortare. Pe parcursul proiectului au fost necesare adaptări ale soft-ului la sistemul de tracking și la vibrometru.



Figura 3.2.1: Diverse forme de imprimare a propriei vibrații: bară, binar, matrice, cod [GreCon, MicroTec]

S-a măsurat un număr impresionant de probe și a fost colectată o cantitate mare de date, necesare testelor de omologare. După eliminarea neajunsurilor instalației, s-a putut trece la faza de punere în funcțiune la scara industrială a prototipului și pe baza datelor acumulate, institutele acreditate au emis o autorizație de funcționare, această instalație devenind astfel, prima mașină de sortare automată a cherestei (EuroGrecomat 706), care funcționa în anul 2004 la o viteză de 240 m/min, în direcție longitudinală, respectiv 120 piese/min, în direcție transversală.

3.3 TĂIEREA PLANĂ A CHERESTEI PENTRU PRODUCEREA LAMELELOR²⁵

La prelucrarea cherestei, în vederea obținerii lamelor, rezultă o cantitate semnificativă de deșeuri lemnoase, care se valorifică prin ardere sau în producția de PAL. Optimizarea procesului de tăiere plană a lamelor și reducerea la 0 a pierderilor de material, presupune un tratament termic prealabil al cherestei umede (fig.3.3.1), după modelul plastifierii lemnului, în vederea derulării la producerea furnirelor tehnice.

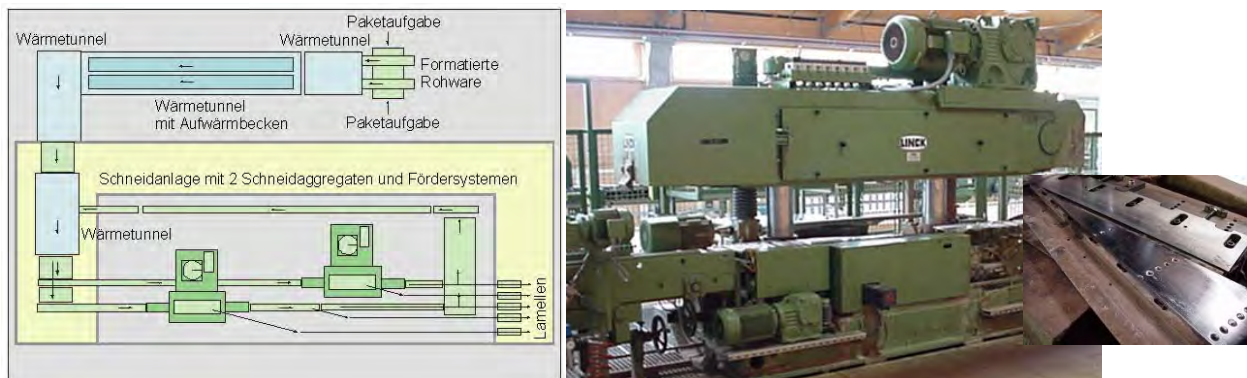


Figura 3.3.1: Schema fluxului tehnologic a tratării termice în vederea tăierii plane a cherestei în lamele cu două mașini cu funcționare paralelă sau serială (stânga); Prototip al Firmei Linck pentru tăierea plană și detaliu cu cuțitul și bara de presare înclinată (dreapta)[Barbu et al., 2004a-c]

Pentru ca tăierea plană a cherestei să aibă loc fără să rezulte așchii sau smulgeri de fibre, este necesară plastifierea acesteia, aflată la o umiditate peste punctul de saturație a fibrei, cu abur saturat sau cu apă caldă. Cele două metode diferă substanțial, în funcție de timpul de tratare, necesar până la atingerea temperaturii de plastifiere a ligninei (65 - 70°C) și implicit a lemnului. Monitorizarea temperaturii în timpul tratamentului cu apă caldă la 90°C a arătat că, după 1 oră, 90% din scândurile din stivă (secțiune transversală de 1 m²) au o temperatură de peste 70°C. În cazul tratamentului cu abur saturat, temperatura a ajuns la peste 70°C numai după câteva ore. Prin urmare, se justifică tratamentul cu aburi doar în cazul cherestei subțiri de rășinoase, preconditionate (umiditate și temperatură inițială) pentru un interval de timp determinat. Din considerente economice, pentru cheresteaua de foioase, se recomandă încălzirea cu apă caldă și este necesar să se dimensioneze corespunzător, atât bazinele cât și instalația de încălzire. Durata tratamentului este influențată, în principal, de umiditate și de temperatura inițială a acestora, dar și de locul pe care îl ocupă în stivă. Pentru uniformizarea temperaturilor finale ale scândurilor, concomitent cu scurtarea timpului de staționare, este necesar un debit puternic și o circulație specifică în bazinul de apă caldă. Astfel, transportorul transversal care preia piesele după tratamentul termic și pe durata distribuirii spre mașinile de tăiat plan trebuie încapsulat (fig.3.3.1). Deosebit de complexă s-a arătat determinarea geometriei optime a cuțitului, orientarea cherestei cu fața dinspre centrul bușteanului în

²⁵ Autorul, împreună cu un colectiv de cercetători de la FHK (Kuchl), FHRo (Rosenheim) și HFA (Viena) și parteneri industriali din Austria și Germania, a participat ca expert, în perioada 2002-2003, respectiv 2005-2006, la două proiecte de cercetare, subvenționate din fondul de stat pentru cercetare (FFF806483 și FFG812902), cu scopul implementării unor prototipuri pentru tăierea plană, respectiv fierăstruirea cherestei în lamele pentru SWB. Proiectele s-au finalizat cu succes prin implementarea instalațiilor în liniile de producție existente, în premieră națională, iar ambele tehnologii au devenit „state-of-the-art” și s-au permis ulterior publicații. Pe baza experienței acumulate, autorul a publicat mai multe lucrări despre tehnicile de tăiere plană a cherestei [Barbu et al., 2004a-c] și un subcapitol pe aceeași temă în cartea sa [Paulitsch&Barbu, 2015].

sus (fig.3.3.2) și presiunea transportului cu bandă, dar și stabilirea parametrilor mașinii de tăiat plan în funcție de grosimea lamelelor, viteza de avans, anotimp și calitatea cherestelei.

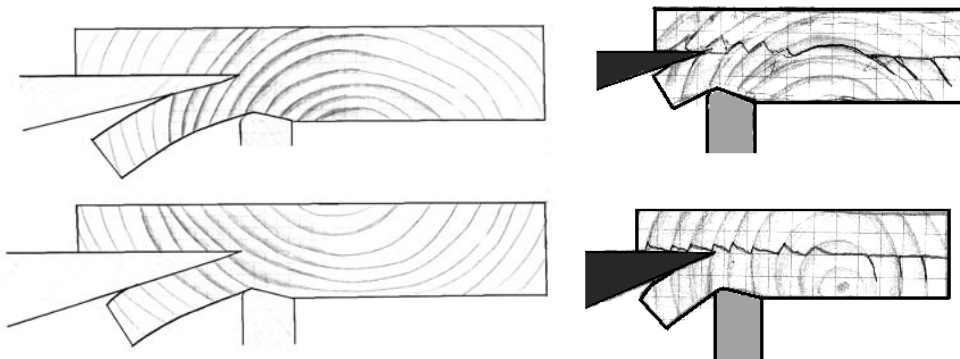


Figura 3.3.2: Orientarea pieselor de cherestele tratate în funcție de poziția inelelor anuale pentru a evita smulgerile de fibre sau ruperile de așchii în timpul tăierii plane [Barbu et al., 2004a-c]

Un alt prototip, implementat în producție, l-a reprezentat un utilaj compus din mai multe fierăstraie panglică orizontale (fig.3.3.3, stânga), legate în serie printr-un transportor longitudinal, cu pânze subțiri de 1,2 - 1,4 mm. Instalația (Fill), deși complet automatizată, având un sistem de compensare a toleranțelor între fierăstraie, a necesitat o optimizare a parametrilor de tăiere (fig.3.3.3, dreapta), în special a vitezei de tăiere și de avans (40-50 m/min), dar și o reproiectare a exhaustării, care s-a arătat inefficientă pentru extragerea așchiilor și a rumegușului din spațiul restrâns existent (fig.3.3.3, centru)[Barbu et al., 2008].

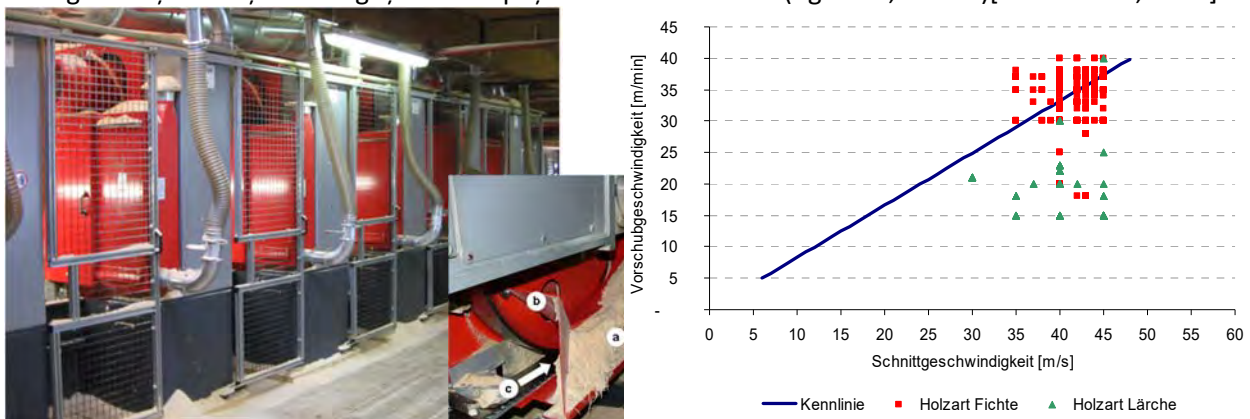


Figura 3.3.3: Utilaj prototip (Fill) format din 6 fierăstraie orizontale cu pânze subțiri pentru producerea lamelor din cherestele (stânga); Acumulare periculoasă de material în zona volanților (centru); Corelarea vitezei de tăiere cu cea de avans pentru cheresteaua de molid și larice (dreapta) [Barbu et al., 2008]

3.4 MACROÎMBINAREA ÎN DINȚI A PLĂCILOR AUTOPORTANTE CLT²⁶

În cadrul unui proiect de cercetare a fost dezvoltată o instalație prototip pentru producerea unei macroîmbinări în dinți pe lățimea de 1,25 m și o înălțime variabilă de 60 - 370 mm pentru elemente din plăci stratificate din cherestele încleiate transversal (CLT), cu o lungime de aproximativ 5 m. Scopul cercetării a fost dezvoltarea unei tehnologii cu aplicabilitate imediată la scară industrială, care să se justifice și din punct de vedere economic, luând în considerare o îmbinare în dinți corespunzătoare, atât din punct de vedere static, cât și al aspectului vizual (fig.3.4.1). Datorită dimensiunilor variabile și deschiderilor din ce în ce mai mari din construcțiile moderne, sunt solicitate elemente cu lungimi de până

²⁶ Autorul, împreună cu un alți colegi de la FHS (Kuchl), Boku (Viena) și parteneri industriali din Austria, a participat ca expert, în perioada 2007-2008, la un proiect de cercetare, subvenționat din fondul de stat pentru cercetare (FFG814712), cu scopul dezvoltării unei macroîmbinări în dinți pentru elemente CLT, dar și a proiectării și realizării unui prototip corespunzător. Proiectul s-a finalizat cu succes prin implementarea instalației în linia de producție existentă, în premieră mondială, iar tehnologia a devenit „state-of-the-art” și a fost posibilă ulterior și o publicație. Pe baza experienței acumulate, autorul a publicat o lucrare despre macroîmbinarea în dinți a CLT [Aigner et al., 2009] și un subcapitol pe aceeași temă în cartea sa [Paulitsch&Barbu, 2015].

până la 24 m, care trebuie să rezulte din elemente cu lungimi de 5 m (standard), până la maxim 13 m (din lamele îmbinate la rândul lor în dinți), îmbinate estetic la dimensiunile solicitate de clienți, mai ales că nu este exclusă utilizarea acestor elementelor (auto)portante ca pereți, tavane sau podele la vedere.

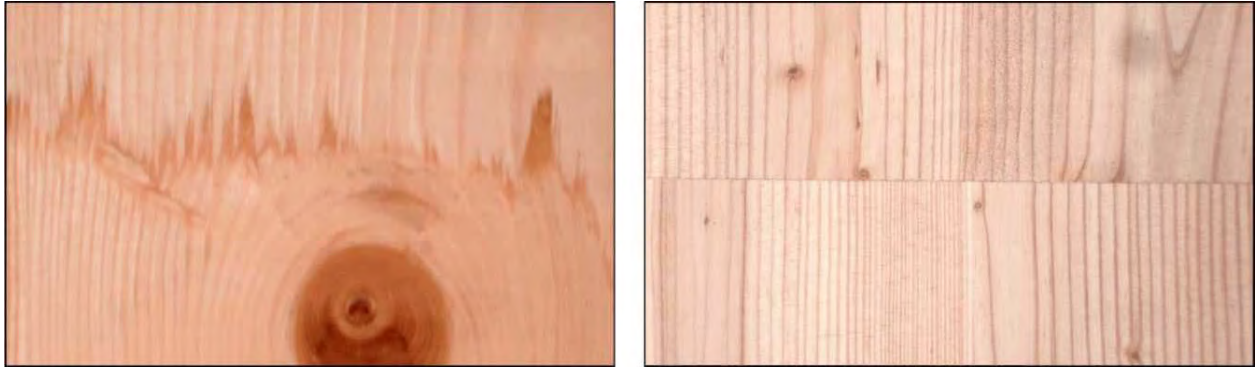


Figura 3.4.1: Exemplu de îmbinări în dinți fără cerințe estetice (stânga) și pentru elemente utilizate la vedere (dreapta) [Aigner, Joscak, Barbu et al., 2009]

În scopul presării elementelor CLT în vederea îmbinării în dinți trebuie să se asigure neapărat un unghi drept față de axa longitudinală. Pentru ca aspectul îmbinării în zona fețelor să fie la un nivel acceptabil, dintele îmbinării, care se află la suprafață trebuie frezat cu ajutorul unui profil special (fig.3.4.2).

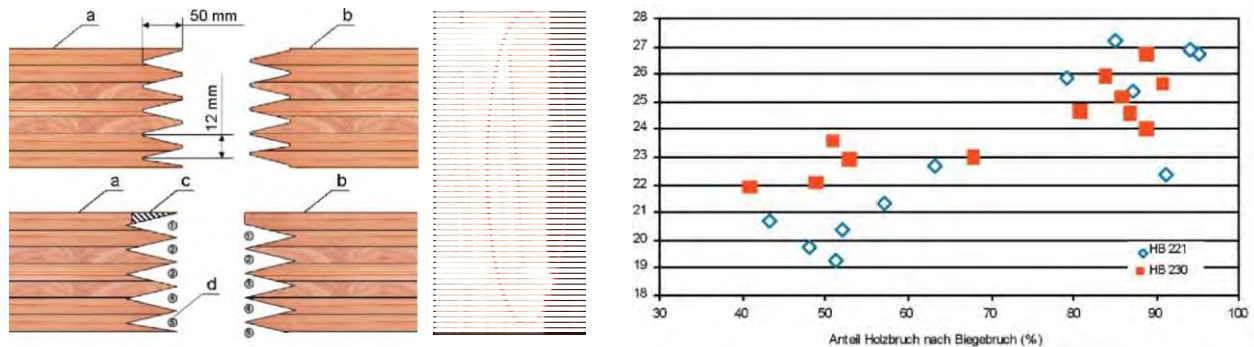


Figura 3.4.2: Îmbinarea în dinți cu profil special în zona fețelor (stânga); Corelația dintre rezistența la încovoiere (MPa) și suprafața de lemn ruptă în zona îmbinării (dreapta) [Aigner, Joscak, Barbu et al., 2009]

Varianta 2 (fig.3.4.2, stânga jos) este mult mai dificil de produs din punct de vedere tehnic și necesită o precizie mare de lucru și costuri de întreținere sporite. Cu toate acestea, secțiunea transversală a elementului de sprijin și rezistența statică nu sunt reduse în comparație cu varianta constructivă anterioară (fig.3.4.2, stânga sus). Datorită dimensiunilor mari (multiplu de 1,25 x 5 m), și greutatea ridicată a elementelor CLT, trebuie să se aibă în vedere o soluție economică și pentru linia transportoare. Acesta este motivul pentru care, după frezarea profilului primei îmbinări în dinți, elementul este rotit la 180° și apoi este frezat profilul complementar cu aceeași sculă [Aigner, Joscak, Barbu et al., 2009].

3.5 FABRICAREA OSB DIN SPECII LEMNOASE SUBUTILIZATE²⁷

Introducerea lemnului de foioase moi în locul rășinoaselor (pin, molid) pentru fabricarea OSB constituia, la nivelul anului 2010, o premieră la nivel european. În acest context a fost analizată posibilitatea înlocuirii lemnului de pin cu plop și ulterior fag, specii dintre cele mai răspândite în Europa, dar slab industrializate din cauza dispariției producției placajului din plop și a mobilei masive din fag din centrul UE. Astfel, cele două specii subutilizate au căpătat o însemnătate și utilizare tot mai mare numai ca lemn de foc, cât și ca

²⁷ Autorul a condus acest proiect de cercetare în laboratoarele Zentrum fur Holzwirtschaft ale UHH (Hamburg) împreună cu parteneri industriali din Germania, în perioada 2010-2011, și astfel s-a confirmat posibilitatea valorificării superioare a speciilor subutilizate pentru OSB. Proiectul s-a finalizat cu succes prin implementarea plopului și fagului ca materia primă complementară la o fabrică de OSB din România. Pe baza acestor rezultate s-a finalizat o teză de doctorat, condusă de autor [Akrami, 2014], și s-au generat mai multe publicații în revistele de specialitate [Akrami et al., 2014a-c] și lucrări prezentate la conferințe internaționale.

materie primă pentru PAL. Studiul a analizat posibilitatea fabricării OSB, utilizând combinații diferite de lemn de fag și plop, la două nivele ale densității, 650 kg/m³ și, respectiv, 720 kg/m³, încleiate cu 5% PMDI.

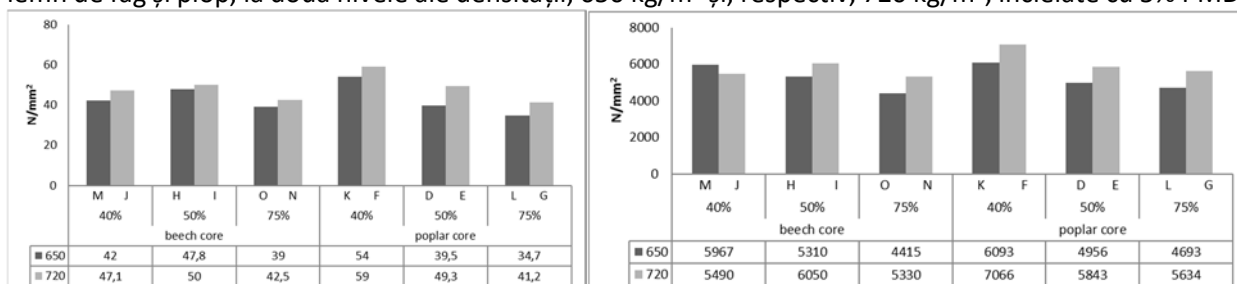


Figura 3.5.1: Rezistența la încovoiere (MoR) (stânga); Modulul de elasticitate (MoE) la încovoiere a OSB din fag și plop în diverse proporții (dreapta) [Akrami, Barbu et al., 2014a-c]

S-a observat că, odată cu creșterea densității, are loc firesc și îmbunătățirea proprietăților fizice și mecanice ale plăcilor (fig.3.5.1). Un procent de 60% aşchii lungi de fag pentru fețe a condus la creșterea netă a modului de elasticitate (MoE) și a rezistenței la încovoiere (MoR). De asemenea, mărirea cantității de fâșii de fag în miez de la 40 la 75% a avut ca rezultat scăderea coeficientului de umflare în grosime. În cazul unei densități de 650 kg/m³ în miez, folosind fâșii fine, de la 10 la 50% din greutatea totală a plăcii nu a fost influențat semnificativ MoE și nici MoR, însă proporția de aşchii fine a determinat creșterea coeziunii interne (IB) și îmbunătățirea stabilității dimensionale (fig.3.5.2)[Akrami, Barbu et al., 2014a-c].

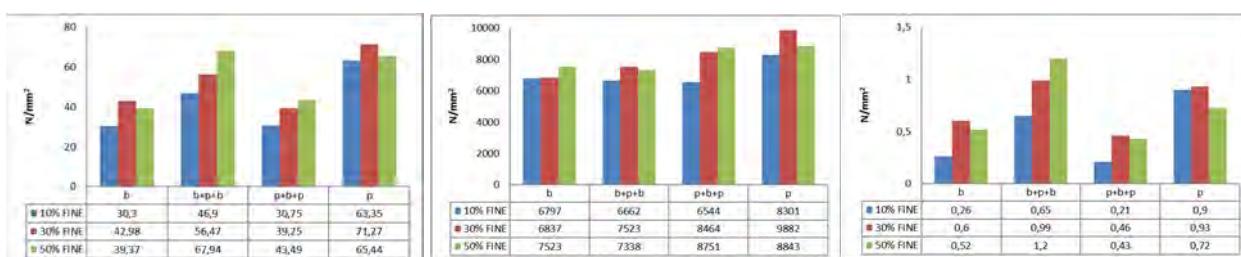


Figura 3.5.2: Rezistența la încovoiere (MoR) (stânga); Modulul de elasticitate (MoE) la încovoiere (centru); Coeziunea internă (IB)(dreapta) a OSB din fag și plop în diverse fracțiuni [Akrami, Barbu et al., 2014a-c]

3.6 IMPLEMENTAREA PRESELOR CONTINUE CU ZONĂ DE RĂCIRE ȘI PREÎNCĂLZIRE LA MDF²⁸

Activarea zonei de răcire a unei prese continue cu benzi duble din cadrul unei linii tehnologice pentru fabricarea MDF a permis o altă abordare a presării din procedeul uscat, prin mărirea toleranței la variațiile specifice ale umidității covoarelor de fibre și, astfel, o flexibilizare mai mare a producției de plăci.

Zona de răcire este specifică numai preselor ContiPress (Küstners, ulterior Metso Panelboards) și poate să funcționeze în ultimele (1 - 2) circuite de încălzire, la temperaturi cuprinse între 65 și 100°C, în funcție de temperatura inițială de presare (primele 3-4 circuite de încălzire), grosimea plăcilor, viteza de avans, densitatea de profil etc. Din punct de vedere tehnologic, răcirea covorului de fibre la sfârșitul operației de presare la cald este eficientă numai dacă se poate reduce treptat temperatura de presare, de-a lungul preseii continue, de la un circuit de încălzire la altul, altfel răcirea este imposibilă sau în cel mai bun caz ineficientă (fig.3.6.1 stânga).

²⁸ Autorul a condus două proiecte de cercetare, împreună cu parteneri din învățământ FHK (Kuchl), cercetare HFA (Viena), TÜV Bayern și din industrie din Austria, Finlanda, Germania, Suedia, subvenționate din fondul de stat pentru cercetare, în perioada 2001-2003 (FFF804846 și FFF806939), respectiv 2005-2006 (FFG809980) și astfel, a implementat în premieră națională un sistem de presare continuă cu zonă de răcire, împreună cu o instalație de preîncălzire a covorului de fibre în fluxul tehnologic al MDF. Proiectele s-au finalizat cu succes prin utilizarea acestor echipamente în producția industrială a MDF, fiind printre primele două linii de fabricație de acest gen din lume. Pe baza acestor rezultate s-au finalizat 3 lucrări de diplomă (FHK), conduse de autor, s-au generat publicații în revistele de specialitate [Barbu et al., 2001; Barbu et al. 2005] și multe lucrări prezentate la conferințe internaționale [Roll, Barbu et al., 2001; Barbu et al., 2002], iar tehnologia a devenit „state-of-the-art” [Paulitsch&Barbu, 2015].

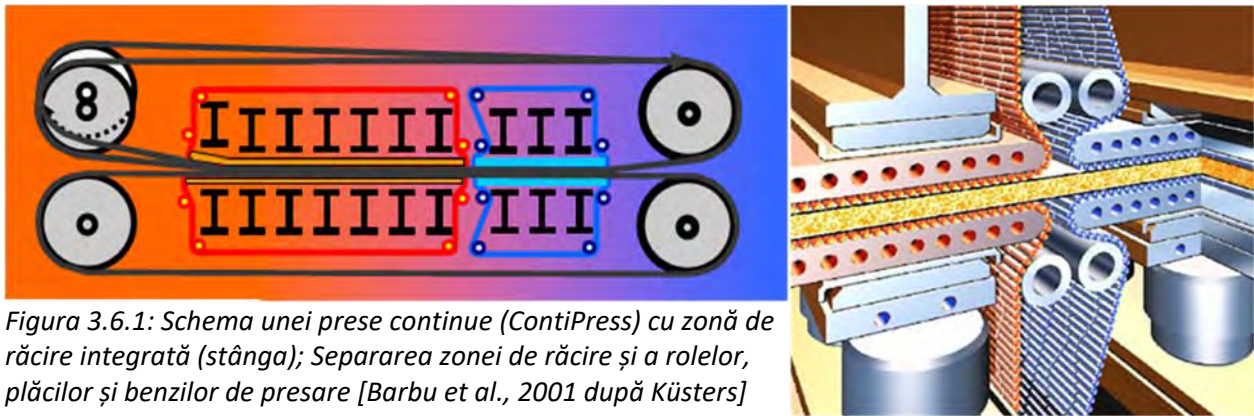


Figura 3.6.1: Schema unei prese continue (ContiPress) cu zonă de răcire integrată (stânga); Separarea zonei de răcire și a rolor, plăcilor și benzilor de presare [Barbu et al., 2001 după Küsters]

Pentru ca zona de răcire să fie funcțională, constructorii preseii au separat complet circuitele termice (sus și jos) și mecanice: rolele (interpuse între plăci și benzi), plăcile de presare (încălzite și răcite), rămânând doar benzile continue din tablă, care trebuie să mențină presiunea constantă pe cei 12 cm fără plăci de presare - aspect criticat de alți producători de prese, mai ales înaintea acestui studiu (fig.3.6.1 dreapta).

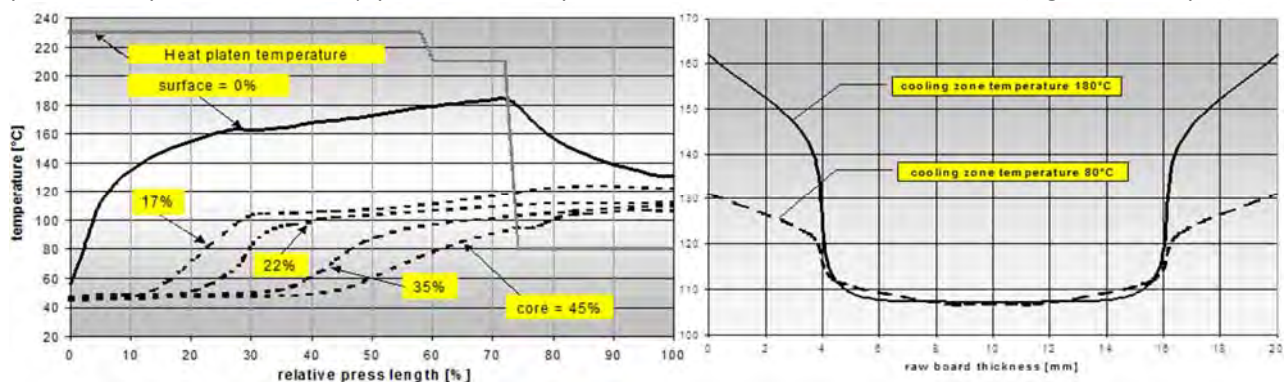


Figura 3.6.2: Evoluția temperaturii pe lungimea preseii continue (100%) cu zona de răcire activată (80°C) pentru MDF (19 mm) (% este distanța termocuplului de fața plăcii) (stânga); Distribuția temperaturii în secțiunea transversală a plăcii după presare fără (180°C) și cu răcirea activată (80°C)(restul parametrilor de presare implicit identici)(dreapta) [Roll, Barbu et al., 2001]

Temperatura măsurată continuu pe durata presării la suprafața covorului de fibre (fig.3.6.2 stânga) și la diverse adâncimi (17-45%) cu ajutorul aparatului specializat PressMAN demonstrează că, în cazul plăcii MDF de 19 mm grosime, zona de răcire (25% din lungimea preseii continue), setată cu 100°C mai puțin decât zona de încălzire (180°C), se resimte vizibil la cca. 4 mm de la suprafața plăcii, respectiv peste 20% din grosime (fig.3.6.2 dreapta). Închiderea bruscă a preseii, necesară formării fețelor dense a MDF, determină o presiune mare în covorul de fibre, moment în care începe acumularea de vapori, care apoi se reduce ușor pe durata etapei de aerisire, care este necesară pentru stabilizarea zonei de miez extern, ca apoi, pe perioada calibrării, când are loc întărirea centrului plăcii și fixarea grosimii finale, presiunea vaporilor să crească rapid (fig.3.6.3 stânga). Prin activarea zonei de răcire a preseii continue, la diferite temperaturi (85, 100, 140, fără răcire la 185°C), se observă că presiunea internă a vaporilor din placa aflată încă în etapa de consolidare, la ieșirea din presă, măsurată cu același aparat (PressMan), scade de la 120 la 70 kPa. Acest efect are influențe pozitive asupra calității plăcii, reducându-se astfel riscul apariției delaminărilor, fisurilor sau acumulărilor locale de vapori. Procesul devine mai robust din punct de vedere tehnologic, acceptând variații mai largi ale umidității fibrelor, iar prin mărirea voită a conținutului de umiditate al covorului de fibre până la 12%, viteza de presare poate să crească între 5 și 20%, în funcție și de gradul de optimizare prealabilă a procesului. Zona de răcire reduce masiv emisiile la ieșirea plăcilor din presă, fapt confirmat prin măsurarea principalelor elemente ale VOC, observându-se că nivelul formaldehidei libere, formațiilor și acetaților a scăzut sub 50% (fig. 3.6.3, dreapta). În plus se înregistrează un consum de energie termică cu 10% mai scăzut decât în cazul preselor/presării fără zona de răcire [Barbu et al., 2001; Roll, Barbu et al., 2001; Barbu et al., 2002].

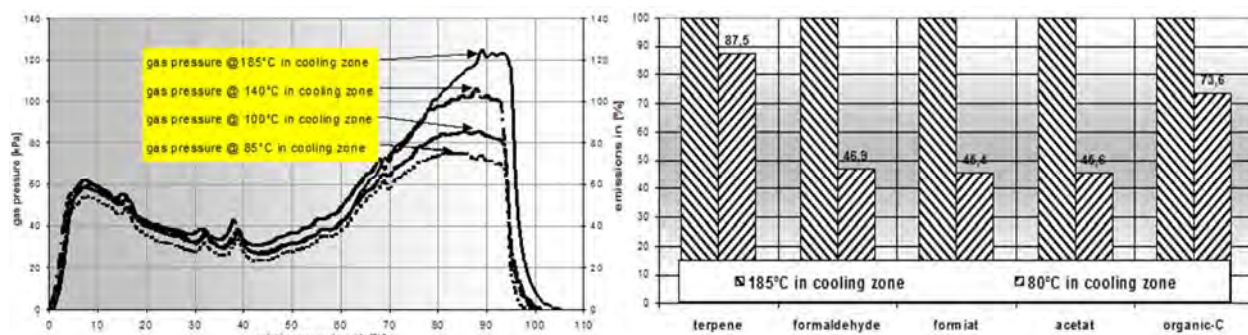


Figura 3.6.3: Evoluția presiunii interne a vaporilor din covorul de fibre pe lungimea preseii continue (100%) cu zona de răcire activată la diverse valori (85 - 185°C) pentru MDF (19 mm), măsurate cu aparatul PressMAN (stânga); Emisiile volatile (100%) la ieșirea din presa continuă fără (180°C) și cu răcire activată (80°C)(restul parametrilor de presare au fost implicit identici)(dreapta)[Barbu et al., 2002]

3.7 OPTIMIZAREA EPURĂRII APELOR REZIDUALE ȘI FILTRĂRII AERULUI UZAT DIN PRODUCȚIA MDF²⁹

Creșterea rapidă a capacității mondiale pentru MDF (1990: 5 milioane m³ la 65 milioane m³ în 2015), dar și de producție a unei linii de fabricație (1990: 100.000 m³/an la 600.000 m³/an în 2005) a avut un impact masiv asupra mediului. Astfel, a fost necesară regândirea și dezvoltarea unui sistem de epurare a apelor reziduale în combinație cu filtrarea aerului uzat rezultate în procesul de producție a MDF, care să fie stabil, eficient și sustenabil. La comprimarea tocăturii, în vederea tratamentului de plastifiere, rezultă constant 300 – 500 m³ apă/zi, care este slab acidă (pH 5,5) și puternic concentrată în compuși organici (consumul chimic de oxigen, CCO = 7000 ml/l). În timpul uscării fibrelor de lemn (proaspăt defibrate) și în prealabil încheiate în conducta de fugă ($u > 100\%$, $T > 100^\circ\text{C}$), rezultă cantități impresionante de aer uzat, 300.000 - 700.000 m³/h, variabil în concentrația poluanților solizi și gazoși. De exemplu, praful din acest aer uzat conține 45% lemn și 55% cenușă fină, datorită încălzirii directe a uscătorului, cu gazele de ardere ale centralelor termice pe bază de biomasă. Poluanții gazoși sunt constituiți din produși de piroliză (formaldehide, acizi carbonici etc.) și parțial VOC de la adezivi și mai ales de la lemn. Scopul dezvoltării, testării și implementării unei astfel de instalații pilot a fost de a grupa circuitul epurării apelor cu cel de filtrare a aerului, într-o stație de tratament pe bază de bacterii aerobe și termofile, de a închide circuitul apei prin acest tratament combinat cu osmoza inversă (permeat folosit pentru generarea aburului). Aerul este spălat cu apă reziduală slab filtrată, injectată sub formă de spray, iar aerosolii (micropulberi) sunt reținuți cu un filtru umed electrostatic (wet electrostatic precipitator, WESP) (fig. 3.7.1). Tratarea apelor reziduale începe prin amestecul cu bacteriile într-un bazin, care operează la temperaturi medii (45 – 60°C) și concentrații ridicate de formaldehidă. Populația de bacterii predominantă este formată din actinomicete, selecționate în timp să supraviețuiască acestor condiții. Injectarea directă a apei în curentul de aer uzat de la uscător (>80°C) nu are efecte negative. În schimb, pH-ul apei din bazinul de tratare trebuie menținut la valoarea 7, știindu-se că apele reziduale sunt slab acide. Degradarea biologică a formaldehidei este de aproximativ 1 mg/l (tab.3.7.1). Eliminarea formaldehidei din aerul uzat este de 80%. Prin spălarea aerului uzat cu apă reziduală, formaldehida este transferată din stare gazoasă în lichidă și descompusă biologic cu ajutorul bacteriilor. Ceilalți produși de piroliză din aerul uzat sunt reduși la peste 95% (tab.3.7.2). Filtrul umed electrostatic reține micropulberile în proporție de 90%. Ca efect secundar s-a consemnat că, prin procesul de spălare a aerului uzat, cenușa transferată sarează apa cu peste 70%, fapt ce impune o operație suplimentară de pregătire chimică înaintea osmozei inverse pentru a-i conferi membranei o durată de viață acceptabilă [Portenkirchner, Barbu et al., 2003; Steinwender&Barbu, 2009].

²⁹ Autorul a participat la două proiecte de cercetare cu parteneri industriali din Austria, din învățământ TUG (Graz) și cercetare TÜV, subvenționate din fondul de stat pentru cercetare, în perioada 2000-2002 (FFF803706 și FFF805081), la implementarea și optimizarea unui prototip (Scheuch) pentru tratarea biologică combinată a apelor reziduale și aerului uzat din procesul de fabricație a MDF. Aceste rezultate au fost prezentate la conferințe internaționale [Portenkirchner, Barbu et al., 2003; Steinwender&Barbu, 2009] și într-un subcapitol în cartea sa [Paulitsch&Barbu, 2015]. Tehnologia a devenit „state-of-the-art”, impusă de către Umweltbundesamt Wien.

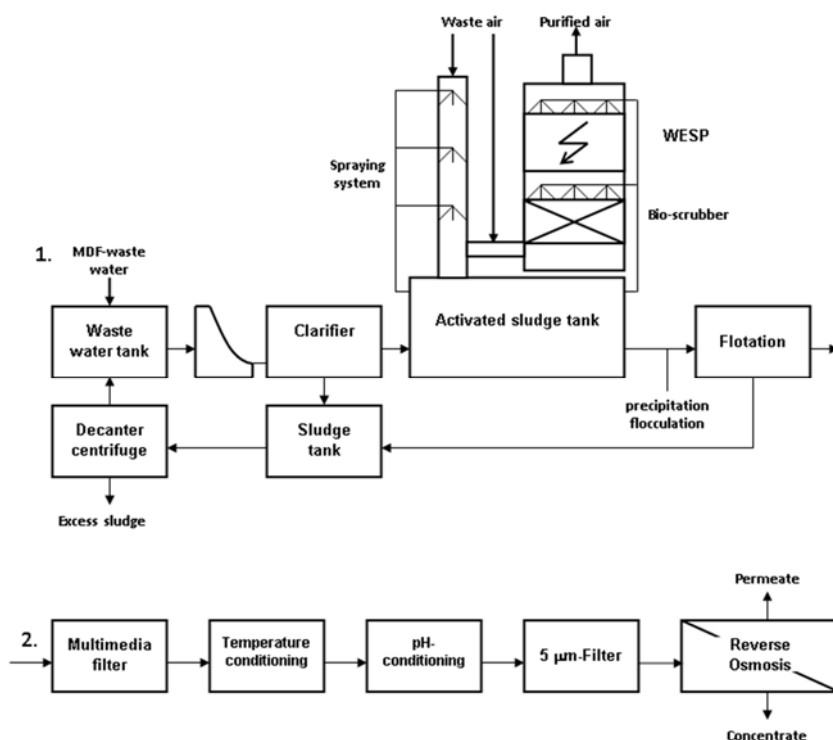


Figura 3.7.1: Schema instalației pentru tratarea combinată a apei reziduale (cu ajutorul bacteriilor aerobe termofile și osmozei inverse) și a aerului uzat (cu filtre umede electrostatice) rezultate la producția MDF [Portenkirchner, Barbu et al., 2003]

Tabelul 3.7.1: Parametrii apei reziduale în diverse etape ale tratamentului cu bacterii aerobe termofile [Steinwender&Barbu, 2009; Portenkirchner et al., 2004]

Parametrul la	Intrare	Decantare	Flotație	Osmoză
CCO [mg/l]	7000	3000	1000	30
HCHO [mg/l]	< 1	< 1	< 1	< 1
N-NH ₄ [mg/l]	2	8	6	n.n.
P-PO ₄ [mg/l]	22	16	10	n.n.
Conductivitatea [S/cm]	1400	2400	2800	250
pH	5,5	6,9	4,5	4,5

Tabelul 3.7.2: Parametrii aerului tratat după spălarea cu apele reziduale și filtrul umed electrostatic [Steinwender&Barbu, 2009]

Parametrul	Aer tratat [mg/m ³]	Descompunerea [%]
Formaldehidă	5	82
Micropulberi	3	91
Acizi organici	0,9	97
C organic	15	65
Aerosoli	invizibil	

Alte proiecte de cercetare importante³⁰, conduse sau coordonate de autor împreună cu parteneri din industrie și instituții de cercetare și învățământ superior și subvenționate de FFG, au avut ca scop (B-ii2):

- dezvoltarea și implementarea unei plăci compozite autoportante din lemn și beton pentru construcții (2003-2006: FFF807602 și FFG810323)[Schönborn, Flach, Barbu et al., 2005];
- implementarea și dezvoltarea lacurilor pe bază de pulberi pentru finisarea suprafețelor plăcilor compozite din lemn (2004-2007) [Barbu&Schmidt, 2009]
- calculul, finanțarea, implementarea și omologarea centralelor termice pe bază de biomasă din fabricile pentru industrializarea lemnului cu cogenerare de energie electrică prin tehnologia ORC sau turbine acționate de gazele arse (2001-2006) [ÖKK³¹ A1.10918, ÖKK A2.10273, ÖKK A2.10347, ÖKK A3.10282];
- valorificarea superioară a cenușii de la centralele termice industriale pe bază de biomasă ca îngrășământ forestier (2009-2011)[Barbu et al., 2010c];
- optimizarea unor plăci stratificate decorative cu fețe din lemn reutilizat din construcțiile vechi (2014-2016, aflat în etapa de patentare);
- dezvoltarea, testarea și seria 0 a unor plăci compozite cu proprietăți ignifuge din fibre de lemn și reziduuri ale industriei pielăriei (2013-2015: FFG836988)[Rindler, Solt, Barbu, 2015]

³⁰ Alte proiecte de cercetare ale autorului (2002-2015) sunt enumerate în tabelul din subcapitolul B-ii2.

³¹ Aceste proiecte au fost finanțate de serviciul agenției naționale de subvenție a producerii energiilor neconvenționale (Österreichische Kommunalkredit Wien, actualmente Kommunalkredit Austria).

(B-ii) PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

Autorul acestei teze de abilitare este profesor universitar la FIL³² din anul 2002. În perioada 2006-2011, ca profesor (tip W2) la UHH (Hamburg), a avut drept de îndrumare de doctorat, trei teze fiind finalizate cu succes. De asemenea, în calitatea de extraordinary professor la US (Stellenbosch) are dreptul de conducere doctorat începând cu 2014 pe o perioadă limitată (2018). După anul 2013, a coordonat în cotelă două teze de doctorat finalizate la TUM (München) și MendelU (Brno), iar alte trei teze la WHU (Sopron), TUZ (Zvolen) și US (Stellenbosch) sunt în curs de derulare. În planul de dezvoltare a carierei științifice și didactice a autorului, obiectivul principal îl constituie dorința de a adăuga la cariera didactică și de cercetare în domeniul ingineriei forestiere și respectiv a ingineriei lemnului – dreptul de a conduce doctorate și la Universitatea Transilvania din Brașov, în domeniul de competență al tehnologiei materialelor compozite din lemn. Planul de dezvoltare a carierei se bazează pe expertiza tehnică dobândită în peste două decenii în domeniul mai sus amintit, dar și pe calitățile dovedite de autor în activitatea didactică, educațională, academică internațională pe parcursul ultimilor 25 de ani.

1 EXPERIENȚA PROFESIONALĂ ȘI DIDACTICĂ

După obținerea titlurilor de doctor (Brașov 1996, respectiv Viena 1997), autorul s-a axat preponderent, în activitatea educațională, pe modernizarea cursurilor despre tehnologia materialelor compozite din lemn (1998-2003) și predarea acestora în limba engleză (2004-2006) la FIL din Brașov, dar și la Boku în Viena (2002-2011), UHH în Hamburg (2006-2011), UFP în Curitiba (2008-2010), UTP în Pereira (2008), WU în Nakon Si Thammarat (2009, 2011), UT în Knoxville (2014-2016), US în Stellenbosch (2011, 2014-2016), SU în Shizuoka (2014-2016), în limba germană și engleză la FHS în Salzburg (2002-2003, 2008-2016), UIbk în Innsbruck (2002-2007), FHRo în Rosenheim (2003), FHRb în Rottenburg (2013) și în limba franceză la ESB în Nantes (2005).

Cursurile predate de autor în limbi străine în perioada 2002-2016 (diplomă, licență și disertație)

Instituția, localitatea (anii)	Nr.Numele cursului (limba de predare): număr de ore/săptămână (x13)
UTBv, Brașov (2004-2006)	1.Technology of veneer, plywood and veneer based composites (engleză): 2h/w 2.Technology of wood particles based panels (engleză): 2h/w 3.Technology of wood - non wood composites (engleză): 2h/w
Boku, Viena (2002-2011)	4.Particle and fibre panels (engleză): 1h/w 5.Engineered wood composites (engleză): 1h/w
UIbk, Innsbruck (2002-2007)	6.Wood based materials for construction (germană): 0,5h/w
UHH, Hamburg (2006-2011)	7.Wood based panels technology (engleză/germană):3h/w 8.Mechanical wood technologies (engleză/germană): 2h/w 9.Finishing of wood based panels (engleză/germană): 4h/w 10.Environmental aspects and waste air/water cleaning technologies (eng./ger.): 1h/w 11.Production of energy from wood and biomass (engleză/germană): 4h/w 12.Building with wood (engleză/germană): 1h/w 13.Managerial design (germană): 1h/w 14.Materials science (germană): 1h/w 15.Labs for manufacturing and testing of wood based panels (germană): 2h/w Seminary for final work presentations (Diploma, Bachelor, Master): 1h/w Seminary for industrial development presentations (invited guests): 1h/w
FHS, Salzburg (2011-2016)	16.Wood based composites – basics (engleză/germană): 2h/w 17.Wood based composites – advanced (engleză/germană): 2h/w 18.Wood processing – advanced (engleză/germană): 1h/w 19.Products of the wood economy (engleză/germană): 2h/w 20.Wood technical processing and processes (engleză/germană): 2h/w 21.Process development (engleză/germană): 2h/w

³² Numele acestor instituții de învățământ superior a fost prezentat în introducerea de la B-i

	22.Energy from biomass (germană): 1h/w 23.Process analysis and control (engleză/germană): 2h/w 24.International wood economy (worldwide raw materials and markets): 1h/w 25.Applied materials science for wood industry (germană): 1h/w 26.Biobased composites from lingo-celulosic materials (germană): 1h/w
FHRb, Rottenb. (2013)	27.Wood based composites – introduction (germană): 2h/w
SU, Shizuoka (2014-2016)	28.Wood and biomass science (engleză): 2h/w

Tot în această perioadă autorul a fost cooptat la dezvoltarea planului de învățământ al FIL pentru înființarea noii specializări „Wood Science and Technology” cu predare în limba engleză. Din acest punct de vedere, pregătirea și experiența didactică au fost orientate spre modernizarea și dezvoltarea permanentă a procesului didactic și educațional pentru studenții acestei noi specializări. În acest sens au fost întreprinse o serie de activități de promovare și colaborare cu diferite firme străine din domeniu sau cu specialiști din industrie prin excursii de studii în străinătate și participarea la târguri internaționale (Ligna în Hanovra: 1991-2015 - ani impari etc.). Datorită interdisciplinarității cursurilor și aplicațiilor care au fost dezvoltate în cadrul activității didactice și profesionale cu studenții și în cercetare autorul și-a putut extinde domeniul de expertiză de la lemn la materialele ligno-celulozice, concomitent cu îmbunătățirea tehnicilor de predare și a diversificării și actualizării continue a materialelor și informațiilor prezentate în cadrul orelor de curs. În această perioadă numărul și conținutul cursurilor s-a extins rapid completându-se cu noi discipline ca materialele moderne din lemn pentru construcții, generarea energiei din lemn și biomasă, tehnologii pentru protecția mediului în industria lemnului, situația materiei prime și evoluția piețelor produselor din lemn etc.

Și în cadrul mobilităților pentru cadre didactice prin programul Erasmus(+) autorul a ținut cursuri în specialitatea sa de minimum 5 ore la KTÜ în Trabzon (2011, 2014), University of Ljubljana (ULj) (2012, 2013), Technical University of Zvolen (TUZ)(2012, 2014, 2015, 2016), Berner Fachhochschule (BFH) Biel (2013), MendelU în Brno (2013, 2016), West Hungarian University (WHU) Sopron (2013), University of Zagreb (UZ)(2013), Linnaeus University (LU) Växjö.

Între anii 2006 și 2011 autorul a fost profesor invitat la Zentrum für Holzwirtschaft (ZHW³³) al UHH, suplinindu-l în activitatea didactică pe șeful de catedră (prof.univ.dr. Arno Frühwald). Pe perioada contractului pe termen limitat (2006-2011), încheiat cu UHH, pe postul de profesor tip W2 (inițial denumit C3 « profesor titular »), autorului i s-a conferit și **dreptul de conducere de doctorat**. În această perioadă a condus două lucrări de doctorat, finalizate cu succes la Hamburg de Malanit, P. (2009): “The Suitability of *Dendrocalamus asper* Backer for Oriented Strand Lumber” [Malanit, 2009], Hengniran, P. (2010): “Future potential of Forest and Agriculture Residues for the energy production in Thailand” [Hengniran, 2010] și Akrami, A. (2014): “Development and Characterization of Oriented Strand Boards made from the European Hardwood Species” [Akrami, 2014]. A mai condus în cotutelă cu colegii din Hamburg și alte lucrări de doctorat finalizate cu succes de Hilbers, U. (2014), Fatih, L. (2014), Shalbafan, A. (2013), Lüdtke, J. (2011), Gruchot, M. (2010), Meyer, N. (2007), Schönborn, F. (2006 la Innsbruck), fiind și membri cu drept de notare în 14 comisii de doctorat la UHH. În perioada 2006-2011 autorul a dezvoltat și restabilit la UHH legăturile cu instituțiile de învățământ superior din domeniul ingineriei forestiere din Africa de Sud, Brazilia, Chile, Columbia, Iran, Nigeria, Serbia, Suedia, SUA, Thailanda, Turcia, Ungaria. Astfel, prin documentația propusă, a reușit să câștige un proiect al consorțiului binațional DAAD-UNIBRAL (2008-2009) și devenit director al acestui proiect (DAAD332400003/ 22.2.2008), intensificând astfel schimburile de studenți, cercetători și cadre didactice în parteneriatul dintre UFP (Curitiba) și UHH (Hamburg).

Preocupările didactice ale autorului au continuat prin seminarii de instruire a personalului cu studii superioare din industria lemnului fie ca expert invitat International Wood Academy (IWA), edițiile 2005-

³³ ZHW - cunoscut ca Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), ulterior devenit (von) Thünen Institut (TI) Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei a fost considerat până în anul 2011 “vârful de lance” european și mondial în știința și cercetarea lemnului având infrastructura necesară să acopere simultan și în același campus (Bergedorf) atât anatomia, celuloza, chimia, dăunători, economia, energia, fizica, hârtia, tehnologia lemnului, reunind simultan peste 100 de universitari și cercetători.

2008 la UHH (Hamburg), 2011 și 2013 la BFH (Biel), fie în calitate de director științific al edițiilor 2009/2011 la WU (Nakon Si Thammarat). Un seminar de scurtă durată a fost organizat de autor tot în calitate de director științific în 2014 la KTÜ (Trabzon). Toate acestea au avut UTbv ca instituție parteneră făcută public pe paginile internet respective și în suporturile de curs.

După anul 2011 autorul a devenit FH-profesor (FH-Prof.) la Fachhochschule Salzburg³⁴ (FHS) și a reușit să permanentizeze, dar și să extindă relațiile de colaborare cu insituțiile de profil din țările vecine: Cehia, Kosovo, Croația, Elveția, Germania, Polonia, Serbia, Slovenia, Ungaria, dar și cu Turcia și alte țări din Africa, America de Nord și Sud, Asia de Sud-Est și Oceania. Din anul 2013, autorul conduce specializarea „Holztechnologie” (Tehnologia lemnului) din aceeași instituție (FHS), predând cursurile amintite în tabelul anterior. A condus în cotutelă cu colegii din München, Brno, Sopron și Zvolen alte patru lucrări de doctorat, dintre care două [Klimek, 2016; Kain, 2016] au fost finalizate cu succes, fiind și membru în alte patru comisii de doctorat la UHH (Hamburg), LU (Växyö), ESB (Nantes), MendelU (Brno) și în două comisii de abilitare Konnerth, J. (2012) la Boku (Viena) și Kraler, A. (2016) Ulbk (Innsbruck). În perioada 2011-2016 autorul a deschis și dezvoltat legăturile FHS cu instituțiile de profil din Africa de Sud, Canada, Cehia, Chile, Finlanda, Kosovo, Italia, Japonia, Malaezia, Norvegia, Noua Zeelandă, Polonia, Portugalia, Rusia, Slovacia, Slovenia, SUA, Tanzania, Thailanda, Turcia, Ungaria. Eforturile autorului au fost recunoscute și prin câștigarea ediției 2016 a premiului Fundației Dr. Erhard Busek³⁵ „Würdigungspreis für interkulturellen Austausch mit Südosteuropa” (Premiul onorific pentru schimburi interculturale cu Europa de Est), înmănat însuși de Domnia sa, ca o recunoaștere a colaborării fructuoase de peste 10 ani dintre FHS și FIL.

În ultimii 25 de ani, autorul a vizitat de mai multe ori peste 30 țări și peste 60 de instituții de învățământ superior și de cercetare (nr.) în Africa de Sud (1), Anglia (3), Austria (9), Australia (1), Brazilia (2), Canada (4), Cehia (2), Chile (2), China (2), Columbia (2), Coreea (1), Croația (1), Danemarca (1), Elveția (4), Franța (3), Finlanda (3), Germania (10), Irlanda (1), Israel (1), Italia (1), Japonia (4), Malaezia (2), Mexic (1), Norvegia (2), Noua Zeelandă (2), Olanda (1), Polonia (1), Portugalia (3), Serbia (2), Singapore (1), Slovacia (1), Slovenia (2), Spania (1), SUA (9), Suedia (1), Thailanda (4), Taiwan (1), Turcia (3), Ungaria (2), Vietnam (2). În anul 2005, autorul a propus revistei ProLigno (Brașov) o nouă rubrică „Mapamond”, pe care a susținut-o cu articole despre situația economiei forestiere și industriei lemnului în diferite regiuni ale lumii, ca de exemplu China, Columbia (Meridiane forestiere), Japonia, Oregon, Portugalia, România, Serbia, Thailanda, Turcia.

Colaborarea internațională intensă a autorului a fost încununată de conferirea titlurilor onorifice de “extraordinary professor” al Department of Forestry and Wood Science, Faculty of Agriculture, US din Stellenbosch *2014), “adjunct professor” al Center for Renewable Carbon, Department for Forestry, Wildlife and Fisheries, Institute for Agriculture, UT din Knoxville (2014) și de “visiting professor” al Department of Environment and Forest Resource Science, Faculty for Agriculture, SU din Shizuoka (2014). Activitatea didactică pe care a desfășurat-o autorul pe întreaga perioadă amintită (2002-2016) a avut și o latură de sprijinire a desăvârșirii formării profesionale a studenților prin peste 20 de excursii de studii organizate anual pentru 30-50 de studenți de 1-7 zile la fabricile de profil, institute de cercetare, universități, șantiere, târguri internaționale în Austria, Croația, Germania, Slovenia, România, Ungaria, Turcia și a coorganizat și excursii de studii în Vietnam și Africa de Sud. De asemenea, a sprijinit studenții și viitorii absolvenți de la universitățile amintite la obținerea de locuri pentru practica industrială și stagii

³⁴ Fachhochschule Salzburg (FHS) a funcționat până în anul 2004 sub denumirea de Fachhochschule Kuchl (FHK) fiind fondată în 1995 ca unitate de învățământ superior din cadrul unui complex unic și integrat de pregătire profesională în industria lemnului, situat la Kuchl (din 1940) cu școală profesională (2 ani), liceu industrial (5 ani), școală post-liceală (1,5 ani), curs la distanță pentru maeștrii din industria de prelucrare (2 ani). Direcția de studii universitare “Forest Products Technology and Timber Construction” (FPTTC) reunește aproape 200 studenți pentru cei 3 ani de licență (bachelor) și peste 50 de studenți pentru cei 2 ani de disertație (master), fiind, ca număr de studenți, a 2-a instituție de învățământ superior de profil din spațiul de limbă germană după FHRo. În anul 2013, la clasificarea efectuată de “Centrums für Hochschulentwicklung” (CHE-Hochschulranking) la care au participat 300 de instituții de învățământ superior tehnic de acest gen din spațiul de limbă germană, FPTTC a ocupat locul 1.

³⁵ Dr. Eduard Busek a fost vice-prefect și vice-primar al Vienei (1978-1987), vice-cancelar al Austriei (1991-1995), fost ministru al științei și cercetării (1991-1994), fost ministru al învățământului și culturii (1994-1995), primul rector al FHS (2004-2011) și dr.h.c. al UTbv (2002)

de perfecționare națională, dar și în Canada (5), SUA (19), Chile (3), Africa de Sud (13), Tanzania (8), Thailanda (2), Japonia (4), Noua Zeelandă (2), Turcia (2) și Rusia (3).

Lucrările de cercetare științifică studentescă au constituit baza proiectelor de diplomă (înainte de Bologna), disertație (master) și licență (bachelor).

Instituțiile și lucrările de absolvire finalizate conduse de autor în perioada 2002-2016

Instituția de învățământ	Diplomă (înainte de Bologna)	Disertație (master)	Licență (bachelor)
UTBv (Brașov)	6	-	-
UHH (Hamburg)	22	5	9
FHS (Salzburg)	6	25	31
FHRo (Rosenheim)	4	-	-

De asemenea, a îndrumat absolvenții spre studiile doctorale, astfel un număr impresionant sunt înscriși sau au definitivat deja tezele de doctorat la universitățile din Viena (11), Hamburg (12), München (1), Sopron (1), Zvolen (1), Vancouver (1), Knoxville (1), Nantes (1), Stellenbosch (1).

Experiența internațională în domeniul învățământului superior, în mai multe țări europene, i-a oferit posibilitatea autorului să fie invitat ca expert în diversele ședințe de lucru ale departamentelor, decanatelor, asociațiilor și organizațiilor de profil după cum urmează:

- 2008 la universitățile UFP (Curitiba), UT (Pereira), BioBio (Concepcion)
 - 2009 la BFH (Biel), Japanese Assoc. for Wood Panels (Tokyo), Kasetsart University (KU) (Bangkok), WU (Nakon Si Thammarat)
 - 2010 la ONU (Geneva), 1st Serbian Forestry Congress (University of Belgrad)
 - 2011 la Society of Wood Science and Technology (SWST)(Portland), Oregon State University (OSU)(Portland), WU (Nakon Si Thammarat)
 - 2012 la COST FP1006 (Kuchl), ULj, IUFRO Division 5 (Estoril), Chinese Institute for Bamboo and Rattan (ICBR) (Beijing)
 - 2013 la UZ (Zagreb), MendelU (Brno), UWH (Sorpon) și 9th ICWSE (Brașov)
 - 2014 la universitățile Porto și Viseu, Laval (Quebec), UT (Knoxville), KTÜ (Trabzon)
 - 2015 la universitățile din Stellenbosch, Shizuoka, Kyoto, Nagoya și FAO World Congress (Durban)
- pentru a prezenta aspecte legate de evoluția și problemele învățământului superior european în domeniul științei și ingineriei lemnului.

Din anul 2014, prestigioasa revistă de specialitate din spațiul german Holztechnologie (Dresda) i-a oferit autorului o rubrică permanentă despre învățământul superior în știința lemnului din lume și astfel, în primele 13 ediții au fost prezentate 33 instituții din Europa (inclusiv Rusia și Turcia) și, din 2016, SUA și Canada au fost prezentate în alte 4 articole.

În sprijinul activității didactice, autorul a redactat o serie de lucrări despre materiale compozite (materia primă, tehnologii, produse) pentru studenți, absolvenți, doctoranzi, tineri specialiști, precum și experți din alte domenii de activitate tehnico-economică: 2 cărți publicate în edituri din Brașov [Barbu, 1999; Barbu, 2002], 5 capitole în limba engleză în diferite edituri internaționale consacrate [Irle&Barbu, 2010; Irle, Barbu et al., 2013; Barbu et al. 2014 a-c] și o carte nouă de specialitate [Paulitsch&Barbu, 2015], așteptată de către publicul vorbitor de limba germană cu interes de aproape 15 ani.

2 EXPERIENȚA ÎN ACTIVITATEA DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ

După finalizarea tezelor de doctorat pe temele optimizarea structurilor compozite din lemn și alte materiale (UTBv) [Barbu, 1995], respectiv producerea plăcilor din fibre de lemn (MDF) cu greutate redusă (Boku) [Barbu, 1997], autorul s-a axat preponderent în activitatea de cercetare științifică pe aceste domenii, fie în cadrul proiectelor subvenționate de fundația de stat austriacă Forschungsförderungsfond - FFF, devenită ulterior Forschungsförderungsgesellschaft - FFG, proiecte bilaterale cu diverse firme din Austria (Innoscheck = Innovationscheck der FFG), Germania, Italia, Olanda și Suedia sau prin mijloacele proprii ale catedrelor facultăților la care a funcționat sau cu care a colaborat (Graz, Hamburg, Kuchl, Innsbruck, München, Rosenheim, Viena). Astfel, pentru perioada 2002-2016 a continuat respectiv inițiat cercetări care s-au concentrat asupra:

Proiectele de cercetare din străinătate conduse științific și/sau finanțate din fonduri accesate de autor sau cu participare acestuia ca expert în perioada 2002-2016

Perioada	Numele proiectului (cod/țara subvenție)	Instituția de învățământ, cercetare (localitatea)	Funcția autorului
2002-2003	Optimierte maschinelle Schnittholzsortierung für Brettschichtholz (FFF806377)	HFA (Viena), TUG (Graz), LMU (München)	Expert
2002-2003	Spanloses Auftrennen von Schnittholz in Lamellen für Massivholzplatten (FFF806483)	HFA (Viena), FHK (Kuchl)	Expert
2002-2003	Einflüsse der Kühlzone einer kontinuierlichen Heißpresse für MDF (FFF806939)	HFA (Viena), FHK (Kuchl)	Director
2003-2004	Tiroler Holz Beton Verbundplatte (FFF807602)	Uibk (Innsbruck)	Expert
2004-2005	Optimierte maschinelle Schnittholzsortierung für Brettschichtholz (FFG809778)	HFA (Viena), TUG (Graz), LMU (München)	Expert
2005-2006	Optimierung der Prozesskontrolle bei der MDF-Produktion (FFG809980)	FHK (Kuchl)	Director
2005-2006	Tiroler Holz Beton Verbundplatte (FFG810323)	Uibk (Innsbruck)	Expert
2006-2007	Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe (FFG812591)	Boku (Viena)	Expert
2006-2007	Dünnschnittbandsägetechnologie für die Lamellenerzeugung (FFG812902)	FHRo (Rosenheim)	Expert
2007-2008	Herstellung eines Generalkeilzinkenstosses für Brettsperholz (FFG814712)	FHS (Kuchl)	Expert
2007-2008	Die Anwendung vom Bambus für die Herstellung von OSL-Platten (subvenționat direct de universități din Germania, Thailanda)	WU (N. Si Thammarat), UHH (Hamburg)	Director
2007-2008	Hydrolysis stability of different resins for the wood based panels (subvenționat direct de firme din Austria, Germania)	UHH (Hamburg)	Director
2007-2008	Optimization of the <Visual Inspection Unit> for the identification of coconut shives and their quantification in the continuous HPL production (subvenționat de firmă din Olanda)	UHH (Hamburg) WUR (Wageningen)	Director
2008-2010	Light board with foam sandwich continuously pressed (subvenționat direct de firme din Austria, Germania, Suedia)	UHH (Hamburg)	Expert
2009-2010	Entwicklung einer Brettsperholz-Leichtplatte (FFG822221)	Uibk (Innsbruck)	Expert
2010-2011	Coconut wood processing to cross laminated timber (subvenționat direct de firme din Germania, Indonezia)	UHH (Hamburg)	Director
2010-2012	Die Verwendung vom Pappenzholz für die Herstellung von OSB-Platten (subvenționat direct de firme din Germania)	UHH (Hamburg)	Expert
2011-2016	Innovative stoffliche Rindennutzung (subvenționat de firme din Austria, Germania, Portugalia, Rusia)	FHS (Kuchl)	Director
2011-2012	Auswirkungen und Chancen des Emissionshandels in der Holzwerkstoffindustrie (subvenționat de firmă din Germania)	FHS (Kuchl)	Director
2012-2013	Akustik - Sandwichelemente - Mikroperforation von dünnen Holz- und Holzwerkstoffschichten (Innoscheck 839284)	FHS (Kuchl)	Director
2012-2013	Untersuchungen von BioComposites mit Wärmedämmenden bzw. Schallabsorbierenden Eigenschaften (subvenționat de firmă din Austria, Germania)	FHS (Kuchl)	Director
2012-2014	Spezifische Charakterisierung von bereitgestellten Prozessabwasser und Evaluierung der Möglichkeiten zur Generierung von Wertstoffen (subvenționat de firme din Austria)	FHS (Kuchl)	Director
2012-2015	Integrierte Entwicklung von natürlichen, flammhemmenden Werkstoffen aus Lederspänen für erhöhte Brandsicherheit (FFG836988)	FHS (Kuchl)	Expert
2012-2015	Up-cycling von Stroh - Biogene Dämmplatte - Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten (FFG838238)	FHS (Kuchl) FHOÖ (Wels)	Expert
2013-2014	Implementation of CLT production and introduction to the US-market (subvenționat direct de universități din Austria, SUA)	FHS (Kuchl) US (Knoxville)	Expert
2013-2015	Entwicklung einer Fertigungskonzeptes für die Herstellung einer Massivholzleichtbaukernlage (subvenționat de firme din Austria, Germania)	FHS (Kuchl), HTK (Kuchl)	Director
2014-2015	Untersuchung der Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten aus modifiziertem Pappelholz (subvenționat direct de instituții)	FHS (Kuchl), HTK (Kuchl)	Director
2015	Entwicklung von Palettenklötze aus Sägennebenprodukte (subvenționat de firmă din Austria)	FHS (Kuchl)	Director
2014-2016	Optimierung von 3schichtigen Massivholzplatten aus Altholz (subvenționat de firme din Austria)	FHS (Kuchl)	Director
2015-2016	Entwicklung von Oberflächensystemen bei Fertigparkett für stark beanspruchte Anwendungen (subvenționat de firme din Austria)	FHS (Kuchl), WoodK+ (Tulln)	Director
2015-2016	Entwicklung einer dünnen 3schichtigen Massivholzverbundplatten (subvenționat de firme din Austria)	FHS (Kuchl), WoodK+ (Tulln)	Director

- analizei proceselor de producție pentru optimizarea parametrilor și a performanțelor produselor;
- implementării de prototipuri în tehnologiile de producție existente;
- dezvoltării de structuri noi din lemn și alte materiale ligno-celulozice cu performanțe ridicate;

- diminuării impactului tehnologiilor din industria lemnului asupra mediului (apă, aer);
- dezvoltării și implementării tehnicilor nedestructive la controlul online al proceselor și calității.

În majoritatea acestor proiecte au existat parteneri din producție, construcția de utilaje, institute de cercetare și de învățământ superior din țările și regiunile amintite. Din cauza acordurilor de confidențialitate cu partenerii, firmele implicate și bugetul nu sunt menționate. Aceste proiecte³⁶ nu au fost declarate la FRACS, deoarece UTBV nu a fost membru și majoritatea au avut caracter confidențial, iar rezultatele obținute au fost publicate parțial, numai cu acordul tuturor părților sau după o perioadă de timp determinată.

Așa cum reiese din tabelul de mai sus, în perioada 2002-2016, autorul a fost director la 17 proiecte de cercetare în Austria și Germania cu parteneri externi universităților și a participat în calitate de expert la alte 14 desfășurate în aceeași regiune. De asemenea, a fost cooptat și pentru pregătirea documentației unor proiecte din fondurile europene de tip Coin „FFG838238”, COST E49 (2006-2009), 6th Framework Programe „SustainMultiWood 515832” (2003-2004), InterReg „CaSCO” (2016-2018), Wood K+ (1999-2000), WoodWisdom „NMP2-ER-2009-235066” (2009-2010), Horizon 2020 „RE-BARK SEP-210164209” și sprijinit atragerea de fonduri de la partenerii industriali pentru conferințele internaționale, pe care le-a coorganizat (ICWSE edițiile 2011, 2013, 2015; PTFBPI edițiile 2014 și 2016).

Aceste proiecte au generat noi tehnologii sau le-au optimizat pe cele existente, fie prin implementarea de noi utilaje (prototipuri) sau de concepte inovative elaborate atât în laborator, cât și la scara industrială, cu economii însemnate de materie primă și energie, reducerea impactului asupra mediului și, nu în ultimul rând, performanțe deosebite.

Pe parcursul acestor ani, autorul a reușit în cadrul colectivului de cercetare să implementeze la scară industrială în Austria mai multe prototipuri de echipamente de prelucrare a lemnului în premieră în Europa, dintre care se amintesc:

- Optimizarea sortării automate și nedestructive a cherestei pentru grinzi stratificate (GLT)(2002-2003: FFF806377);
- Utilaj pentru tăierea plană a cherestei umede pentru debitarea lamelelor subțiri (2002-2003: FFF806483);
- Activarea zonei de răcire în presele continue la producerea plăcilor din fibre (MDF) (2002-2003: FFF806939);
- Utilaj pentru debitarea lamelelor subțiri din cherestea cu ajutorul ferăstraiei panglică seriale (2006-2007: FFF812902);
- Dezvoltarea unei macroîmbinări în dinți pentru plăcile stratificate din cherestea (CLT) (2007-2008: FFF814712).

Alte cercetări au dezvoltat noi produse compozite din lemn și alte materiale ligno-celulozice, care au fost realizate cu succes la nivel de laborator și încercate deja în „seria 0” în Austria, Germania, Indonezia, Italia, Olanda și Thailanda:

- Placă compozită autoportantă din lemn și beton pentru construcții (2003-2006: FFF807602 și FFG810323);
- Placă compozită cu structură orientată (OSL) din fâșii de bambus (2007-2008: UHH și WU);
- Placă compozită din fibre de lemn și coaja nucilor de cocos ca miez pentru hârtia stratificată densificată (HPL) (2007-2008: UHH și WUR);
- Placă compozită cu greutate redusă cu miez din spumă presată continuu (2008-2010: UHH);
- Placă stratificată din cherestea (CLT) cu greutate redusă (2009-2010: FFG822221);
- Placă stratificată (CLT) din cherestea de cocotier cu denistare redusă (2010-2011: UHH);
- Implementarea lemnului de plop la producerea plăcilor OSB (2010-2012: UHH);
- Utilizarea superioară a cojii arborilor pentru produse compozite (2011-2016: FHS);
- Placă stratificată cu o față din lemn vechi (2014-2016: FHS);
- Dezvoltarea unor compozite cu proprietăți ignifuge din reziduri ale industriei pielăriei (2012-2015: FFG836988);
- Utilizarea superioară a paielor pentru producția de produse termoizolante (2012-2015: FFG838238).

³⁶ Participarea la aceste proiecte nu a generat membrilor proiectelor (persoanelor fizice) venituri suplimentare, subvențiile revenind instituțiilor și firmelor pentru desfășurarea experimentelor, inclusiv pentru materiale și aparatură!

În majoritatea cazurilor, acestea întrunesc cerințele standardelor în vigoare (EN) și sunt unanim recunoscute de industria de specialitate ca potențiale direcții de dezvoltare a producției, având o implementare facilă și un impact favorabil asupra mediului, încadrându-se în așa-zisele „tehnologii verzi”. Astfel, au fost generate și patentele care l-au inclus în lista inventatorilor pe autor, amintite în subcapitolul anterior [Lüdtke et al., 2008-2013; Thömen, et al. 2013; Barbu et al., 2012; Kain, Barbu et al., 2013].

Cu rezultatele generate în urma acestor cercetări autorul a participat la o serie de manifestări științifice internaționale (B-ii 1). În calitate de conducător al unor grupuri de lucru, ca de pildă WG 1, “Process optimization and process innovation” în cadrul acțiunii COST³⁷ E 49 „Processes and performance of wood-based panels” (2006-2009) autorul a organizat și moderat sesiunile științifice și a condus întrunirile de lucru în Brussels (2005), Valencia (2006), Hamburg (2006), Braunschweig (2007), Nantes (2007), Bled (2008), Istanbul (2009). Și în calitate de conducător al grupurilor de cercetare RG 5.04 „Wood processing” (2011-2016), RG 5.05 „Composites and Reconstituted Products” (2000-2016) din cadrul Division 5 “Forest Products” al IUFRO³⁸, autorul a organizat și moderat sesiunile științifice și a condus întrunirile de lucru în Rotorua (2003), Brașov (2003), Brisbane (2005), Taipei (2007), Seoul (2010), Estoril (2012). În anul 2013 autorul a devenit vicepreședinte fondator al Forest Products Society Europe, secție a FPS³⁹ cu sediul în Austria și a sprijinit organizarea conferințelor anuale ale acestei organizații prin selectarea lucrărilor științifice, moderări și participarea în consiliul director în Austin (2013), Quebec (2014), Atlanta (2015). De asemenea, autorul a fost membru în comitetul de organizare a edițiilor 2011, 2013, 2015 ale International Conference on Wood Science and Engineering (ICWSE) organizată de FIL la Brașov și ale edițiilor 2012, 2014, 2016 ale Conference on Processing Technologies for the Forest and Bio-based Products (PTFBPI) organizată de FHS la Kuchl și de UT în St.Simons Isl. În acest context, activitatea i-a fost onorată, în mai multe rânduri, cu premiile acestor prestigioase societăți științifice ca FPS (2013, 2014, 2015), IUFRO (2007-2016), SWST⁴⁰ (2008, 2013, 2014).

În momentul de față, autorul este referent științific la peste 20 de reviste internaționale de specialitate, expert evaluator ARACIS, CORDIS (Expert Management Module) și este solicitat deseori la audit în vederea (re)acreditării instituțiilor de învățământ superior și de cercetare din spațiul de limbă germană și noile țări membre ale UE.

3 PLANURI DE DEZVOLTARE A ACTIVITĂȚII DIDACTICE

Activitatea didactică reprezintă o componentă deosebit de importantă a carierei autorului, care poate să-și continue dezvoltarea internațională și în cadrul FIL (UTBv) prin reluarea programului de studii „Wood Products Design and Engineering”, cu predare în limba engleză, fapt care va atrage schimburile de studenți din UE prin intermediul programului Erasmus(+) existente înainte de 2006. Prin intermediul autorului s-au realizat mai multe acorduri de colaborare dintre care se pot aminti cele cu ESB (Nantes), FHRo (Rosenheim), Boku (Viena), FHS (Salzburg), UHH (Hamburg), KTÜ (Trabzon), WU (Nakon Si Thammarat), US (Stellenbosch), OSU (Stillwater), UT (Knoxville) etc. Autorul dispune de o rețea vastă și adusă la zi de relații profesionale cu facultățile de profil din spațiul UE, dar și din afara acestuia, care poate să sprijine această inițiativă deosebită a FIL.

Tot în acest context, autorul dorește să pună bazele unui centru de instruire în cadrul FIL pentru studii avansate în știința și tehnologia lemnului, orientate spre specialiștii cu studii superioare din industria

³⁷ COST = Cooperation in Science and Technology, platformă europeană interguvernamentală pentru apropierea dintre știință, guvernanti și societate, creată în 1971 și pentru statele din afara UE.

³⁸ IUFRO = International Union for Forestry Organization, organizație mondială independentă și non-profit în domeniul forestier, înființată acum 125 de ani, care are peste 700 de organizații, 15.000 de membri din 110 de state cu secretariatul general la Viena.

³⁹ FPS = Forest Products Society, organizație nord-americană independentă și non-profit în domeniul produselor forestiere înființată acum 70 de ani care are peste 800 de membri din peste 30 de state, cu sediul până în anul 2012 la Madison, apoi la Atlanta și editează revista de specialitate “Forest Products Journal”(FPJ).

⁴⁰ SWST = Society of Wood Science and Technology, organizație nord-americană independentă și non-profit în domeniul științei și tehnologiei lemnului, înființată acum 60 de ani, editează revista de specialitate “Wood Science and Technology” (WST) și organizează propria acreditare a învățământului superior în acest domeniu din Canada, SUA, Mexic, sud-estul Asiei și America Latină.

lemnului din România și din țările vecine. În ultimele două decenii s-a observat că în prelucrarea lemnului sunt angajați mai mulți absolvenți ai facultăților de construcții de mașini, electrotehnică, informatică, studii economice etc., cărora în activitatea zilnică le lipsește bagajul de cunoștințe de specialitate necesar acestei ramuri industriale. Experiența și succesele înregistrate de autor ca expert, invitat la cursurile IWA⁴¹ din Hamburg (2005, 2006, 2007, 2008) și Biel (2011, 2013), iar apoi ca organizator principal și director științific al mai multor ediții ale acestor cursuri (training course) din cadrul universităților partenere din Nantes (2005), Curitiba (2008), Pereira (2008), Tokyo (2009), Nakon Si Thammarat (2009, 2011), Trabzon (2014), Kuchl (2016), devin o bază și, totodată, o garanție pentru demararea unor asemenea acțiuni de pregătire continuă.

În același sens, în activitatea didactică, autorul dorește să se implice în următoarele acțiuni:

- modernizarea suporturilor de curs, completarea lucrărilor de laborator și a prelegerilor frontale dar și la distanță, prin intermediul tehnologiilor e-learning;
- susținerea laboratorului de materiale compozite al FIL cu mostre din materiale compozite de ultimă generație, dotări și echipamente moderne, atât pentru lucrările de laborator, cât și pentru seminarii;
- atragerea de studenți ai UE, dar și din exterior, la noul program de studii al FIL cu predare în limba engleză, fie prin schimburile facilitate de Erasmus (+), dar și în varianta unor ani de studii;
- angrenarea prin programele UE (Erasmus) a mai multor cadre didactice aflate la început de activitate din cadrul FIL la stagii de pregătire didactică din alte universități, dar și la schimburi de experiență de tip „short scientific mission” prin COST în centre de specialitate din străinătate pentru a cunoaște îndeaproape viața universitară din țările UE.

4 PLANURI DE DEZVOLTARE A ACTIVITĂȚII DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ

O importantă cale pentru a continua dezvoltarea activității de cercetare științifică o constituie diversificarea domeniului, modernizarea metodelor și actualizarea permanentă a cunoștințelor în raport cu evoluția științei, tehnologiei și cerințelor pieții. Pentru a realiza aceste obiective este importantă continuarea cercetărilor interdisciplinare domeniului forestier, transferarea și consolidarea direcțiilor abordate și diseminarea rezultatelor.

Tot în acest spirit, autorul poate să atragă acțiunile COST tip FP, care, în viitor, să includă FIL ca „grant holder” în noile call-uri și de asemenea, ca FPS prin secțiunea FPSE să dezvolte o subsecție cu sediul la FIL pentru noile state membre ale UE și țările terțe din zona Europei de est, fapt care ar permite polarizarea atenției și, prin aceasta, intensificarea schimburilor și întărirea rolului instituției în regiune.

Prin lucrările de doctorat conduse de autor direct și în cotutelă, amintite la începutul acestei secțiuni și participarea la aproape 20 de comisii de doctorat și abilitare din Germania, Austria, Franța, Cehia, în calitate de membru cu drept de notare, se consideră facilă atragerea de doctoranzi absolvenți ai unor instituții de învățământ superior din alte state europene în condițiile desfășurării programului școlii doctorale din cadrul UTBv și în limba engleză. Deoarece întreaga industrie de prelucrare a lemnului (cherestea rășinoase și plăci din lemn) este în proprietatea majoritară a unor companii din Austria și Turcia, există tineri specialiști cu studii superioare care staționează pe o perioadă determinată în aceste întreprinderi, timp în care ar putea demara și studiile doctorale, temele de cercetare fiindu-le evident la îndemână. Învățământul la distanță și cu frecvență redusă este o altă strategie a autorului pe care dorește să o dezvolte, într-o fază inițială, prin seminarii și apoi cursuri la distanță, atât pentru studenți, absolvenți și specialiști din țară, dar și din străinătate.

Autorul a stabilit de-a lungul activității sale o rețea cu toate instituțiile de învățământ superior și centrele de cercetare din Europa, inclusiv Turcia, parțial Rusia, Canada, SUA, Mexic, Chile, Brazilia, Africa de Sud, Thailanda, Malaezia, Coreea, Taiwan, parțial China, Indonezia, Japonia, Noua Zeelandă. Conexiunile sale pot fi eficient valorificate, atât pentru UTBv, dar și în formarea unei platforme cu acces mondial în stabilirea unor legături rapide în acest domeniu, în schimbul de informații, indentificarea de competențe, abordarea unor teme noi de cercetare, alegerea unor parteneriate în știința și cercetarea lemnului și a materialelor ligno-celulozice.

În acest sens, autorul va continua să fie preocupat de:

⁴¹ IWA = International Wood Academy, organizație germană independentă și non-profit în domeniul tehnologiei produselor din lemn a fost înființată acum 12 de ani cu sprijinul cadrelor didactice din Hamburg.

- creșterea vizibilității activității de cercetare a colectivului FIL din care face parte și publicarea periodică a rezultatelor cercetărilor proprii în revista ProLigno și Buletinul UTBv;
- antrenarea de doctoranzi din țară și străinătate în programe la zi și distanță, în limbi de circulație europeană, cu teme din activitatea curentă a acestora, din domeniul ingineriei lemnului, dar și a materialelor compozite din resurse nelemnoase;
- atragerea spre FIL a unora dintre manifestările științifice internaționale, pe care autorul le coorganizează, facilitându-se astfel prezentarea diferitelor aspecte ale cercetărilor naționale, dar și pentru a cunoaște direct de la colectivele de cercetare realizările acestora;
- continuarea voluntariatului de recenzent, care permite susținerea tinerilor cercetători de la FIL pentru a disemina rezultatele cercetărilor prin publicarea în reviste de specialitate din străinătate;
- a răspunde pozitiv solicitărilor de a fi editorul unor proceeding-uri indexate ale conferințelor sau capitole în cărți de specialitate din edituri naționale și internaționale;
- îndrumarea tezelor de doctorat în țară și în cotelă, dar și în străinătate, pentru o diversificare continuă a activității de îndrumare a doctoratului și a abilitărilor din domeniul pe care îl reprezintă;
- susținerea tinerilor colegi de la FIL să formeze echipe de cercetare, orientate spre cerințele industriei, cu expertiză necesară și reacție promptă, care să asigure continuarea tematicilor de cercetare cu rezultate consistente și diversificate;
- valorificarea unora din cercetările doctoranzilor și altor tineri specialiști ai FIL și din țară, care să conducă la obținerea unor brevete naționale și UE și astfel la creșterea aplicabilității acestora în producție;
- continuarea atragerii de fonduri de cercetare și la Brașov prin propunerea și participarea de către FIL la proiecte de cercetare atât pentru dezvoltarea unor direcții noi de activitate științifică pentru cercetare, dar și pentru formarea unor echipe mixte cu specialiștii din străinătate;
- creșterea interesului față de această profesiune a studenților din țară, dar și din străinătate, prin implicarea acestora în practici de scurtă și lungă durată (1 - 10 săptămâni) în cadrul întreprinderilor de prelucrarea lemnului din România, care au fost dotate cu tehnologie la nivel european.

Astfel, se pot dezvolta și obține performanțe legate de evoluția studenților și viitorilor absolvenți în cadrul profesiei de inginer IL prin antrenarea acestora în interacțiunea cu firmele de profil, dar și la susținerea inițiativelor de a demara startup-uri de nișă, bazate pe o solidă pregătire profesională și o rețea adecvată sectorului încă din anii de studenție.

Pentru atingerea acestor obiective permanente ale activității de cercetare autorul consideră că pregătirea sa științifică este orientată corespunzător pe interdisciplinaritatea domeniilor abordate, legate strâns și de activitatea didactică.

Autorul consideră oportun de a menționa că experiența sa profesională de aproape 25 de ani în domeniul didactic și de cercetare științifică din țară, și mai ales din străinătate, și prestigiului internațional de care se bucură sunt garanția succesului acțiunilor propuse. Acestor propuneri de dezvoltare aflate la îndemâna autorului, la care se adaugă și susținerea colectivului FIL, li se conferă o probabilitate foarte ridicată de realizare și, astfel se mai adaugă o alternativă la dezvoltarea susținută și stabilă a Facultății de Ingineria Lemnului din Brașov, instituție de învățământ superior cu o tradiție de peste 55 ani, aproape 7.500 de absolvenți și un profil de pregătire unic în țară.

(B-iii) BIBLIOGRAFIE

- Aigner, T.; Joscak, T.; BARBU, M.C.; Aigner, M.; Schrenk, M. (2009) : Bessere Keilzinkensöße für Brettsperrholz – Prototypanlage zur industriellen Fertigung eines optisch ansprechenden Generalkeilzinkenstoßes ohne Festigkeitsverlust. Holz Zentralblatt 48, pp.1219-1220
- Akrami, A. (2014): Development and Characterization of Oriented Strand Boards made from the European Hardwood Species. Dissertation, Universität Hamburg
- Akrami, A.; BARBU, M.C.; Frühwald, A. (2014a): Characterization of properties of oriented strand boards from beech and poplar. European Journal of Wood and Wood Products 72(3), pp. 393-398
- Akrami, A.; BARBU, M.C.; Frühwald, A. (2014b): The effect of fine strands in core layer on physical and mechanical properties of oriented strand boards (OSB) made of beech (*Fagus sylvatica*) and poplar (*Populus tremula*). European Journal of Wood and Wood Products, 72(3), pp. 521-525
- Akrami, A.; Frühwald, A.; BARBU, M.C. (2014c): Supplementing pine with European beech and poplar in oriented strand boards. Wood Material Science and Engineering 10(4), pp. 1-6
- Ashby, M. (1999): Materials Selection in Mechanical Design. Elsevier, Oxford
- Barbu, G.; Tău, E.; Rebedea, C. (1984): Transportul, manipularea și depozitarea produselor din lemn. Editura Tehnică, București
- BARBU, M.C.; Tröger, F. (1995a): Flax fiber reinforced particleboard. Plastic-woodfibre composites. International Conference, Madison, Poster
- BARBU, M.C.; Tröger, F. (1995b): Flaxfiber reinforced particleboards. Proceeding of the 10th Symposium - Wood Modification, Poznan, pp.137-148
- BARBU, M.C.; Tröger, F. (1995c): Flax fiber reinforcement of particleboard. The IUFRO 20th - World Congress, Tampere, Finland, 6-12 August. Proceeding ISBN 951-40-1451-0, pp.377
- BARBU, M.C.; Tröger, F. (1995d): Flax fiber reinforced particleboard. Proceeding of the 12th Symposium on Adhesives in Woodworking Industry, Zvolen, pp.57-60
- BARBU, M.C. (1995): Structuri compozite optimizate din lemn și alte materiale. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania Brașov
- BARBU, M.C.; Resch, H. (1996): MDF-Lightboards Made in Austria. Proceedings of 30th International Particleboard/Composite Materials Symposium, Pullman, pp.258-259
- BARBU, M.C.; Tröger, F. (1996a): Comparison between the performances of composite structures made on Miscanthus and European hard- and softwood chips reinforced with mineral and vegetal fiber. Proceedings of Tropical Forestry in the 21st Century (FORTROP'96), Bangkok, Vol.8, pp.113-124
- BARBU, M.C.; Tröger, F. (1996b): Comparison between the performances of composite structures made on Miscanthus and European hard- and softwood chips reinforced with mineral and vegetal fiber. Proceeding of The 3rd Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, Kyoto, pp.292-300
- BARBU, M.C. (1997): Optimierung des Material- und Maschineneinsatzes bei der Produktion von MDF-Leichtplatten. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien
- BARBU, M.C. (1999): Materiale compozite din lemn. Editura LuxLibris Brașov, ISBN 973-9240-80-1 (313 p.)
- BARBU, M.C.; D. Hoepner et al. (2001): Continuous Press With Cooling Section for MDF Production. Panelboard Highlights. Metso Panelboard Customer Magazine 2, pp. 26-31
- BARBU, M.C.; Martin, C.; Hoepner, D.; Bluthardt, G.; Beck, P. Lerach, K.; Kaiser, U. (2002): European Experiences with In-Press Cooling and Continuous Pressing of MDF. Proceeding of 36th International Wood Composite Materials Symposium, Pullman, pp. 109-116
- BARBU, M.C. (2002): MDF - plăci din fibre de lemn. Bazele producției. Editura Universității "Transilvania" din Brașov. ISBN 973-635-027-4 (240 p.)
- BARBU, M.C.; Resch, H.; Weninger, W. (2003): Wood-fibre semi-finished product and method for producing the same. European Patent EP20031185587 B1/19.02.2003
- BARBU, M.C.; Aigner, T.; Schrenk, M.; Michanickl, A (2004a): Spanloses Schneiden vom Holz. Teil 1: Grundlagen und aktuelle Entwicklungen – Anwendungsmöglichkeiten von der Furnier- bis zur Lamellenerzeugung. Holz-Zentralblatt 4, pp. 63-64.
- BARBU, M.C.; Aigner, T.; Schrenk, M.; Michanickl, A. (2004b): Spanloses Schneiden vom Holz. Teil 2: Grundlagen und aktuelle Entwicklungen – Anwendungsmöglichkeiten von der Furnier- bis zur Lamellenerzeugung. Holz-Zentralblatt 9, pp. 126-127.

- BARBU, M.C.; Höfelmaier, F.; Aigner, T.; Schrenk, M. (2004c): Spanloses Schneiden vom Holz. Teil 3: Faserabweichungen, Drehwuchs und Astigkeit haben beim spanlosen Schneiden erheblichen Einfluss auf die Oberflächenqualität. Holz-Zentralblatt 62, pp. 822.
- BARBU, M.C.; Lerach, K.; Pölzleitner, F. (2005): Integration der Mattenvorwärmung und Rückkühlung bei der MDF-Produktion. Holztechnologie 46(1), pp.40-44
- BARBU, M.C. (2005): The forest economy at the beginning of a new millennium. Part 1: Forestry sector and primary wood processing. ProLigno 1, pp.11-19
- BARBU, M.C.; Schrenk, M.; Aigner, T.; Resch, F.; Joscak, T. (2008): Dünnschnittbandsäge – Technologie für Lamellen. Holz-Zentralblatt 16, pp.438-439
- BARBU, M.C.; Schmidt, T. (2009): Pulverbeschichtung von MDF – Entwicklung einer umweltfreundlichen Technologie. HolzTechnologie 50(1), pp.32-37
- BARBU, M.C.; Glowacki, R.; Van Wijck, J. (2010a) : The use of coconut husk in the HPL production. The IUFRO XXIII - World Congress, Seoul. The International Forestry Review Vol.12(5), pp.274
- BARBU M.C.; Lüdtke, J.; Thömen, H.; Welling, J. (2010b): New technology for the continuous production of wood-based lightweight panels. Proceeding of the Joint Session of the UNECE Timber Committee and Society of Wood Science and Technology International Convention, Geneve, Paper IW-1
- BARBU, M.C.; Steinwender, M.; Richter, C. (2010c): Wood ashes sources, environment impact and treatments in the European wood based panels industry. Proceeding of “Recycling of Biomass Ashes”, Innsbruck, pp.16.
- BARBU, M.C.; Glowacki, R.; Hasemann, D.; Oran, B. (2011): The use of coconut palm in the production of composite panels. Proceeding of 8th ICWSE, Braşov, pp.309-316
- Barbu, M.C. (2011): Current developments in the forestry and wood industry. ProLigno 7(4), pp.111-124
- BARBU, M.C.; Lüdtke, J.; Thömen, H. Welling, J. (2012): Lightweight wood-based board and process for producing it. Intellectual Property Office of New Zealand NZ578195/28.02.2012
- BARBU, M.C.; Irle, M.; Reh, R. (2014a): Wood-based Composites, Chapter 1 in: Aguiera, A.; Davim, J. P.(eds.): Research Developments in Wood Engineering and Technology. IGI Global, Hershey, pp.1-45
- BARBU, M.C.; Hasener, J.; Bernardy, G. (2014b): Modern Testing of Wood-based Panels, Process Control and Modeling, Chapter 3 in: Aguiera, A.; Davim, J. P.(eds.): Research Developments in Wood Engineering and Technology. IGI Global, Hershey, pp.90-130
- BARBU, M.C.; Reh, R.; Cavdar, A. (2014c): Non-Wood Lignocellulosic Composites, Chapter 8 in: Aguiera, A.; Davim, J. P.(eds.): Research Developments in Wood Engineering and Technology. IGI Global, Hershey, pp.281-319
- BARBU, M.C.; Paulitsch, M. (2014d): World market development of wood-based products. Proceeding of 3rd International Conference on Processing Technologies for the Forest and biobased Products Industries (PTFBPI), Kuchl, (keynote), pp.36-41
- BARBU, M.C. (2015a): Evolution of Lightweight Wood Composites. Proceeding of 10th ICWSE, Braşov (keynote), pp.21-26
- BARBU, M.C. (2015b): An overview of the forestry and wood industry development worldwide. Proceeding of the ICWST at Ambienta Fair, Zagreb (Keynote), pp.39-48
- BARBU, M.C.; Paulitsch, M. (2015): Development of wood-based products worldwide. Proceeding of 10th ICWSE, Braşov, pp.98-103
- Berger, J. (2015): Lightweight construction element, manufacturing method therefor, use of same, and lightweight panel and insulating material. Patent EP057277
- Berger, G.; BARBU, M.C.; Huber, H.; Berger, J.; Schwarzmann, G. (2016): Applying biomimicry in lightweight wood panel development. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE), Vienna, MS1-04B:3
- Blinzer, J.; Gütler, H.; Moser, J.; Tremel, E. (2014): Holzlehrbuch. Walser Verlag, Wien
- Bodig, J.; Jayne, B.A. (1982): Mechanics of wood and wood composites. Van Nostradam Reinhold Company Publisher, New York
- Boehme, C. (1993): Orientierende Untersuchungen über Verwendung von Sonnenblumenschalen zur Herstellung von Platten. Holz Roh-Werkstoff 51, pp.319-323
- Boldwin, R. (1981): Plywood Manufacturing Practices. Backbeat Books, London
- Bradford, J.A. (2011): Method of making multilayer product having honeycomb core. Patent US8303744

- Bularca, M. (1996): Fabricarea plăcilor din aşchii şi fibre de lemn - Tehnologii moderne. Editura Tehnică, Bucureşti
- Câmpean, M.; Marinescu I. (2012): Tratamente termice ale lemnului. Uscarea cherestelei. Editura Universităţii Transilvania din Braşov
- Coşereanu, C. (2015): Compozite din deşeuri agricole şi industriale reciclate. Teza de abilitare, Universitatea Transilvania din Braşov
- Davies, J.M. (2001): Lightweight sandwich construction. Blackwell Science, Oxford
- Delbeck, L.; Ullrich, T.; BARBU, M.C.; Felber, G.; Richter, C. (2015): Light weight cross laminated massive wood panels. Proceeding of the FPS International Convention, Atlanta
- Delbeck, L. (2015): 3-Schicht Massivholzplatten in Leichtbauweise. Master thesis - Salzburg University of Applied Sciences
- Deppe, H.J.; Knoll, K.H. (1984): Herstellung MDF aus Altpapier und Füllfasermaterial. Holz-Zentralblatt 110, pp.20, 28, 47-48, 277-278, 409-411, 718-719
- Deppe, H.J.; ERNST, K. (1996): MDF-Technologie. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Deppe, H.J.; Ernst, K. (2000): Taschenbuch der Spanplattentechnik. DRW- Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Dix, B.; Meinlschmidt, P.; Van de Flierdt, A.; Thole, V. (2009a): Leichte Spanplatten für den Möbelbau aus Rückständen der andwirtschaftlichen Production. Teil 1: Verfügbarkeit der Rohstoffe. Holztechnologie, 50(2), pp.5–10
- Dix, B.; Meinlschmidt, P.; Van de Flierdt, A.; Thole, V. (2009b): Leichte Spanplatten für den Möbelbau aus Rückständen der andwirtschaftlichen Production. Teil 2: Eigenschaften der Rohstoffe. Holztechnologie, 50(3), pp.5–10
- Dix, B.; Meinlschmidt, P.; Van de Flierdt, A.; Thole, V. (2009c): Leichte Spanplatten für den Möbelbau aus Rückständen der andwirtschaftlichen Production. Teil 3: Mechanische und physikalische Eigenschaften der Spanplatten. Holztechnologie, 50(5), pp.5–10
- Dix, B.; Meinlschmidt, P.; Van de Flierdt, A.; Thole, V. (2009d): Leichte Spanplatten für den Möbelbau aus Rückständen der andwirtschaftlichen Production. Teil 4: Herstellung und Prüfung von Wohn- und Küchenhängeschränken. Holztechnologie, 50(6), pp.30–35
- Domier, K.W. (1995): Manufacture of MDF from wheat straw. Alberta Research Council, Forest. Dept.
- Dunky, M.; Niemz, P. (2002): Holzwerkstoffe und Leime: Technologie und Einflussfaktoren. Springer, Berlin-Heidelberg
- Einspahr, D. W.; Harder, M. (1975): Hardwood bark properties important to the manufacture of fiber products. Institute of paper chemistry, Appleton
- Ene, N.; Tătar, C. (2008): Ingineria cherestelei. Editura Lux Libris, Braşov
- Fengel, D.; Wegener, G. (2003): Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter
- Filipovici, J. (1964): Studiul lemnului. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti
- Frühwald, A.; Peek, R. D.; Schulte, M. (1992): Nutzung von Kokospalmenholz. Studie im Auftrag der GTZ und des Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- Frühwald, A.; Lüdtke, J.; BARBU, M.C.; Thömen, H.; Welling, J. (2009): The trend towards lightness: The wood-based panel sector and a new type of lightweight panel. Proceeding of the 7th ICWSE, Braşov, pp.263-269
- Ghelmeziu, N. (1957): Indentificarea lemnului. Editura Tehnică, Bucureşti
- Glowacki, R.; BARBU, M.C., Wijck van, J. Chaowana, P. (2012): The use of coconut husk in high pressure laminate production. FRIM, Journal of Tropical Forest Sciences No. 24 (1), pp.27-36
- Godet, J. (1998): Pflanzenführer einheimischer Bäume und Sträucher. Arboris – Bertelsmann
- Hague, J.; Loxton, C. a.o. (1997): Assessment of the suitability of agro-based materials for panel products. Proceedings of The 1st European Panel Products Symposium, Bangor, pp.136-144
- Hale, D.K. (1976): The physical properties of composite materials. Journal of Materials Science, 11:105–112:141
- Han, G. (2012): Wood-based panels in China. Proceeding of the 21st Workshop of Wood Based Panels (BioComp), Shizuoka
- Hasemann, D. (2011): Untersuchungen für die Anwendung von Kokosnußholz für die Herstellung von 3schichtigen Massivholzplatten für Aussenanwendung. Diplomarbeit, Universität Hamburg

- Hashim, R.; Sarmin, S.; Sulaiman, O.; Yusof, L. (2011): Effect of cold setting adhesives on properties of laminated veneer lumber from oil palm trunks in comparison with rubberwood. *EJWP* 69, pp.53-61
- Heinzmann, B. (2012): Untersuchungen zur Steigerung der Wertschöpfung von Rinde durch Verpressen zu Palettenklötzen. Master thesis, Salzburg University of Applied Sciences
- Heinzmann, B.; BARBU, M.C. (2013): Untersuchungen zur Steigerung der Wertschöpfung von Rinde durch Verpressen zu Palettenklötzen. *Holztechnologie* 54(5), pp.25-32
- Heinzmann, B.; BARBU, M.C. (2015): Bark based pallet blocks. *Proceeding of 14th FAO World Forestry Congress, Durban*
- Heller, W. (1980): Die Herstellung von Spanplatten aus unkonventionellen Rohstoffen. *Holz Roh-Werkstoffe* 38, pp.393-396
- Hengniran, P. (2010): Future potential of forest and agricultural residues for the energy production in Thailand - Strategies for a better utilization. Dissertation, Universität Hamburg
- Hesch, R. (1993): Reproduzierbare Rohstoffe für die Holzwerkstoffherstellung. *Holz-Zentralblatt* 7, pp.10
- Hidalgo Lopez, O. (2003): Bamboo: The gift of the gods. D'Vinni Ltda, Bogotá
- Hill, C. (2006): Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. JohnWiley & Sons, Chichester
- Hora, G.; Thole, V. (2007): Processing and manufacturing of MDF from varying residual substances of EFB, fronds and trunks of oil palm. *Proceedings of the International Palm Oil Congress: Empowering Change, Kuala Lumpur*, pp.188-197
- Irlle, M.; BARBU, M.C. (2010): Wood-based Panel Technology, Chapter 1 in: Thömen, H. Irlle, M.; Sernek, M. (eds.): *Wood based Panels – An Introduction for Specialists*". Brunel University Press, London, ISBN 978-1-902316-82-6, pp.1-94
- Irlle, M.; BARBU, M.C.; Reh, R.; Bergland, L.; Rowell, R.M. (2013): Wood Composite, Chapter 10 in: Rowell, R.M. (ed.): *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton
- Istrate, V. (1983): Tehnologia fabricării produselor aglomerate din lemn. Editura Didactică și Pedagogică, București
- Joscak, T; Teischinger, A; Muller, U; Mauritz, R. (2006): Production and material performance of long-strand wood composites – Review. *Wood Res.* 51(3), pp.37-49
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer H. (2009): *Energie aus Biomasse*. Springer, Berlin
- Kain, G.; BARBU, M.C.; Teischinger, A.; Musso, M.; Petutschnigg, A. (2012): Substantial bark use as insulation material. *Forest Products Journal* 62 (6), pp.480-487
- Kain, G.; BARBU, M.C.; Heinzmann, B.; Petutschnigg, A. (2012): The use of bark for wood based panels. *Proceeding of 11th Pacific RIM bio-based Composites Symposium (Biocomp), Shizuoka*, pp.66-74
- Kain, G. ; BARBU, M.C.; Hinterreiter, S.; Richter, K.; Petutschnigg, A. (2013): Using bark as heat insulation material. *BioResources* 8(3), pp.3718-3731
- Kain, G.; Heinzmann, B.; BARBU, M.C.; Petutschnigg, A. (2013): Softwood bark for modern composites. *ProLigno* 9(4), pp.460-468
- Kain, G. (2013): Dämmstoffe aus Baumrinden/Stoffliche Rindennutzung in Form von Dämmstoffen. Akademiker Verlag, Saarbrücken
- Kain, G.; Barbu, M.C.; Petutschnigg, A. (2013): Dämmplatten aus Baumrinden. Österreichische Patentanmeldung AT512707A1/15.10.2013
- Kain, G.; Güttler, V.; BARBU, M.C.; Petutschnigg, A.; Richter, K.; Tondi, G. (2014): Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(4), pp.417-424
- Kain, G.; Charwat-Pessler, J.; BARBU, M.C.; Plank, B., Richter, K.; Petutschnigg, A. (2015): Analyzing wood bark insulation board structure using X-ray computed tomography and modeling its thermal conductivity by means of finite difference method. *Journal of Composite Materials*, 0(0), pp.1-12
- Kain, G.; Güttler, V.; Lienbacher, B.; BARBU, M.C.; Petutschnigg, A. Richter, K.; Tondi, G. (2015): Effect of different flavonoid extracts in the optimization of tannin-glued bark insulation boards. *Wood and Fiber Science* 47(3), pp.1-12
- Kain, G.; Lienbacher, B.; BARBU, M.C.; Plank, B.; Richter, K.; Petutschnigg, A. (2016): Evaluation of relationships between particle orientation and thermal conductivity in bark insulation board by means of CT and discrete modeling. *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, Elsevier, 6(B), pp.21–29

- Kain, G. (2016): Design of Tree Bark Insulation Boards: Analysis of Material, Structure and Property Relationships. Dissertation, Technische Universität München
- Kandeel, S.A.; Abo-Hassan, A.A.; Shaheen, W.A. (1988): Properties of composite from palm tree biomass. Proceedings of 21 th International Particleboard/Composites Materials Symposium, Pullman, pp.534-537
- Karacabeyli, E.; Douglas, B. (ed.) (2013): CLT Handbook. FPS Innovation, Special Publication, Vancouver
- Kim, J.K.; Pal, K. (2010): Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites. Springer, Berlin
- Klauditz, W.; Ulbricht, H.J.; Kratz, W.; Buro, A. (1960): Herstellung und Eigenschaften von Holzspanwerkstoffen mit gerichter Festigkeit. Holz Roh-Werkst. 18 (10), pp.377-385
- Klimek, P. (2016): Bio-based composites from agricultural residues and other waste materials. Dissertation, Mendel University, Brno
- Klyosov, A.A. (2007): Wood-Plastic Composites. John Wiley & Sons, New Jersey
- Kollmann, F. (1982): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer Verlag, Berlin
- Krenn, S.; Huber, H.; BARBU, M.C.; Petutschnigg, A.; Schnabel, T. (2017): Dämmplatten aus ein- und mehrjährigen Pflanzen gebunden mit Tannin und anderen Klebstoffen. Holztechnologie (public. în curs)
- Kruse, K.; Frühwald, A. (2001): Eigenschaften von Nipa und Kokosfasern sowie Herstellung und Eigenschaften von Span- und MDF-Platten aus Nipa und Kokos. Arbeitsbericht, BFH Hamburg
- Lampert, H. (1966): Faserplatten. Rohstoffe, Herstellungsverfahren, Eigenschaften. VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- Liese, W. (1985): Bamboos-biology, silvics, properties, utilization. GTZ, Eschborn
- Liese, W.; Köhl, M. (2015): Bamboo - The plant and its uses. Springer; Berlin
- Link, C.; Kraft, R.; Kharazipour, A. (2013): Baumrinden als Alternativrohstoff zur Spanplattenherstellung. Holztechnologie 54(3), pp.21-26
- Link, M.; Kolbitsch, C.; Tondi, G.; Ebner, M.; Wieland, S.; Petutschnigg, A. (2011): Formaldehyde-free tannin based foams and their use as lightweight panels. Bioresources 6(4), pp.4218-4228
- Lobovikov, M.; Paudel, S.; Piazza, M.; Ren, H.; Wu, J. (2007): World bamboo resources – A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005: Non-wood Forest Products 18, FAO of the UN, Rome
- Lohman, U. (2012): Holz-Handbuch. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Lunguleasa, A.; Pescăruș, P. (2000): Studiul lemnului - Fizica și mecanica lemnului. Editura Universității Transilvania din Brașov
- Lunguleasa, A.; Ciobanu, V.; Costiuc, L. (2008): Ecological combustion of wooden biomass. Editura Universității Transilvania din Brașov
- Lunguleasa, A. (2009): Materiale compozite obținute din biomasă lemnoasă. Editura Universității Transilvania Brașov
- Lunguleasa, A. (2012): Compozite stratificate. Editura Universității Transilvania Brașov
- Lüdtke, J. (2011): Entwicklung und Evaluierung eines Konzepts für die kontinuierliche Herstellung von Leichtbauplatten mit polymerbasiertem Kern und Holzwerkstoffdecklagen. Dissertation, Univ. Hamburg
- Lüdtke, J.; Welling, J.; Thömen, H.; BARBU, M.C. (2008): Lightweight wood-based board and process for producing it. Candian Intellectual Property Office CA2672169A1/19.06.2008
- Lüdtke, J.; Thömen, H.; Welling, J.; BARBU, M.C. (2010): Lightweight wood-based board and process for producing it. US Patent Application Publication US2010/0098933A1/22.04.2010
- Lüdtke, J.; Welling, J.; Thömen, H.; BARBU, M.C. (2013): Lightweight wood-based board and process for producing it. Kementerian Hukum Dan Hak Asas Manusia IDP0033156/01.03.2013
- Malanit, P.; BARBU, M.C.; Liese, W.; Frühwald, A. (2008): Macroscopic aspects and physical properties of *Dendrocalamus asper Backer* for composite panels. Journal of Bamboo and Ratan 7(3&4), pp.151-163
- Malanit, P. (2009): The suitability of sweet bamboo (*Dendrocalamus asper Backer*) for structural composite lumber. Dissertation, Universität Hamburg
- Malanit, P.; BARBU, M.C.; Frühwald, A. (2009a): Mechanical properties of sweet bamboo (*Dendrocalamus asper Backer*). Journal of Bamboo and Ratan 8(3&4), pp.151-160
- Malanit, P.; BARBU, M.C.; Frühwald, A. (2009b): The gluability and bonding quality of an Asian bamboo (*Dendrocalamus asper Backer*) for the production of composite lumber. Journal of Tropical Forest Sciences 21 (4), pp.359-366

- Malanit, P.; Barbu, M.C.; Frühwald, A. (2010): Physical and Mechanical Properties of Oriented Strand Lumber (OSL) made from an Asian Bamboo (*Dendrocalamus asper Backer*). European Journal of Wood Products 69, pp.27-36
- Mantau, U.; Saal, U.; Prins, K.; Steierer, F. et al. (2010): Real potential for changes in growth and use of EU forests. EUwood – Final report, Hamburg.
- Marra, A.A. (1992): Technology of Wood Bonding. Principles in Practice. Van Nostrand Reinhold Publ., NY
- Marutzky, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen: Emissionsminderung, Konzepte und ausgeführte Anlagen. Springer, Düsseldorf
- Michanickl, A. (1996): Chemisch-technologische Untersuchungen zur Wiederverwertung von Holzwerkstoffen aus Möbelteilen und Produktionsrückständen der Holzwerkstoffindustrie zur Span- und Faserherstellung. Dissertation, Universität Hamburg
- Michanickl, A. (2006): Development of a new light wood-based panel. Proceeding of the 5th European Wood-Based Panel Symposium, Hannover
- Mieck, K.P. et al. (1993): Die Anwendungsmöglichkeiten von Naturfaserstoffen bei Verbundmaterial. Textil Symposium, Vortrags-Nr.311, pp.1-13
- Mihai, D. (1983): Materiale tehnologice pentru industria lemnului. Editura Tehnică, București
- Mitișor, A.; Istrate, V. (1983): Tehnologia furnirelor, placajelor și plăcilor din fibre de lemn. Editura Tehnică, București
- Mitișor, A.; Barbu, M.C.; Curtu, I. (1996): Mularea lemnului. Universitatea Transilvania din Brașov
- Mitișor, A.; Lunguleasa, A. (2002): Tehnologia plăcilor din așchii de lemn. Tipografia Universității Transilvania din Brașov
- Müller, U.; Berger, J. (2011): DendroLight - the innovative light weight solid wood panel. Presentation at Think Light Conference, Ligna Fair, Hannover
- Müller, U. (2012): Maisspindelplatte: Maize Cob Board (MCB) - Leichtbauwerkstoff aus landwirtschaftlichen Koppelprodukten. Publizierbarer Ergebnisbericht - Fabrik der Zukunft 819205
- Nagl, K.; Jäger, A.; Huber, H.; BARBU, M.C.; Petutschnigg, A.; Schnabel, T. (2015): Einsatz von ein- und mehrjährigen Pflanzenarten für Dämmmaterialien. Holztechnologie 56(5), pp.19-23
- Neuhäuser, E.A.; D'Amico, S. van Herwijnen, H.W.G.; Müller, U. (2014): Natürlich geschäumtes Leichtprodukt auf Holzbasis. Holztechnologie 55 (4), pp. 12-17
- Niemz, P. (1993): Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Oran, B. (2011): Cross Laminated Timber from Coconut Palm. Master thesis, University of Hamburg and Karadeniz Technical University, Trabzon
- PapierHolz Austria (2009): Holzübernahme-Richtlinien (<http://www.papierholz-austria.at/en/WeBuy/Biomass>)
- Paulitsch, M. (1989): Moderne Holzwerkstoffe. Grundlagen, Technologie, Anwendungen. Springer, Berlin
- Paulitsch, M.; BARBU, M.C. (2015): Holzwerkstoffe der Moderne. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Pecenka, R.; Fürll, C.; Gusovius, H.J. (2010): Economic production and processing of agricultural fibre plants for high quality applications in automotive, building and furniture industry. XVIIth CIGR, Quebec
- Pelz, S. (2002): Eigenschaften und Verwendung des Holzes der europäischen Lärche (*Larix decidua*) unter besonderer Berücksichtigung des Reaktionsholzes. Dissertation, Universität Freiburg
- Pereira, H. (2007): Cork: Biology, production and uses. Elsevier, Amsterdam (346 p.)
- Petrican, M.; Mitișor, A.; Curtu, I.; Păsărariu, A.; Fleșer, I. (1986): Produse multate din lemn. Editura Tehnică, București
- Pflug J.; Verpoest, I. (2004): Folded honeycomb structure consisting of corrugated paperboard and method and device for producing the same. Patent US6800351
- Petrovici, V.; Popa, V. (1997): Chimia și prelucrarea chimică a lemnului. Editura Lux Libris, Brașov
- Pizzi, A. (1994): Advanced wood adhesives technology. Taylor & Francis, London
- Popa, A.; Lugojanu, M. (1965): Utilajul și tehnologia fabricării cherestelei. Editura didactică și pedagogică, București
- Poppensieker, J.; Thömen, H. (2005): Wabenplatten für den Möbelbau. Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg
- Portenkirchner, K.; BARBU, M.C.; Stassen, O. (2003): Combined waste air and water treatment plant for the wood panel industry. Proceeding of 7th European Panel Products Symposium, Bangor, pp. 201-207
- Râmbu, I. (1980): Tehnologia prelucrării lemnului. Vol. 1 și 2. Editura Tehnică, București

- Reh, R. (2013): Plywood panels and decorative veneers. Technical University in Zvolen
- Rindler, A.; Solt, P.; BARBU, M.C. (2015): Comparison between HB and HDF made from waste leather. *Forest Products Journal* 65 (3/4), pp.39-47
- Roffael, E.; Dix, B. (1997): Waste paper as a substitute for thermo-mechanical pulp in MDF. *Proceedings of 31st International Particleboard/Composite Materials Symposium, Pullman*, pp.199
- Roll, H.; BARBU, M.C.; Beck, P.; Hoepner, D.; Kaiser, U.; Lerach, K. (2001): Continuous hot press with cooling section for MDF. *Proceeding of The 5h European Panel Products Symposium, Bangor*, pp. 61-72
- Rowell, R.M. (1995): A new generation of composite materials from agro-based fiber. *Proceedings of 3rd International Conference on Frontiers of Polymers and Advanced Materials, Kuala Lumpur*, pp.659-665
- Rowell, R.M. (ed.)(2013): *Handbook for Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press Taylor & Francis Group LLC, Boca Raton
- Sburlan, D.A. (1957): *Fabricarea cherestelei de rășinoase și foioase*. Editura Tehnică, București
- Schickhofer, G.; Bogensperger, T.; Moosbrugger T. (2010): *BSP Handbuch, Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz*. Verlag der TU Graz
- Schniewind, A.P.; Cahn, R.W.; Bever, M.B. (1989): *Wood and wood-based materials - Concise Encyclopedia*. Pergamon Pressplc., Headington Hill Hall, Oxford
- Schönborn, F.; Flach, M.; BARBU, M.C.; Feix, J. (2005): *Leistungsfähige Holz-Beton-Verbundkonstruktionen*. *Holz-Zentralblatt* 92, pp.1251/1254
- Seller, T. (1985): *Plywood and adhesive technology*. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton
- Shalbafan, A. (2013): *Investigation of foam materials to be used in lightweight wood-based composites*. Dissertation, Universität Hamburg
- Shalbafan, A.; Benthien, J.; Welling, J.; BARBU, M.C. (2013): Flat pressed wood plastic composites made of milled foam core particleboard residues. *European Journal for Wood Products* 71, pp.805–813
- Shmulsky, R.; Jones, D. (2011): *Forest Products and Wood Science - An Introduction*. Wiley-Blackwell, Chichester
- Soiné, H. (1995): *Holzwerkstoffen, Herstellung und Verarbeitung*. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Standfest, G.; Petutschnigg, A.; Dunky, M.; Zimmer, B. (2009): Rohdichtebestimmung von Holzwerkstoffen mittels Computertomographie. *European Journal of Wood and Wood Products* 67(1), pp.83–87
- Standfest, G.; Dunky, M.; Kranzer, S.; Plank, B.; Salaberger, D.; Petutschnigg, A. (2012): 3D pore size characterisation by means of image analysis and mathematical morphology: Oriented strand board and particleboard. *Holztechnologie* 53(5), pp.39–45
- Ștefănescu, F.; Neagu, G.; Mihai, A. (1996): *Materialele viitorului se fabrică azi – Materiale Compozite*. Editura Didactică și Pedagogică, București
- Steinwender, M.; BARBU, M.C. (2009): Environment Impact of the Wood based Panels Industry. *Proceeding of 7th ICWSE*, pp. 767-775
- Swiderski, J. (1960): Zur Technologie der Flachspanplattenerzeugung. *Holz Roh-Werkstoff* 18, pp.242-250
- Thömen, T.; Walther, T.; Wiegmann, A. (2008): 3D simulation of macroscopic heat and mass transfer properties from the microstructure of wood fibre networks. *Composites Science and Technology*, 68(3-4), pp.608–616
- Thömen, H. (2010): *Vom Holz zum Werkstoff - Grundlegende Untersuchungen zur Herstellung und Struktur von Holzwerkstoffen*. Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Biel
- Thömen, H.; Welling, J.; BARBU, M.C.; Lüdtke, J. (2013): *Lightweight wood-based board and process for producing it*. Commonwealth of Australia Patents Office 2007332593/05.12.2013
- Tichy, R. (1998): *Properties and Applications of Wood-Plastic Composites*. *Proceedings of World Conference on Timber Engineering*. Montreux, Vol.2, pp.616-623
- Timar, M.C. (1998): *Chemically modified wood for thermally formed composites*. Doctorate Thesis. Brunel University, Uxbridge
- Timar, M.C. (2003): *Ameliorarea lemnului*. Editura Universității Transilvania din Brașov
- Timar, M.C. (2006): *Wood adhesives*. Editura Universității Transilvania din Brașov
- Tobisch, S. (2012): *Mehrlagige Massivholzplatten: Innovative Werkstoffe mit hohem Leistungspotenzial*. Akademiker Verlag, Saarbrücken
- Tondi, G.; Blacher, S.; Léonard, A.; Pizzi, A.; Fierro, V.; Leban, J.M.; Celzard, A. (2009): X-ray microtomography studies of tannin-derived organic and carbon foams. *Microsc Microanal* 15(5), pp.384–394

- Tröger, F.; Seemann, C.; BARBU, M.C. (1994): Verstärkung von Miscanthus- und Holzspanplatten mit Flachsfasern. Holz Roh-Werkstoff 53, pp.268
- Tröger, F.; Wegener, G. (1997): Glass and carbon fibre fabrics, flax and Miscanthus as materials for reinforced particleboards. Proceedings of The 1st European Panel Products Symposium, Bangor, pp.113
- Tudor, E. (1996): Transportul particulelor lemnoase în curenți de aer. Editura Lux-Libris, Brașov
- Tudor, E. (2004): Instalații de transport în industria lemnului - Transportul mecanic. Editura Universității Transilvania din Brașov
- Tudor, E. (2014): Rinde als Korkersatz für Bodenbeläge. Master thesis, Salzburg Univ. of Applied Sciences
- Tudor, E.M.; BARBU, M.C.; Petutschnigg, A.; Réh, R. (2016): Thin wear layers of tree bark as a substitute for cork in flooring tiles. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), Paper MS1-04B, Vienna.
- Van Dam, J. (2004): Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin. Industrial Crops and Products 19, pp.207-216.
- Van Dam, J. (2006): Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 2: Coconut husk morphology, composition and properties. Industrial Crops and Products 24, pp.96-104.
- Vaucher, H. (1997): Baumrinden: Aussehen, Struktur, Funktion, Eigenschaft. Naturbuch-Verlag, Augsburg
- Wagenführ R.; Scheiber, C. (1985): Holzatlas, Fachbuchverlag, Leipzig (720 p.)
- Wagenführ, R. (1999): Anatomie des Holzes. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Wagenführ, A.; Scholz, F. (2012): Taschenbuch der Holztechnik. Hanser Verlag, München
- Wagner, K.; Schnabel, T.; BARBU, M.C.; Petutschnigg, A. (2015): Analysis of Selected Properties of Fibreboard Panels Manufactured from Wood and Leather Using the Near Infrared Spectroscopy. International Journal of Spectroscopy, ID 691796, 7 pag.
- Walker, J.C.F. (2006): Primary Wood Processing: Principles and Practice. Springer, Amsterdam
- Warnecke, C. (2008): Stoffliche Nutzung von Baumrinde. VDM Verlag, Saarbrücken
- Weissmann, G. (1985): Untersuchungen der Rindenextrakte von Lärchen. Holzforschung und Holzverwertung 37, pp.67-71
- Wiedemann, J. (2007): Leichtbau - Elemente und Konstruktion. Springer-Verlag, Berlin
- Wieland, S.; Grünwald, T.; Ostrowski, S.; Plank, B.; Standfest, G.; Mies B.; Petutschnigg, A. (2013): Assessment of mechanical properties of wood-leather panels and the differences in the panel structure by means of x-ray computed tomographie. Bioresources, 8(1), pp.818–832
- Wollenberg, R.; Warnecke, C. (2004): Neue Einsatzgebiete für Rinden durch Produktentwicklung. TU Bergakademie Freiberg
- Wolpers, S. (2015): Eignung von Dünnschichtplatten aus Baumrinde zur Verwendung als Fußbodenbelag. Master thesis, Salzburg University of Applied Sciences
- Youngquist, J.A., Krzysik, A.M.; English, B.W. a.o. (1996): Agricultural Fibres for Use in Buildings Components. Proceedings of „The use of recycled wood and paper in buildings applications“, pp.123-134
- Youngquist, J.A. (1999): Wood-based composites and panel products, in Wood handbook : wood as an engineering material. General technical report FPL, Madison
- Zehui, J. (2007): Bamboo and rattan in the world. China forestry publishing house, Beijing
- Zeleniuc, O. (2008): Timber technology. Part I: Log preparation and sawing. Editura Universității Transilvania din Brașov