



Universitatea
Transilvania
din Braşov

TEZĂ DE ABILITARE

Materiale lignocelulozice. Caracterizare, proprietăți și aplicații

Domeniul: Inginerie forestieră,

Comisia de ingineria resurselor vegetale și animale

Autor: FH-Prof. Dipl. Ing. Dipl. Ing. Eugenia Mariana Tudor, PhD

Universitatea Transilvania din Braşov

Salzburg University of Applied Sciences

BRAŞOV, 2024

CUPRINS

Mulțumiri.....	3
(A) Summary	4
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	7
(B-i) Realizări științifice și profesionale.....	7
Introducere	7
1. Compozite pe bază de coajă de conifere	9
1.1. Generalități.....	9
1.2. Elemente de morfologie	10
1.3. Coaja de conifere, materie primă pentru compozite lignocelulozice	15
1.3.1. Studiu comparativ al tehnologiilor de mărunțire a cojii de conifere.....	15
1.3.2. Proprietățile termofizice ale panourilor compozite pe bază de coajă de larice	23
1.3.3. Proprietățile acustice ale panourilor termoizolatoare pe bază de coajă de larice.....	33
1.3.4. Proprietățile compozitelor pe bază de ciment armate cu coajă de molid și larice	43
2. PAL pe bază de reziduuri din malț de bere	55
3. Adezivi alternativi pentru compozite din materiale ligno-celulozice	66
3.1. Tanin	66
Aplicații ale taninurilor.....	67
3.1.1. Influența adezivului pe bază de tanin asupra conținutului de formaldehidă al plăcilor decorative pe bază de coajă de larice.....	68
3.2. Cazeina.....	74
3.2.1. Aplicații ale adezivilor pe bază de cazeină	75
3.2.2. Adezivi pe bază de cazeină pentru înclierea furnirelor	77
3.2.3. Eficiența presării cu curenți de înaltă frecvență a lemnului laminat de molid încliat cu adezivi pe bază de cazeină.....	82
4. Proprietățile fizico-mecanice ale lemnului de <i>Paulownia</i> din plantații	93
4.1. Proprietățile fizice și mecanice ale lemnului de <i>Paulownia tomentosa x elongata</i> provenit din plantații din Spania, Bulgaria și Bulgaria	94
B-ii. Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei.....	106
B-iii Bibliografie.....	121

Mulțumiri

Parcursul meu profesional nu ar fi fost acesta dacă nu aş fi avut familia alături și profesori deosebit de competenți și devotați în formarea mea ca elevă, studentă și doctorandă. Voi începe cu profesoara mea de matematică de la Școala Generală nr. 10 din Brașov, Magdalena Catrina, care mi-a inspirat dragostea pentru o materie pe cât de abstractă, pe atât de frumoasă. Aprofundarea cunoștințelor de matematică a urmat la Liceul de matematică și fizică nr.1 din Brașov, unde mi-a fost profesor legendarul Petrea Crăcană. Gândirea structurată mi-am format-o de-a lungul celor patru ani cu ore de informatică ale profesorilor Costas Voyatzis și Grigore Bolocan. Tainele ingineriei au început să fie deslușite la Universitatea din Brașov datorită cursului de mecanică susținut de regretatul Prof. Dr. Ing. Virgil Olariu, profesor emerit care a fondat Catedra de Mecanică Fină din cadrul Facultății de Mecanică, cursului de fizică, al Prof. Dr.Fiz. Doru Ursuțiu, celui de Rezistența Materialelor, cu Prof. Dr. Ing. Gheorge Radu, celui de Termotehnică, cu Prof.Dr.Ing. Georghe Băcanu și Mecanica fluidelor, predat excepțional de Prof. Dr. Ing. Turzó Gábor. Cursul de Știința materialelor pe care îl predau acum la Universitatea de Științe Aplicate din Salzburg are ca fundament cursurile Prof. Dr. Ing. Cornel Șerban (Studiul metalelor) și Prof. Dr. Ing. Márkos Zoltán (Tehnologia materialelor). În cadrul specializării Automatizări și Roboți Industriali m-am format ca viitoare ingineră sub îndrumarea Prof. Dr. Ing. Luciana Cristea și Prof. Dr. Ing. Adrian Dumitriu. Noțiunile de metrologie pe care le stăpânesc i le datorez doamnei Prof. Dr. Ing. Constanța Roșca. Sub îndrumarea Prof. Dr. Ing. Mircea Neagoe am deprins utilizarea platformelor de e-learning, editarea cursurilor, a chestionarelor și a examenelor online.

La FH Salzburg am început pregătirea în domeniul tehnologiei și economiei lemnului, avându-i ca profesori pe FH-Prof. Univ.-Prof. Dr.-Ing.habil Dr. Marius-Cătălin Barbu, FH-Prof. Priv.-Doz. DI (FH) Dr. h.c.Alexander Petutschnigg, Bakk.rer.nat., MSc, FH-Prof. DI (FH) Dr.habil Thomas Schnabel, Hannelore Bernegger, MSc., DI Johann Blinzer, Prof. Dr. Timothy Young, Prof. Dr. Robert Smith și Prof. Dr. Rupert Wimmer.

Pentru sprijinul acordat în timpul școlii doctorale la Universitatea Tehnică din Zvolen doresc să le mulțumesc Prof. Dr. Roman Réh, regretatului Prof. Emeritus Dr. h. c. RNDr. Marián Babiak, PhD și doc. PaedDr. Ľuboš Krišťák, PhD.

Nu în ultimul rând le mulțumesc părinților mei, Prof. Dr. Ing. Eugeniu Alexandru Tudor și Prof. Eugenia Georgeta Tudor care m-au educat în spiritul iubirii de carte, m-au susținut și încurajat mereu. Sorei mele, Dr. medic primar Mihaela Georgeta Tudor îi sunt recunoscătoare pentru sprijinul, încurajarea constantă și proof reading pentru publicațiile mele. Băiatului meu Alexander îi mulțumesc pentru înțelegere.

(A) Summary

The habilitation thesis presents four areas of the author's research, started in 2018 after the preparation of her PhD thesis at the Technical University of Zvolen, Slovakia. The main focus of the research is the superior valorisation of wood, wood waste products and lignocellulosic materials in the current context of eco-design and circular economy.

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 four distinct topics that are the most important aspects of the author's research, conducted from 2018 to 2023. Chapter B-ii includes the evolution of professional experience, teaching and research, also the development plans of the activities in these areas.

The topics presented in this thesis are part of projects carried out at the Salzburg University of Applied Sciences (FH Salzburg), resulting from partnerships with international business and academia. The basic research was mainly carried out at FH Salzburg, in collaboration with Transilvania University of Brasov, Technical University of Zvolen (Slovakia), University of Biotechnology of Ljubljana (Slovenia), University of Forestry of Sofia (Bulgaria), University of Tennessee in Knoxville (USA), University of Zagreb (Croatia), Faculty of Forestry of Ukraine, Lvov, University of Agriculture of Nitra (Slovakia) and National Forestry Centre of Slovakia. In this way were generated datasets on the characterisation of lignocellulosic materials and their integration into the bioeconomy as value-added products and efficient reuse.

The research topics presented in the habilitation thesis are in the areas of engineering and cascading use of wood, circular economy and bioeconomy.

The first chapter includes paradigms for the higher value valorisation of bark-based biomass, a broad theme that has branched out into studies of the various properties and uses of this material.

The first theme (Tudor et al. 2020d) deals with industrial-scale shredding systems for spruce, larch and pine bark; the results were published in the Journal of Cleaner Production (IF=9,927 in 2020). The aim of this research was to determine the most suitable industrial equipment to efficiently shred bark in order to generate particles that in turn serve as feedstock for composite products used for thermal, acoustic insulation (Kristak et al. 2021), decorative tiles, wear layers for flooring (Tudor et al. 2018) or fire-resistant cement-based bioaggregates (Urstöger et al. 2021).

The second and third themes concern the thermophysical and acoustic properties of larch bark composites in which the particles are oriented parallel and perpendicular to the panel plane. The results of the study (Kristak et al. 2021), published in Polymers (IF=4.967, in 2021) showed the

significant influence of density, size and orientation of the bark particles on the thermal conductivity of the materials. This topic is the subject of the article (Tudor et al. 2021), published in *Polymers*.

The fourth theme addresses to what extent spruce bark and larch bioaggregates are suitable for the manufacture of low-density cement-based composites by determining the compatibility between materials (analysing hydration behaviour) and testing compressive strength. The results of the study (Ursöger et al., 2021) were published in *Polymers* (IF=4.967, in 2021).

In the second chapter, an example from the bioeconomy is presented on the valorisation of malt residues from breweries into particleboards and the analysis of the physical, mechanical and structural properties of these materials. The paper (Barbu et al. 2021) was published in *Polymers* (IF=4,967 in 2021).

The third chapter deals with alternative tannin and casein-based adhesives. The results of the first study (Tudor et al. 2020a), published in the *International Journal of Environmental Research and Public Health* (IF=3.39), demonstrate the importance of using sustainable resources (tannin adhesives) in the manufacture of products with a small environmental footprint, aiming for zero net emissions. The use of a protein-based adhesive, namely casein, is the second theme in this chapter, that presents the results of the study concerning glue-laminated timber glued with casein adhesives and pressed with high-frequency equipment. The results of this study (Herzog et al. 2021) were published in *Polymers* (IF=4,967).

The fourth chapter deals with a fast-growing tree from China, naturalised in Europe, namely Paulownia. The physico-mechanical properties of wood from plantations in Spain, Serbia and Bulgaria have been published by (Barbu et al. 2022) in the journal *Forests* (IF=3.282 in 2022). Paulownia wood has a high potential for applications where low material density is required, in modelling and for thermal insulation.

Chapter B-ii presents the progress and career development plans from the professional, scientific and academic point of view. The scientific works coordinated by the author during her activity and the lectures held at Salzburg University of Applied Sciences are listed. Research experience is reflected by the number and type of international projects and publications in which the habilitation candidate was established as a manager, first author, corresponding author or co-author.

Career development plans are focused on maintaining and developing agreements with universities in Europe, Asia and North America, with the main focus that stresses the collaboration between Faculty of Furniture Design and Wood Engineering and Salzburg University of Applied Sciences.

The use of online platforms as MOODLE and MsTeams for the learning environment, communication, evaluation, pools and tests is also one objective that can be successfully integrated in

proiect management for research activities conducted between Romania and Austria. This will lead to the optimization of supervising doctoral theses by facilitating remote communication between tutor/coordinator and student/doctoral candidate. In this way, the supervision of scientific research can be discussed, improved and closely monitored. Project meetings can take place remotely, which saves time and other resources.

(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

(B-i) Realizări științifice și profesionale

Introducere

Lemnul este folosit de omenire încă de acum 10.000 de ani. Dintre cele 160.000 materiale disponibile în zilele noastre, lemnul rămâne unul dintre cele mai importante dintre acestea, cu o gamă largă de aplicații, de la domeniul nano la domeniul macro, de la biomasă, producția de celuloză și hârtie, mobilier, până la produse structurale de înaltă performanță utilizate în construcții.

Lemnul este considerat o resursă regenerabilă. Totuși, un arbore are nevoie de mai mult de patru decenii pentru a ajunge la diametrul de recoltare, deși are o durată de viață de două secole sau chiar mai mult (Pretzsch, 2009). Analizând ecodinamica ecosistemelor, (Bradshaw & Sykes 2014) au arătat că pădurile acopereau în trecut peste 80 % din suprafața Europei. Creșterea populației lumii (8 miliarde de locuitori în 2023 (Worldometer 2023)), dezvoltarea economică și exploatarea multiplă a pădurilor au dus la defrișarea unor suprafețe mari. Potrivit lui (Wallerstein 2011), jumătate din pădurile Europei au dispărut în urmă cu 200 de ani. Cererea pentru produse din lemn este în creștere, iar producția acestuia nu poate fi îmbunătățită decât într-o anumită măsură.

Punerea în aplicare a politicilor operaționale pentru protecția pădurilor este o preocupare contemporană principală. Certificarea managementului forestier este un proces prin care, în urma unui audit, o organizație independentă confirmă faptul că o anumită suprafață forestieră este gospodărită în conformitate cu un standard agreat. În accepțiunea generală, termenul cel mai folosit în definirea certificării managementului forestier este cel de „certificarea pădurilor”. Obținerea certificatului dă dreptul firmei de a vinde lemn din surse sustenabile și, astfel, posibilitatea de a accesa noi piețe de desfacere. Certificarea resursei lemnoase se realizează prin intermediul programului de atestare a sistemelor de certificare forestieră (PEFC) sau al managementului forestier responsabil în pădurile din întreaga lume (FSC). Prin intermediul acestor sisteme, care impun respectarea anumitor principii de gestionare a resurselor forestiere, se poate verifica originea materiei prime procesate în industria lemnului. Certificarea managementului forestier este continuată prin așa numita certificare a lanțului de custodie (Chain of Custody), prin care se urmărește elaborarea mecanismelor de urmărire a produselor lemnoase care provin din pădurile certificate, de la sursă până la consumator sau cumpărătorul final. Se are în vedere astfel ca întregul traseu al lemnului certificat să poată fi identificat și documentat, pentru se putea demonstra în orice moment proveniența lemnului (ForestEcoCertification, 2018).

Certificarea forestieră nu înseamnă lemn de calitate superioară față de cel necertificat, ci este reflectată în calitatea managementului forestier aplicat în pădurile respective și a sustenabilității materiei prime. Exploatarea lemnului și infraționalitatea forestieră sunt încă probleme stringente, în special în Europa de Est, unde s-au menținut capacități de producție supradimensionate infrastructurii forestiere și logistice existente (Jonsson 2010), (Paulitsch & Barbu 2015).

Eficiența utilizării resurselor este tot mai atent monitorizată la scară globală. Din acest motiv, aspectele ecologice ale utilizării lemnului de foc pentru încălzire sau ca material secundar în cadrul unor faze de reciclare în cascadă cu valoare succesiv mai mică sunt analizate în cadrul evaluărilor ciclului de viață al produselor (LCA) (Jonsson 2010). Uniunea Europeană va limita, după câteva decenii de pasivitate, aspru criticate de industrie și ONG-uri, arderea lemnului de calitate ridicată (Mair & Stern 2017). Arderea lemnului este responsabilă de cel puțin jumătate din cantitatea de microparticulele poluante (PM_{2,5}) din Europa, fiind considerată principala sursă de poluare.

În acest context, în care resursele forestiere sunt în declin (în sensul neacoperirii zonale a consumurilor industriei și populației), iar costul materiilor prime pe bază de lemn este în continuă creștere, valorificarea surselor netradiționale de materii prime a devenit din ce în ce mai importantă pentru industria compozitelor, în special sub formă de plăci, pe bază de materiale lignocelulozice.

1. Compozite pe bază de coajă de conifere

Această secțiune a tezei de abilitare este dedicată utilizării superioare a unui produs secundar al industriei lemnului, și anume coaja, precum și unei serii de compozite pe bază de coajă, cu diverse utilizări. Astfel, vor fi prezentate aici tehnologii de mărunțire a scoarței, panouri din coajă decorative cu emisii reduse de formaldehidă, panouri izolatoare (termice și acustice) și panouri cu rezistență crescută la foc. În introducerea capitoului sunt incluse procesele de prelucrare a cojii, ca materie primă pentru o serie de compozite cu proprietăți predefinite.

1.1. Generalități

Coaja reprezintă un volum considerabil dintr-un buștean, cu o pondere între 9 și 24%, în funcție de specia lemnoasă și de diametru. La nivel mondial, se recoltează anual aproximativ $3,6 \times 10^9$ m³ de lemn (Paszatory et al. 2016); până la 60 % din această cantitate fiind utilizată ca lemn de foc (Özgenç, Durmaz & Kuştaş 2017). Considerând un conținut mediu de coajă de 10 %, anual se generează în jur de $150-180 \times 10^6$ m³ de scoarță ca produs secundar rezultat din decojirea buștenilor destinați prelucrării (Kindermann et al. 2008).

Doar o mică parte din coajă este utilizată pentru producerea energiei termice în special în noua generație de centrale termice pe bază de biomasă (uzual până la 5 MW pentru termoficare și până la 30 MW pentru cogenerare de agent termic-electric în fabricile europene de plăci de lemn). În plus, agențiile de mediu impun reglementări mai stricte în ceea ce privește depozitele de deșeuri și arderea în instalații necorespunzătoare (temperaturi scăzute și fără filtre pentru aer uzat) unor cantități mari de coajă în Europa. Aspectele legate de mediu și de eliminarea deșeurilor create de acumularea unor volume considerabile de coajă în industria forestieră îndeosebi în afara Europei și aprovizionarea slabă sau insuficientă cu resurse lemnoase obligă industria să ia serios în considerare toate utilizările posibile ale scoarței ca materie primă (Xing et al. 2006b). Deși producătorii de hârtie consideră coaja, sub orice formă, o componentă nedorită la obținerea celulozei, ar putea fi utilizată complet sau într-o anumită proporție exact definită ca materie primă pentru fabricarea unor materiale compozite de tip placă pe bază de lemn.

Timp de peste șase decenii, diverse produse din coajă au fost utilizate pentru: plăci izolatoare pentru construcții (Paszatory et al. 2016), peleți (Wollenberg & Warnecke 2004), straturi de uzură pentru podele (Tudor et al. 2018), plăci aglomerate (Einspahr & Harder 1976); (Blanchet, Cloutier & Riedl 2000a), plăci din așchii de lemn (Kamke 2004), MDF (Xing et al. 2006a), (Xing, Deng & Zhang 2007), plăci rezistente la foc (Tudor et al. 2020c; Urstöger et al. 2021; Pacher et al. 2022) sau panouri decorative (Tudor et al. 2020a) (Figura 1.1.1).

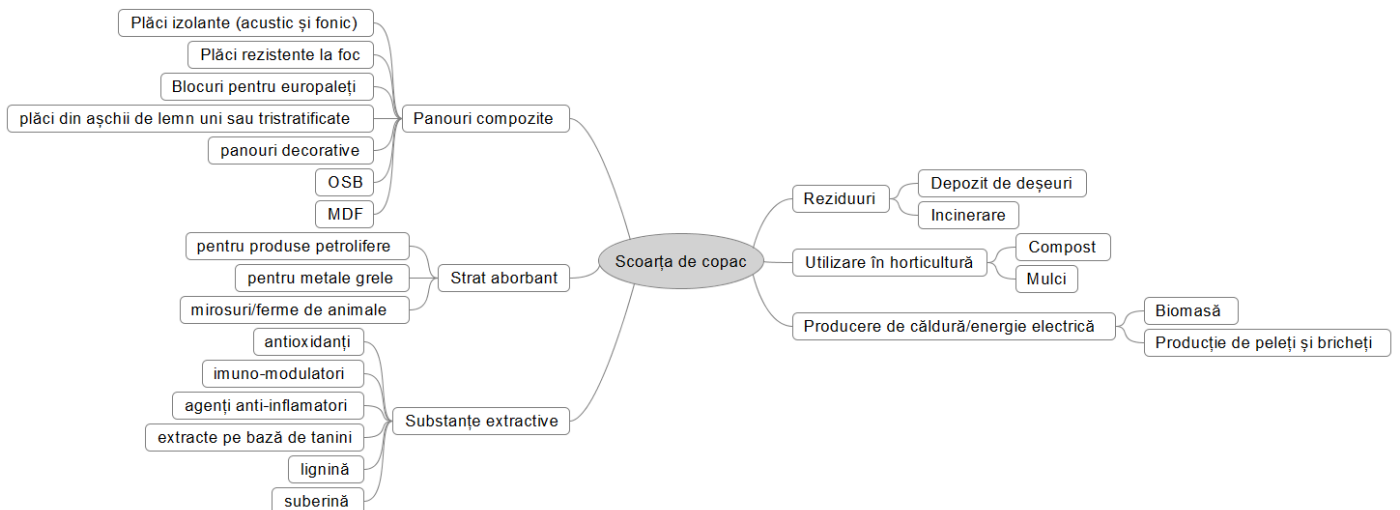


Figura 1.1.1: Modalități de valorificare superioară a scoarței de copac

1.2. Elemente de morfologie

Prin selecție naturală, copacii, cele mai longevive și mai mari organisme de pe planeta noastră, au evoluat pentru a compensa lipsa de mișcare prin dezvoltarea unui strat exterior rezistent, adesea aspru, denumit coajă sau scoarță. Pentru a păstra corectitudinea științifică, ceea ce se vede la exterior este doar porțiunea moartă a scoarței exterioare, având denumirea botanică ritidom. Coaja exterioară este compusă în cea mai mare parte dintr-un țesut mort, bogat în grăsimi și suberină, în timp ce scoarța interioară este compusă în cea mai mare parte din celule vii denumite floem, un sistem remarcabil care funcționează în principal pentru stocarea și transportul carbohidraților (Morris & Jansen 2016).

Coaja asigură protecția arborelui, acționând ca o barieră împotriva factorilor de mediu (temperatură, radiație UV, ploaie, grindină, lovituri) protejând astfel sistemul intern al arborelui și permițând continuarea funcționării optime (Figura 1.2.1). S-a demonstrat că, în regiunile cu incendii forestiere frecvente, copacii dezvoltă o coajă mai groasă (Pellegrini et al. 2017). În plus, scoarța este o barieră fizico-chimică împotriva animalelor (insecte, păsări, mamifere), paraziților, ciupercilor și bacteriilor (Wollenberg & Warnecke 2004).

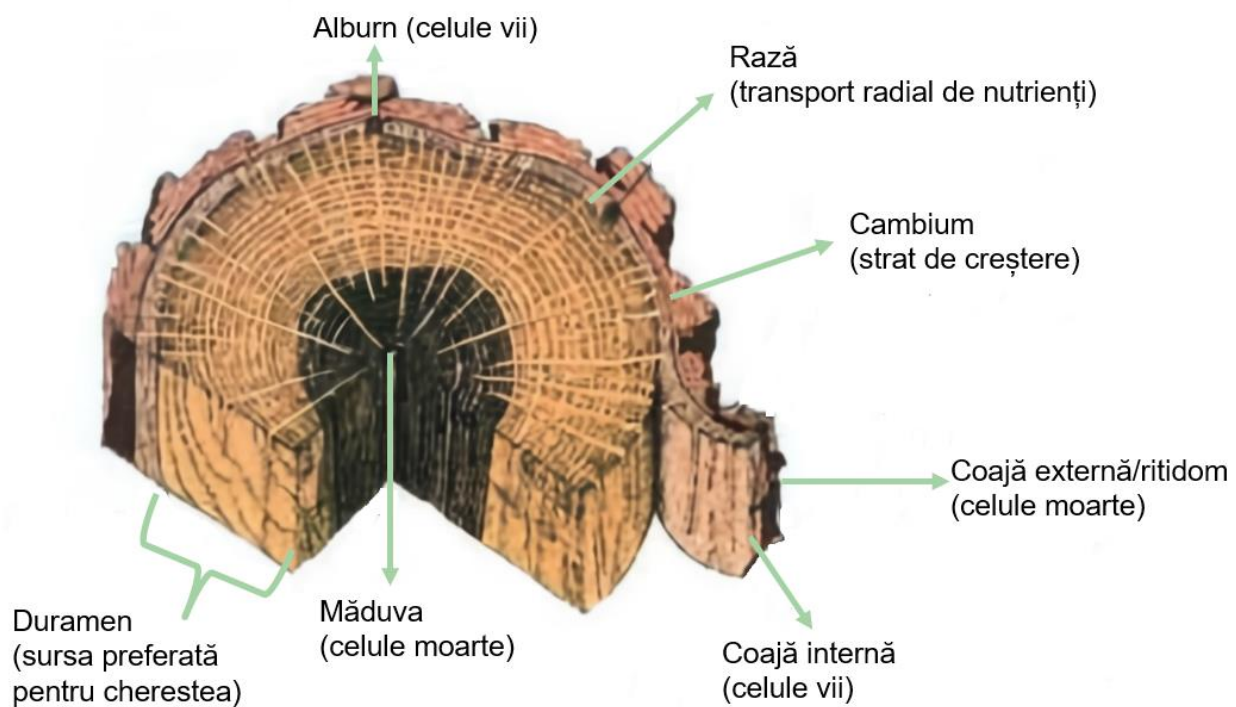


Figura 1.2.1: Secțiune transversală a unui arbore, cu evidențierea straturilor de la coaja exterioară până la măduvă (Vaucher 1990)

La nivel morfologic, coaja conferă protecție tulpinilor arborilor, atât prin natura fizică și chimică a ritidomului, cât și prin activitatea parenchimului (celule vii) situat în interiorul scoarței, cu rol principal de stocare a produselor de asimilare; aerisirea, unde lenticелеle sau porii, care de exemplu pot fi observați pe scoarța mesteacănului și a cireșului ca proeminențe orizontale cu deschideri asemănătoare unor fante, care permit gazelor pătrunderea prin și din tulpină. Alte roluri includ stocarea apei, când scoarța acționează ca o sursă importantă pentru transportul zilnic și sezonier al apei în xilem; fotosinteza, așa cum o demonstrează scoarța verde a multor specii de arbori, care au capacitatea de a-și produce propria hrană la nivel local și acționând ca un microhabitat extrem de important pentru diverse organisme, în special în tipurile de coajă cu asperități, cum este cazul speciilor de stejar (Morris & Jansen 2016).

Coaja are și un rol mecanic, ajutând arborele să contracareze forțele de încovoiere cauzate de stimuli externi, cum ar fi vântul și zăpada, dar și lovituri neașteptate (căderi de pietre, doborâturi de vânt etc.). Așadar, coaja este multifuncțională, diferite modalități de protecție a arborelui fiind mai mult sau mai puțin puse în valoare în funcție de mediul în care crește tradițional specia respectivă (Wollenberg & Warnecke 2004).

Coaja nu reprezintă o entitate în sine. Ea formează un continuum morfologic cu xilemul, care se dezvoltă în interiorul cambiumului. Parenchimul radial acționează ca o punte de legătură între floem și xilem, fiind compus din celule vii dispuse în forma spițelor unei roți (Vaucher 1990).

Diversitatea morfologiei scoarței se datorează factorilor selectivi de mediu în care se dezvoltă speciile arboricole și poate constitui o caracteristică de identificare importantă a arborilor în teren. Fiecare arbore are un nume desemnat pentru tipul său de coajă, cu termeni comuni precum neted, zbârcit, împletit, rugos, aspru, solzos etc (Vaucher 1990) (Figura 1.2.2).



Figura 1.2.2: Diferite tipuri de coajă cu aspect neted mesteacăn (stânga), franjurat sequoia (mijloc) și solzos platan (dreapta) (Vaucher 1990)

Aspectul cojii, pe lângă faptul că este important pentru identificare, este strâns legat de adaptarea ecologică. De exemplu, scoarța netedă din zonele tropicale umede de câmpie împiedică plantele cățărătoare de tipul lianelor să se înfășoare pe arbori, în timp ce scoarța exfoliantă cu conținut uleios a multor specii de eucalipt favorizează focul și, prin urmare, este ușor de aprins. Există însă și cazul contrar, în care, în regiunile în care au avut frecvent loc incendii de pădure, arborii au dezvoltat o coajă mai groasă, cum ar fi cazul pinilor (*Pinus sylvestris*) sau al stejarului de plută (*Quercus suber*) în zona mediteraneană (Rosell 2016).

Modul în care coaja arborilor a evoluat până la diversitatea pe care o avem astăzi se datorează tranziției plantelor de la apă la uscat. Plantele terestre au trebuit să dezvolte un strat exterior subțire, denumit cuticulă, pentru a împiedica uscarea părților interne. Interiorul plantei, cândva compus doar din parenchim (celule vii cu pereți celulari primari), a evoluat încet în concordanță cu stratul exterior aproape impermeabil. Un sistem intern robust de canale înguste, moarte și cu o compoziție chimică ce favorizează sistemul de transport al apei a înlocuit treptat parenchimul și a servit pentru a permite plantelor terestre să avanseze și să se dezvolte în grosime, nu numai în înălțime. În decursul evoluției speciilor de plante, coaja arborilor s-a format ulterior alături de lemnul „adevărat” și de lignificarea traheidelor pentru transportul apei pe distanțe lungi (câțiva metri). Cu aceste noi trăsături, plantele

puteau cuceri lumea de deasupra lor (devenind mai înalte), precum și lumea din jurul lor (Morris & Jansen 2016).

Secvența de țesuturi de la cambiul vascular spre exterior începe cu phloemul (scoarța interioară). Coaja exterioară (periderm) este alcătuită din trei straturi distincte interconectate, fiecare dintre ele derivând din cuvântul grecesc phellos, denumit în mod obișnuit plută. În centrul său se află phelogenul (phel + gen = „a produce”), cunoscut și sub numele de cambiu de plută (cu activitate meristematică), o regiune celulară activă care produce un strat sau două de celule vii în interiorul său, care se maturizează în parenchim (viu la maturitate), denumit phelloderm. Stratul exterior este produs de phellogen și este denumit phellem. Celulele de plută care alcătuiesc phellemul sunt moarte la maturitate, ușoare și asigură protecție termică țesuturilor vii prin intermediul izolației (Figura 1.2.3). Pe phellem sunt adesea vizibile lenticulele, mici canale de aer prin care se produce schimbul de gaze cu exteriorul (dioxid de carbon și oxigen). Blocarea lenticulelor poate afecta schimbul de gaze (Morris & Jansen 2016).

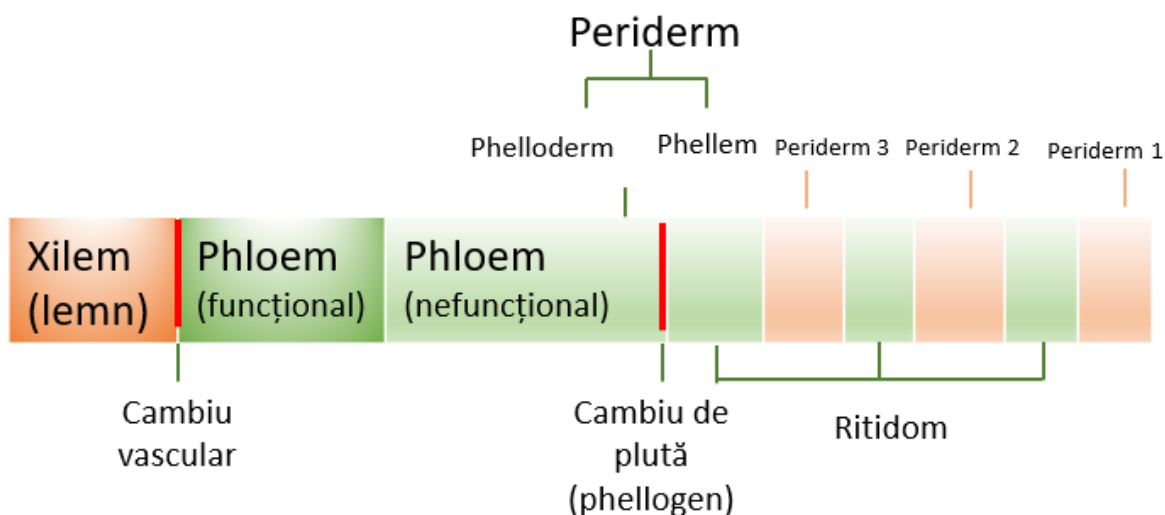


Figura 1.2.3: Elementele morfologice ale scoarței (Pereira 2007)

Procesul general prin care se formează scoarța implică o presiune intensă provenită din xilem (lemn) care se dezvoltă din cambium (zona de diviziune celulară) spre interiorul arborelui. Această presiune face ca atât cambiul, cât și phloemul să fie împinse spre exterior, lucru care poate fi observat la examinarea straturilor exterioare exfoliate lateral sau longitudinal (mesteacăn), sau în plăci, ca la paltinul de munte (*Acer pseudoplatanus*). Pentru a evita ruperea completă a întregii tulpini a arborelui, creșterea trebuie să aibă loc și pe orizontală. Dezvoltarea straturilor de ritidom împiedică funcționarea extensivă a canalelor lenticelare, evitându-se astfel pătrunderea insectelor, ciupercilor și bacteriilor. Problematika indusă de lenticelii este că, deși permit schimbul de gaze, prezintă, de asemenea, căi de pătrundere a bacteriilor în interiorul lemnului, determinând astfel leziuni interne grave (Pereira 2007).

Influențele diferite exercitate de către mediul înconjurător asupra scoarței determină aspectul acesteia, grosimea totală și raportul dintre grosimea scoarței exterioare și cea interioară. Anumite specii de arbori au o coajă exterioară foarte groasă și o coajă interioară subțire (*Allocasuarina torulosa*; originară din Australia), în timp ce altele prezintă o tendință opusă (de exemplu, *Eucalyptus punctata*, Australia). În cazul unei coji exterioare groase și una interioară subțire, este vorba de un tip de apărare pasivă, deoarece țesutul mort nu poate reacționa împotriva amenințărilor, ci se bazează doar pe constituția sa - textura și compoziția chimică (Paszory et al. 2016).

Pe de altă parte, o coajă interioară groasă și o una exterioară subțire conduc la o strategie dinamică, în care celulele vii ale phloemului (coaja interioară) pot juca un rol mai important în apărare prin reacția activă la amenințare sau/și printr-o capacitate mai mare de stocare a apei (Pászory, Ronyecz Mohácsiné & Börösök 2017).

O coajă exterioară groasă protejează țesuturile interioare împotriva focului sau a vertebratelor mari, cum ar fi mamiferele (care se hrănesc cu coaja arborilor, mai ales a celor tineri). Un copac a cărui coajă groasă și spongioasă este *Sequoiadendron giganteum*, ce crește în America de Nord și în parcurile din emisfera nordică. Această specie de arbori poate supraviețui celor mai intense incendii datorită scoarței fibroase de până la o jumătate de metru grosime (în mare parte ritidom) în partea de jos a trunchiului (Morris & Jansen 2016).

Coaja exterioară subțire și netedă, adesea observată la arborii tropicali de câmpie, unde incendiile sunt rare, se bazează pe răspunsul dinamic al scoarței interioare vii pentru a închide rapid rănille provocate pe scoarța exterioară și pentru a preveni intrarea aerului sau agenților patogeni în xilem, acest țesut fiind considerat fragil din punct de vedere defensiv la o serie de specii tropicale, în comparație cu arborii din zonele temperate. De asemenea, prin menținerea aerului în afara sistemului (o funcție a scoarței exterioare bogate în grăsimi) ciupercile sunt împiedicate să pătrundă. Acest grup important de dăunători, care include mulți agenți patogeni paraziți și saprofiți (tipuri de ciuperci de putrefacție care trăiesc exclusiv din țesuturi moarte) au nevoie de oxigen pentru a se dezvolta (Morris & Jansen 2016).

Coaja interioară este diferită la gimnosperme și angiosperme. Celulele care conțin cristale (denumite idioblaste) și celulele specializate ale parenchimului polifenolic se găsesc cu preponderență la conifere, în timp ce laticiferele (ce generează latex) sunt o caracteristică comună a multor foioase. Cristalele de oxalat din coaja interioară a coniferelor (și a unui număr de foioase) distrug părțile bucale ale mamiferelor sau insectelor în căutare de hrană, acționând în același timp și ca toxină odată ce se descompun (Morris & Jansen 2016).

1.3. Coaja de conifere, materie primă pentru compozite lignocelulozice

Scoarța arborilor, un produs secundar al industriei lemnului, reprezintă stratul protector care acoperă tulpina, ramurile și rădăcinile, apără cambiul și împiedică pierderile de apă. După decojire, se obține o cantitate însemnată de coajă, considerată deșeu ligno-celulozic (van Fan et al. 2019), care s-ar putea valorifica superior, în locul arderii. Coaja a făcut obiectul a numeroase studii incluse valorificarea superioară a deșeurilor ligno-celulozice (Paszatory et al. 2016). Alte utilizări includ biofiltre pentru tratarea aerului (Dumont et al. 2008), indicator pentru nivelul de poluare a aerului (Chiarini et al. 2013) sau material utilizat pentru adsorbția ionilor metalelor grele (Vázquez et al. 1994). Scoarța de *Pinus sylvestris* servește ca soluție eficientă economic pentru eliminarea pesticidelor organoclorurate din apele reziduale și ca substrat fungic pentru aplicații de bioremediere (Valentín et al. 2010).

În cadrul Departamentului de Inginerie Ecologică și Design Circular al FH Salzburg se derulează de peste un deceniu numeroase proiecte privind utilizarea superioară a scoarței de conifere în Austria. Începând cu anul 2012 au fost investigate metode de decojire a buștenilor și influența lor asupra calității și aspectului cojii (Tudor et al. 2020d), proprietățile acustice (Tudor et al. 2021) și termo-fizice ale compozitelor pe bază de coajă (Kristak et al. 2021), elemente de izolație termică pe bază de coajă de larice (Kain et al. 2018), blocuri pentru europaleti din coajă de molid (Heinzmann & Barbu 2013), utilizarea cojii de larice pentru stratul de uzură la fabricarea parchetului laminat (Tudor et al. 2018) sau extracte din coajă de larice (Schnabel et al. 2021). Alte compozite pe bază de coajă, în combinație cu lianți minerali, au fost dezvoltate pentru panouri cu rezistență sporită la foc (Tudor et al. 2020c; Pacher et al. 2022), (Urstöger et al. 2021).

1.3.1. Studiu comparativ al tehnologiilor de mărunțire a cojii de conifere (Tudor et al. 2020d)¹

Cominuția materialelor este un proces prin care masele unitare solide se reduc în mase unitare mici și este utilizat de regulă în minerit. Este un proces cu un consum energetic crescut, care necesită rapoarte mari de reducere (Gong et al. 2018). În industria alimentară, materiile prime trebuie adesea supuse unor operațiuni de reducere a dimensiunilor, cum ar fi tăierea, tocarea, măcinarea sau frezarea. Operațiuni similare sunt necesare pentru prelucrarea lemnului (Dooley, Lanning & Lanning 2013), dar cu echipamente adaptate (Maloney 1993), care pun accentul pe zona de deformație, transport și

¹ Eugenia Mariana Tudor, Christoph Zwickl, Christian Eichinger, Alexander Petutschnigg, Marius Cătălin Barbu, Performance of softwood bark comminution technologies for determination of targeted particle size in further upcycling applications, Journal of Cleaner Production, Volume 269, 2020, 122412, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122412>, 12 citations (WOS)

exhaustare (Molnár et al. 2018). Tipurile de echipamente pentru reducerea dimensiunilor materialului lemnos pot fi clasificate în funcție de principalul tip de acțiune aplicată, și anume prin impact, presiune, abraziție și forfecare (Berk 2018).

Echipamentele utilizate pentru generarea particulelor sau așchiilor de lemn pot fi mori de abraziție sau mori cu ciocane. În cazul în care materia primă ce trebuie mărunțită este coaja, în funcție de tipul compozitului final, este necesară identificarea, la scară de laborator, a celei mai bune metode de reducere a dimensiunilor bucăților de scoarță masivă. **Moara cu ciocănele** a fost utilizată pentru mărunțirea scoarței în vederea fabricării panourilor aglomerate (PAL) din lemn în amestec cu coajă în studiile conduse de (Blanchet, Cloutier & Riedl 2000b), (Pedieu, Riedl & Pichette 2009), (Papadopoulos 2006), a panourilor sandwich în care straturile de coajă alternează cu plăci din fibră de sticlă (Tsalagkas, Börösök & Pásztory 2019), la analiza peleiților din lemn de pin în amestec cu diferite procente de coajă (Filbakk et al. 2011), la obținerea extractelor de coajă ca substitut al fenolului la fabricarea adezivilor (Vázquez et al. 2009) sau pentru a determina gradul de poluare a aerului cu metale grele folosind coajă de stejar (Böhm et al. 1998). **Concasorul cu impact** a fost utilizat pentru mărunțirea cojii în vederea analizei rolului acesteia ca agent de reducere a emisiilor de formaldehidă în plăcile aglomerate tip MDF pe bază de fibre de coajă molid negru (*Picea mariana*) în amestec cu fibre de lemn (Wang et al. 2015). În studiul condus de (Medved et al. 2019) a fost utilizată o moară de impact de mare putere pentru a produce particule din coajă ca materie primă pentru PAL unistratificat. Moara Wiley a fost folosită pentru micșorarea dimensiunii bucăților de coajă masivă în vederea determinării puterii calorice și a conținutului de cenușă din coajă și pentru fabricarea de panouri de fibre pe bază de coajă de molid negru fără liant (Gao et al. 2011). Un sistem portabil de mărunțire a fost utilizat pentru a obține fibre din coajă pentru un amestec cu fibre de lemn pentru fabricarea MDF (Xing et al. 2006c). Prin sistemul de tocare cu patru arbori rezultă particule de coajă ca materie primă pentru blocuri pentru europaleți (Heinzmann & Barbu 2013), panouri fonoabsorbante (Tudor et al. 2021), plăci cu rezistență sporită la foc sau straturi de uzură pentru pardoseli (Tudor et al. 2018).

În acest subcapitol este prezentată evaluarea a patru procese de mărunțire a scoarței de larice (*Larix decidua* Mill.), pin (*Pinus sylvestris*) și molid (*Picea abies*), urmărindu-se dimensiunea și geometria particulelor de coajă rezultate în urma prelucrării.

Sursa pentru coaja de pin și de molid este fabrica de cherestea Zwickl Holz GmbH din Schrems (Austria Inferioară), iar coaja de larice provine de la fabrica de cherestea Zwickl din Jemnice (Republica Cehă). Testele preliminare (Tudor et al. 2018) au arătat că este preferabil ca materialul să aibă un conținut ridicat de umiditate (60-130%) în momentul mărunțirii, care este recomandabil să

fie efectuată direct după decojire. În acest mod rezultă o cantitate mică sau foarte mică de praf la mărunțire.

Densitatea aparentă a scoarței, calculată în conformitate cu ISO 17828:2015, a fost de 255 kg/m³ pentru larice, 261 kg/m³ pentru molid și 263 kg/m³ pentru pin.

Au fost testate patru tehnologii de mărunțire la scară semi-industrială pentru a selecta cea mai bună metodă, considerând costuri minime (echipament de producție, proces) și cea mai bună granulație a cojii de conifere. Pentru fiecare sistem de mărunțire au fost utilizate particule de coajă cu dimensiuni similare (Tabelul 1.3.1.1). Au fost testate diferite cantități de coajă (de ordinul zecilor de kilograme), în conformitate cu recomandările partenerilor industriali. Nivelul de zgomot a fost evaluat ca fiind „ridicat” și „scăzut”. Aspectul materialului măcinat și procesele de măcinare au fost evaluate pe o scală crescătoare, de la 1 (necorespunzător) și 10 (cel mai bun). Scala de evaluare a inclus informații inițiale privind granulația inițială a cojii (înainte de mărunțire) și informații finale (ca rezultate ale procesului). Au fost evaluate calitatea produsului final și a procesului, dimensiunea finală a particulelor, aspectul cojii mărunțite, generarea de praf în timpul procesului și eventualele posibilități de reciclare a cojii.

Dimensiunea particulelor (0,0-0,5 mm, 0,5-1,0 mm, 1,0-2,0 mm, 2,0-4,0 mm și >4,0 mm) și aspectul produsului final reprezintă parametrii esențiali, de care s-a ținut cont la alegerea tehnologiilor de mărunțire a cojii. Totodată s-a avut în vedere performanța echipamentului de mărunțire (randament, generare de praf, procesare ușoară, întreținere). Toate aceste informații sunt rezumate în Tabelul 1.3.1.1.

Determinarea procentuală a dimensiunilor particulelor de coajă a fost realizată conform EN 15149-1:2011, folosind aparatul de sitire Retsch AS 200 (Haan, Germania) pentru analiza spectrului de particule <0,5 mm, 0,5-1,0 mm, 1,0-2,0 mm, 2,0- 4,0 mm și >4 mm. Următoarele etape de prelucrare a cojii, în vederea valorificării superioare în compozite, implică uscarea, sitirea și fabricarea panourilor respective. Pentru fiecare tip de mărunțire s-au efectuat cinci serii de experimente.

Sistem cu unde sonore

Anterior mărunțirii cu ajutorul sistemului cu unde sonore, materia primă (coajă de larice, pin și molid) s-a procedat la micșorarea preliminară a dimensiunilor particulelor (<60 mm) cu tambur de mărunțire FKTH 250-500. Coaja de larice se mărunțește în elemente asemănătoare fulgilor, datorită grosimii și structurii sale (Figura 1.3.1.1, stânga). Bucățile de coajă masivă cu o granulație de 25-60 mm și un conținut de umiditate de 63 % au fost introduse în dispozitivul cu impulsuri sonore. Cantitatea a fost de aproximativ 13,5 kg de material umed. Nivelul de zgomot a fost ridicat, iar

conținutul de praf a fost foarte scăzut. 47 % din particulele rezultate au dimensiuni >4 mm și 27% între 2 și 4 mm. Procesul a fost evaluat cu 9 puncte, iar materialul cu 7 puncte (Tabelul 1.3.1.1).

Prin intermediul sistemului de mărunțire cu unde sonore au fost prelucrate 8 kg de coajă de pin (granulație de 25-60 mm) cu un conținut de umiditate de 71 %, rezultând particule cu aspect fibros. În timpul procesului, zgomotul a fost perceptibil și a fost generată doar o cantitate mică de praf. Din totalul de particule mărunțite 49% au dimensiuni >4 mm și 24 % între 2 și 4 mm (Figura 1.3.1.1, mijloc). Procesul a fost evaluat cu 9 puncte, deoarece a fost ușor și rapid, iar produsele finale au fost evaluate cu 7 puncte, din cauza variației dintre dimensiunile particulelor.

În urma mărunțirii a 10 kg de coajă de molid (20-50 mm) cu un conținut de umiditate de 131 % nu a rezultat praf. În timpul acestei proceduri, nivelul de zgomot a fost scăzut. Particulele din coajă de molid sunt grosiere și fibroase. 54,5 % au dimensiuni >4 mm și 15,5 % între 2 și 4 mm (Figura 1.3.1.1, dreapta). Procedurii i s-au alocat 10 puncte datorită eficienței energetice, iar produsul final a fost evaluat cu 7 puncte, deoarece particulele au nevoie de o prelucrare ulterioară, în funcție de compozitele vizate (tipul de panou) și de sistemul de încleiere.

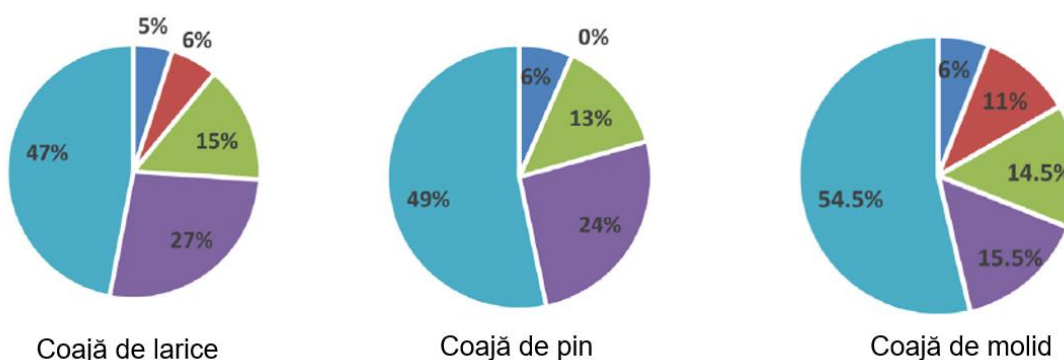


Figura 1.3.1.1. Distribuția granulometrică a particulelor din coajă de conifere cu ajutorul sistemului EcoPulser (Krause-Maschinenbau).

Moară cu plăci de fricțiune

Înainte de mărunțirea cu sistemul RPM 150 (Rematec, Furth, Germania), dimensiunea particulelor scoarței de larice a fost de 10-100 mm, iar conținutul de umiditate de 56 %. Bucățile de coajă masivă (23 kg) au fost mărunțite și analizate. Nivelul de zgomot a fost foarte scăzut, la fel ca și vibrațiile. Cantitatea de praf a crescut și, drept urmare, rezultatele au avut o variabilitate ridicată.

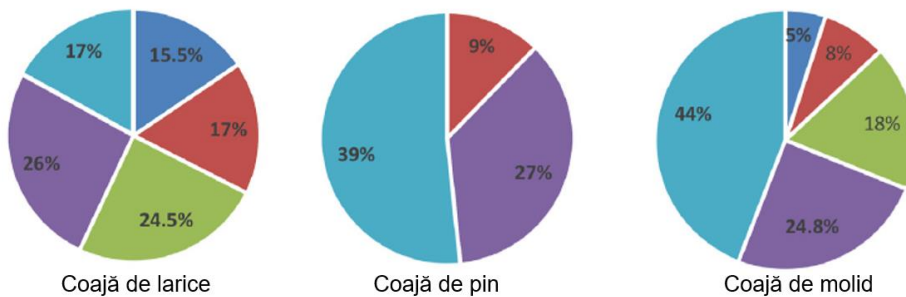


Figura 1.3.1.2. Distribuția particulelor din coajă de conifere folosind tehnologia de frezare cu plăci de frecare RPM 150 (Rematec)..

Cantitatea de particule cu dimensiuni cuprinse între 2 și 4 mm a fost de 26 %, iar între 1 și 2 mm de 24,5 % (Figura 1.3.1.2, stânga). Procesul a fost evaluat cu 8 puncte, iar materialul cu 8 puncte (tabelul 1).

Bucățile de coajă masivă de pin cu o greutate de 21 kg, cu o granulație cuprinsă între 10 și 100 mm și un conținut de umiditate de 89% au fost introduse în moara cu plăci de fricțiune. În urma procesului de mărunțire (silențios, cu vibrații reduse), evaluat cu 8 puncte, a rezultat un material fibros, astfel încât produsul a fost evaluat cu 9 puncte. Cea mai mare parte a particulelor (39 %) a avut dimensiuni mai mari de 4 mm, iar 27% din lot s-a încadrat în intervalul 2 – 4 mm (Figura 1.3.1.2, mijloc).

În timpul prelucrării a 20 kg de coajă de molid, cu o granulație cuprinsă între 10 și 100 mm, nu a fost generat zgomot sau praf, datorită conținutului ridicat de umiditate (132 %). Procesul a fost evaluat cu 8 puncte. Produsul final al mărunțirii scoarței de molid prin acest procedeu a obținut 8 puncte, datorită aspectului fibros al particulelor. Procentul de particule cu granulație fină (<0,5 mm) a fost de 44 % și 24 % pentru granulația de 2-4 mm (Figura 1.3.1.2, dreapta).

Sistem de mărunțire cu patru arbori

Pentru acest test, s-a utilizat un sistem de mărunțire cu patru arbori RS40 (Untha, Austria), cu o sită de 15 mm. Scoarța de larice a fost mărunțită direct după decojire.



Figura 1.3.1.3. Distribuția particulelor de coajă de conifere cu ajutorul sistemului de mărunțire cu 4 arbori RS 40 (Untha).

Nivelul de zgomot produs de instalația RS40 a fost abia detectabil. Datorită conținutului ridicat de umiditate al cojii a rezultat foarte puțin praf. Coaja de larice mărunțită la Untha Co. este unul dintre cele mai bune materiale care se pretează la utilizarea superioară a cojii în compozite lignocelulozice. Figura 1.3.1.3 (stânga) prezintă distribuția particulelor după tocarea scoarței de larice cu ajutorul tehnologiei de mărunțire cu 4 arbori (Tabelul 1.3.1.1). În urma acestui procedeu, 1% din particule au fost <0,5 mm și 77 % au fost >4 mm. Procesul de mărunțire a fost evaluat cu 9 puncte, deoarece timpul de prelucrare a fost destul de mare. Materialul a fost evaluat cu 10 puncte, deoarece conținutul de praf a fost mai mic de 1%.

În cazul prelucrării scoarței de pin procesul de mărunțire a fost silențios, nu a rezultat praf, dar a durat mai mult în comparație cu mărunțirea prin sistemul cu unde sonore sau cu moara cu plăci de frecare. Particulele mai mari de 4 mm au reprezentat 52,5 % din cantitatea totală, 11 % fiind procentajul particulelor cu dimensiuni între 1 și 2 mm (Figura 1.3.1.3 mijloc). Pentru proces și material au fost atribuite 8 puncte, din cauza aspectului neuniform al particulelor >4 mm.

Pentru mărunțirea cojii de molid cu dimensiuni inițiale de 100 mm cu un conținut ridicat de umiditate de 132%, în timpul prelucrării cu sistemul cu 4 arbori RS 40 (Untha), s-au remarcat nivelul redus de zgomot, fără generare de praf. Datorită distribuției relativ uniforme a dimensiunilor particulelor, a procesului ușor și simplu, s-au atribuit 9 puncte pentru operațiune, în timp ce produsul a fost evaluat cu 10 puncte, fără praf conținut în fracția fină. Materialul a fost mărunțit direct după decojire. 29,8 % din particule au fost >4 mm, 21,5 % între 2 și 4 mm și 20 % < 0,5 mm (Figura 1.3.1.3, dreapta).

Tocător cu tambur

Pentru acest experiment nu a fost necesară fracționarea particulelor. Coaja de larice a fost prelucrată cu dispozitivul FKTH 200-500 (Fleissner-Karré, Spittal and der Drau, Austria) având o granulație inițială de 40 mm și un conținut de umiditate de 100 %. Experimentul s-a desfășurat la un nivel minim de vibrații. Nu a fost generat praf. Procesul a fost evaluat cu 8 puncte, iar materialul cu 9 puncte (Tabelul 1.3.1.1).

Coaja de pin a avut un conținut de umiditate de 100 % și dimensiunea particulelor de 50 mm. Procesul a fost silențios și nu a rezultat praf, fiind evaluat cu 8 puncte, iar materialul cu 9 puncte, datorită uniformității granulelor.

În cazul cojii de molid, cu un conținut de umiditate de 132 % și cu o granulație de 50 mm, mărunțirea a fost silențioasă, fără generare de praf. Pentru acest proces s-au alocat 8 puncte, din cauza uzurii mari a cuțitului cauzată de coaja contaminată (amestecată cu pământ, nisip etc.). Produsul a

fost evaluat cu 10 puncte; coaja rezultată a avut o cantitate scăzută de particule cu granulație fină (<0,5 mm).

În Figura 1.3.1.4 este prezentată distribuția dimensiunilor particulelor în funcție de sistemul de mărunțire. Prin utilizarea tocătorului cu tambur FKTH 200e500, au fost produse doar particule grosiere (>4 mm), fracțiune dorită pentru anumite utilizări (ex. plăci fonoabsorbante). O distribuție relativ omogenă a dimensiunilor particulelor a fost obținută cu sistemul cu 4 arbori RS40, în cazul scoarței de molid, amestec necesar pentru anumite aplicații (ex. PAL).

Cantitatea de particule cu granulație fină (<0,5 mm) a variat de la 1 % la 20 %. Cel mai mic procentaj s-a înregistrat în cazul particulelor de 0,5-1 mm (1-17 %). Un interval cuprins între 5 și 27,5 % a rezultat pentru dimensiunile particulelor cuprinse între 1 și 2 mm. Particulele de 2-4 mm au avut o pondere de la 5,5 la 27 % din total, iar particulele cu granulație grosieră de la 17 % la 100 %.

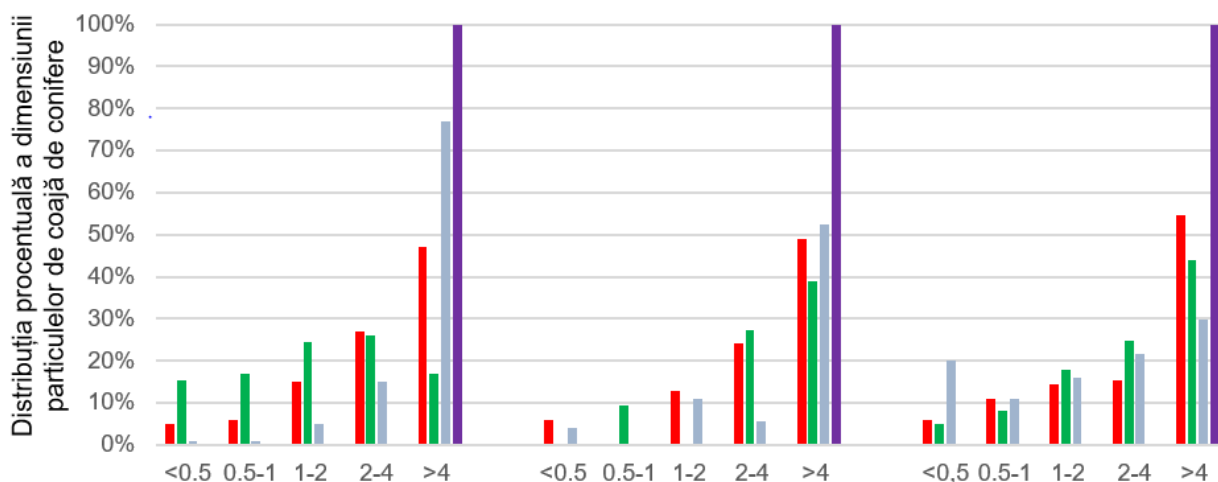


Figura 1.3.1.4. Distribuția dimensiunilor particulelor de coajă de larice, pin și molid, în funcție de tipul de mărunțire (%).

Tabelul 1.3.1.1 prezintă date sistematizate despre materialul prelucrat și aplicații ulterioare ale materiei prime. Sunt prezentate date privind produsul și procesul de mărunțire a cojii de larice, pin și molid (pe o scală de evaluare ascendentă, de la 1 la 10).

Urmare a unei îndelungi analize a literaturii de specialitate a rezultat că acest studiu este prima încercare de a investiga performanța tehnologiilor de mărunțire a scoarței de copac cu dispozitive concepute pentru alte materiale.

Au fost generate particule cu dimensiuni de 0,0-0,5 mm, 0,5-1,0 mm, 1,0-2,0 mm, 2,0-4,0 mm și >4,0 mm. Structura materialului mărunțit are o mare importanță pentru aplicațiile în care se folosește coaja. Intervalul de la 0,0 la 0,5 mm reprezintă domeniul prafului din coajă, care poate fi amestecat cu particule de lemn pentru a îmbunătăți calitatea adeziunii interne și a umflării în grosime a plăcilor aglomerate, în compozite lemn-plastic (WPC) sau la analiza extractelor din coajă.

Particulele de coajă cu dimensiuni de 0,5-5,0 mm sunt adecvate pentru straturile de bază ale pardoselilor și în amestec pentru straturile de mijloc și de față ale PAL. Aceleași dimensiuni ale particulelor de coajă pot fi utilizate ca adsorbant și pentru eliminarea ionilor metalelor toxice din apele reziduale. Dimensiunea particulelor de la 6 la 10 mm este indicată pentru panouri termoizolatoare, fonoabsorbante și compozite ligno-celulozice. În cazul folosirii în vrac a cojii ca strat termoizolator se recomandă particule de 8-30 mm. În cazul blocurilor pentru europaleți, dimensiunea adecvată a particulelor variază între 15 și 35 mm.

Tabelul 1.3.1.1. Scala de evaluare a sistemelor de măcinare a scoarței de conifere

Sisteme de mărunțire	prin impulsuri (EcoPulser)	cu plăci de frecare (RPM 150)	cu patru arbori (RS40)	cu tambur (FKTH 250-500)
Producător	Krause Maschinenbau	Rematec	Untha	Fleissner-Karré
Materie primă				
Granulație (mm)	25-60 a	10-100	10-100	40-50
Specificațiile produsului final și ale procesului (larice/pin/ molid)*				
Coajă măcinată	7/7/7	8/9/8	10/9/10	9/9/10
Proces de măcinare	9/9/10	8/8/8	9/8/9	8/8/8
Dimensiunea particulelor pt produs final (mm)	5-45	1-4	5-15	25-50
Aspectul particulelor	bucăți, fibre mici	bucăți, cantitate mare de praf	bucăți, fibre foarte mici	bucăți
Generare de praf	scăzută	medie	scăzută	—
Aplicații	Plăci decorative, mulci	Compozite pe bază de coajă, generarea de energie	Plăci de izolație, plăci deco, blocuri pt. europaleți	Plăci decorative, panouri de izolație, mulci

***Materialul mărunțit și calitatea procesului au fost evaluate cu ajutorul unor criterii subiective, pe o scară crescătoare de la 1 la 10.

Toate aceste dimensiuni ale particulelor de coajă pot fi generate cu ajutorul sistemelor descrise în acest studiu. Prin intermediul unui sistem de mărunțire cu impulsuri, coaja poate fi utilizată ca mulci sau la fabricarea panourilor decorative. Pentru acest sistem este necesară o mărunțire prealabilă. În cazul mărunțirii scoarței cu moară cu plăci de frecare, particulele din coajă de larice pot fi utilizate ca biomasă pentru producerea de energie. Tocătorul cu tambur generează un material omogen pentru plăci decorative și termoizolante.

Dimensiunea finală a particulelor poate fi prestabilită în cazul folosirii unui sistem de mărunțire cu 4 arbori, care este de fapt cea mai adecvată tehnologie pentru a genera un spectru cât mai larg de produse cu valoare adăugată pe bază de coajă.

Trebuie ținut cont și de eliminarea impurităților (piatră, metal, sticlă etc.) din materiile prime ce urmează a fi mărunțite, deoarece acestea se pot amesteca cu particulele de coajă și ar putea afecta capacitatea de utilizare a produsului, determinând o uzură mai rapidă a uneltelor.

1.3.2. Proprietățile termofizice ale panourilor compozite pe bază de coajă de larice (Kristak et al. 2021)*² Tudor E.M. autor corespondent

Utilizarea materialelor naturale sau reciclate în construcții este un trend întânit din ce în ce mai des. Unele dintre aceste materiale sunt deja existente pe piață, în timp ce altele sunt încă într-un stadiu incipient de producție sau de dezvoltare. O serie de produse au fost studiate și testate pentru a fi folosite ca materiale izolante, cum ar fi fibre de in, fibre de bambus, pănuși de porumb, kenaf, trestie de zahăr, paie, coajă de orez, cânepă, fibre de lemn etc. (Madurwar, Ralegaonkar & Mandavgane 2013), (Fiorelli et al. 2014), (Bekhta et al. 2019). Aceste materiale au un potențial deosebit datorită densității reduse, impactului redus asupra mediului și proprietăților termice adecvate.

Coaja poate fi utilizată ca material termoizolant (Kain, Tudor & Barbu 2020) datorită densității sale scăzute, conductivității termice reduse, proporției ridicate de celule de plută (Pereira 2015), conținutului ridicat de extracte chimice care asigură protecția împotriva microorganismelor (Nemli et al. 2006). Compozitele pe bază de coajă sunt incluse în categoria produselor cu emisii foarte scăzute de formaldehidă (Barbu et al. 2020), (Tudor et al. 2020a).

Scopul acestui studiu a fost de a investiga proprietățile termofizice ale compozitelor din coajă de larice având densități cuprinse între 350 și 700 kg/m³. Au fost analizate conductivitatea termică, difuzivitatea termică și capacitatea termică specifică.

Materia primă pentru fabricarea panourilor a fost coajă de larice (*Larix decidua* Mill.), provenită de la fabrica de cherestea de larice Graggaber din Unternberg (Austria), având o greutate specifică de 0,32. Dimensiunile particulelor utilizate au fost cuprinse în intervalele 4-11 mm și 10-30 mm. Pentru înclieirea particulelor de coajă de larice s-a utilizat adezivul UF tip Prefere 10F102 de la Metadynea (Krems, Austria) (66% conținut de substanță solidă, pH 8,3-9 și vâscozitate 60-









² Kristak, L.; Ruziak, I.; Tudor, E.M.; Barbu, M.C.; Kain, G.; Reh, R. Thermophysical Properties of Larch Bark Composite Panels. *Polymers* 2021, 13, 2287. <https://doi.org/10.3390/polym13142287>

90 mPa × s). Factorul de încliere este prezentat în Tabelul 1.3.2.1, împreună cu alte elemente ce aparțin designului experimental al acestui studiu.

Particulele de coajă uscate au fost amestecate cu adezivul într-un malaxor ENT WHB-75. Amestecul de particule de coajă înclieiate a fost introdus într-o matriță de $320 \times 320 \times 30 \text{ mm}^3$ și apoi a fost presat la cald (180°C) cu ajutorul unei prese hidraulice de laborator de tip Höfer HLOP 280 (Taiskirchen, Austria), cu un factor de presare de 20 s/mm (în acest caz, semnificativ mai mare decât în cazul unei aplicații industriale, de exemplu PAL). Înainte de testare, probele au fost condiționate timp de o lună la o temperatură de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ și la o umiditate relativă a aerului de $65 \pm 1\%$ pentru a obține o climatizare standard. Epruvetele folosite la determinarea conductivității și difuzivității termice au fost pregătite în conformitate cu EN 326-1:2005.

Măsurătorile termice au fost efectuate pe opt tipuri de compozite diferite pe bază de coajă (Tabelul 1.3.2.1). Dimensiunea probelor a fost de $100 \times 100 \times 20 \text{ mm}^3$. În cadrul experimentului au fost avuți în vedere patru parametri independenți, și anume, densitatea ρ , procentul de adeziv RF, dimensiunea particulelor PS și orientarea particulelor PO. Densitatea a fost calculată după climatizare.

Tabelul 1.3.2.1 Parametrii de proiectare ai materialelor pe bază de coajă de larice înclieiată cu UF

Material	1	2	3	4
				
Densitatea [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	688 ± 14	345 ± 7	47 ± 25	537 ± 11
Procentul de adeziv [%]	10	10	10	10
Dimensiunea particulelor [mm]	4–11	4–11	10–30	4–11
Orientarea particulelor	paralel	perpendicular	paralel	paralel
Material	5	6	7	8
				
Densitatea [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	369 ± 12	362 ± 9	471 ± 6	355 ± 8
Procentul de adeziv [%]	20	10	10	20
Dimensiunea particulelor [mm]	10–30	4–11	10–30	10–30
Orientarea particulelor	paralel	paralel	perpendicular	perpendicular

Conductivitatea termică, difuzivitatea termică și capacitatea termică specifică au fost determinate prin metoda EDPS (Krišťák, Igaz & Ružiak 2019). Pentru metoda sursei plane dinamice extinse (EDPS) se folosesc două probe de material cu conductivitate redusă ($\lambda < 2 \text{ W/m} \times \text{K}$) situate între două blocuri mari de material cu conductivitate ridicată. Între acestea este plasată o sursă plană de căldură și senzorul de măsurare (Figura 1.3.2.1).

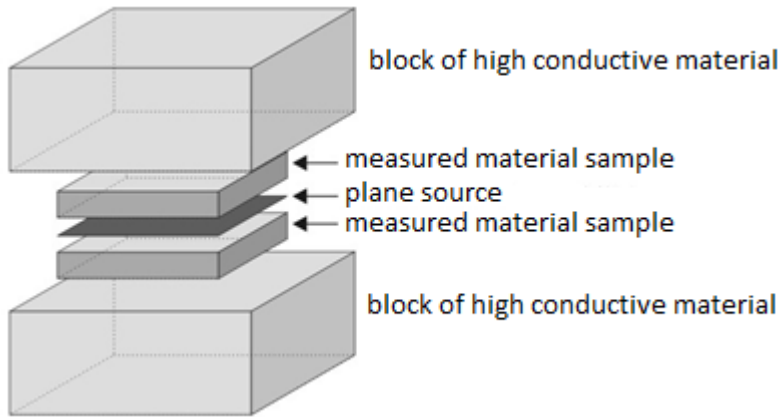


Figura 1.3.2.1 Schema aparatului EDPS (Krišťák, Igaz & Ružiak 2019)

Sursa plană (Figura 1.3.2.1) măsoară modificările rezistenței electrice R și calculează temperatura din relația liniară dintre rezistența electrică și temperatură, care pentru sursa plană este caracterizată de coeficientul de temperatură al rezistenței de $4,8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{K}^{-1}$ și de rezistența la 20°C , care este egală cu $3,6 \Omega$. Metoda EDPS este recomandată pentru probe cu conductivitate redusă, iar montajul experimental este realizat astfel încât fluxul de căldură să se transmită unidirecțional prin secțiunea longitudinală a probei.

Prin metoda EDPS a fost calculată conductivitatea termică ținând cont de diferența de temperatură și difuzivitatea termică a din valoarea ajustată a timpului caracteristic τ , care caracterizează viteza de creștere a temperaturii și este definită prin formula (1). Precizia de măsurare a metodei este verificată și prin coeficientul de variație.

$$\tau = \frac{l^2}{a} \quad (1)$$

unde:

l - grosimea eșantionului în m,

a -difuzivitatea termică a materialului în $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Dependența timp - temperatură este definită prin formula (2)

$$T(t) = \frac{q \times l}{\lambda} \times \sqrt{\frac{t}{\pi \times \tau}} \times \left(1 + 2\sqrt{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \beta^n \times \text{ierfc} \left(n \times \sqrt{\frac{\tau}{t}} \right) \right) \quad (2)$$

unde:

q -densitatea fluxului termic în W/m^2

l - grosimea probei în m

λ - conductivitatea termică a probei în W/m x K

t -timp în s

τ - timpul de relaxare în s

ierfc-funcția de eroare

Fiecare eșantion a fost măsurat de 5 ori. Pentru fiecare tip de panou au fost efectuate 10 măsurători. Caracteristicile de măsurare au fost determinate la 0,6 A timp de 300 s. După măsurarea conductivității termice și a difuzivității termice, capacitatea termică specifică c a fost calculată prin ecuația (3):

$$c = \frac{\lambda}{a \times \rho} \quad (3)$$

unde:

λ - conductivitatea termică a materialului în W/m x K

a – difuzivitatea termică a materialului în m²/s,

ρ -densitatea materialului în kg/m³.

Proprietățile termofizice ale materialelor pe bază de coajă de larice pot fi măsurate prin metoda EDPS cu o precizie și repetabilitate foarte mare. Valabilitatea metodei EDPS a fost caracterizată de coeficientul de corelație cu funcția teoretică, care pentru toate măsurătorile a fost mai mare de 0,9995.

Conductivitatea termică

Conductivitatea termică a fost influențată semnificativ de densitatea panoului, de dimensiunea și orientarea particulelor. Analiza regresiei a fost efectuată pentru ambele tipuri de orientări ale particulelor, paralelă și perpendiculară pe planul panoului. Există o corelație strânsă între conductibilitatea termică a panoului și densitate ($R^2 = 0,99$). Pentru efectuarea acestei analize, setul de date a fost împărțit în două categorii independente, una pentru orientarea perpendiculară a panourilor (PP) și alta pentru orientarea paralelă a panourilor (PA). Setul de date pentru orientarea orizontală este prezentat în Tabelul 1.3.2.2, iar pentru orientarea verticală în Tabelul 1.3.2.3.

Tabelul 1.3.2.2 Valorile medii măsurate ale parametrilor pentru plăcile cu particule orientate paralel cu planul panoului.

Epruveta	Adeziv (%)	Densitate (kg.m ⁻³)	Dimensiuni particule (mm)	Conductivitate termică (W/(m x K))	Capacitatea caloric specifică (J/kg K)	Difuzivitatea termică (mm ² /s)
1	10	688	4 - 11	0.107	1400	0.111
3	10	477	10 - 30	0.067	1392	0.101
4	10	537	4 - 11	0.071	1321	0.100
5	20	369	10 - 30	0.071	1380	0.139
6	10	362	4 - 11	0.065	1395	0.129

Tabelul 1.3.2.3 Valorile medii măsurate ale parametrilor pentru plăcile cu particule orientate perpendicular pe planul panoului.

Epruveta	Adeziv (%)	Densitate (kg.m ⁻³)	Dimensiuni particule (mm)	Conductivitate termică (W/(m.K))	Capacitatea calorică specifică (J. kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Difuzivitatea termică (mm ² .s ⁻¹)
2	10	345	4 - 11	0.078	1373	0.165
7	10	471	10 - 30	0.104	1382	0.160
8	20	355	10 - 30	0.081	1418	0.161

Regresia multiplă a fost efectuată pentru analiza efectului parametrilor de intrare aleși asupra conductivității termice (CT) cu ajutorul software-ului IBM SPSS (versiunea 29) pentru a determina constantele de regresie și, de asemenea, coeficienții de sensibilitate ai parametrilor de intrare. Conform rezultatelor se poate deduce că procentul de adeziv nu a avut un efect semnificativ asupra CT.

Pe baza valorilor parametrilor de intrare și a CT ca parametru de ieșire, s-a determinat ecuația prin care se calculează conductivitatea termică TCPA (paralelă cu planul panoului) ca funcție polinomială ce depinde de dimensiunea particulelor PS și densitatea ρ cu ajutorul formulei (4)

$$CT_{PA} = 7.90 \times 10^{-5} \times \rho + 1.65 \times 10^{-4} \times PS + 0.0357 \quad (4)$$

În aceeași manieră, ecuația funcției de regresie a conductivității termice TCPE (perpendicular pe planul panoului) a fost calculată considerând dimensiunea particulelor PS și densitatea ρ pentru direcția perpendiculară a panoului cu ajutorul formulei (5)

$$CT_{PE} = 11.0 \times 10^{-5} \times \rho + 3.65 \times 10^{-4} \times PS + 0.0390 \quad (5)$$

Prin intermediul regresiei multiple au fost determinați coeficienții de sensibilitate ai dimensiunii particulelor PS și ai densității ρ asupra conductivității termice în ambele direcții, paralelă și perpendiculară (Tabelul 1.3.2.4).

Tabelul 1.3.2.4. Coeficienții de sensibilitate pentru CT pentru ambele direcții, verticală și orizontală

Coeficienții de sensibilitate ai CT în raport cu	Direcție paralelă	Direcție perpendiculară
Densitatea (kg/m ³)	90.4%	74.6%
Dimensiunea particulelor (mm)	9.6%	25.4%

Acest studiu a arătat influența semnificativă ($p < 0,001$) a densității aparente asupra conductivității termice a plăcilor pentru toate epruvetele testate. Densitatea scăzută a panourilor termoizolatoare este corelată direct cu scăderea conductivității termice datorită unei porozități mai mari și a unui conținut ridicat de goluri în panouri (Kain et al. 2020). Conductivitatea termică a materialului poros este o combinație între conducție (partea solidă) și convecție (partea gazoasă)

(Gibson & Ashby 2001). Aerul prezent în golurile interne ale unui material izolant oferă o rezistență termică ridicată, ca urmare a conductivității sale scăzute. În cazul porilor mici din panouri, aerul din goluri este static, iar efectul de convecție este minor. Rezultatele privind influența densității și porozității asupra conductivității termice au fost confirmate pentru panourile izolatoare din coajă (Kain et al. 2012) (Kain et al. 2014), precum și pentru panourile din fibre (Sonderegger & Niemz 2012), (Gößwald et al. 2021), OSB (Igaz et al. 2017) și alte panouri izolatoare (Brombacher et al. 2012). Un fenomen interesant a fost observat pentru materialele izolante, unde scăderea conductivității termice se diminuează odată cu scăderea densității la valori foarte mici. Acest fenomen a fost observat și în cazul materialelor termoizolante cu umplutură pe bază de lemn (Schunk, Tremel & Tröger 2009), textile (Danilhelová et al. 2019) sau fibre de cânepă (Grohe 2004).

S-a constatat o creștere semnificativă ($p < 0,001$) a conductivității termice odată cu creșterea dimensiunii particulelor, atât în cazul orientării perpendiculare, cât și paralele a particulelor. Motivul se datorează structurilor diferite ale porilor. Fluxul de căldură este transferat prin substanța solidă și prin golurile umplute cu aer. Conductivitatea termică a aerului din interiorul golurilor este mult mai mică decât în materialul solid. În cazul fracțiunii fine a particulelor compozite pe bază de coajă, porii sunt mai mici și închiși. De aceea, efectul static și de convecție este mult redus în comparație cu panourile realizate din particule grosiere de coajă, dar având aceeași densitate (Rebolledo, Cloutier & Yemele 2018).

Acest studiu a punctat influența puternică a orientării particulelor de coajă asupra proprietăților termice ale compozitului pe bază de coajă de larice. Creșterea medie a CT perpendicular pe direcția particulelor orientate paralel cu planul panoului este de aproape 20 %. Motivul principal poate fi explicat folosind teoria căilor optime de conducere a căldurii pentru materialele cu porozitate externă, care este legată în partea superioară de ecuația teoriei mediului efectiv (EMT), iar în partea inferioară de ecuația Maxwell-Eucken, considerând materialul cu conductivitate mai mică drept fază continuă (Carson et al. 2005). Forma particulelor determină modul în care se transmite fluxul de căldură, rezultând o conductivitate termică mai mare. O altă explicație este că particulele orientate perpendicular pe planul panoului au o compactare mai mare (Kain et al. 2014). (Kain et al. 2018) au examinat panouri termoizolatoare din coajă de larice și au arătat că orientarea particulelor are o influență semnificativă asupra conductivității termice. Conductivitatea termică a panourilor din coajă având particule orientate paralel a fost în medie cu 16 % mai mică decât cea a panourilor cu particule orientate perpendicular. În studiul menționat mai sus, au fost utilizate particule cu dimensiuni cuprinse între 10 și 30 mm având un conținut de umiditate de 8%. Autorii au determinat ecuațiile de regresie pentru direcțiile paralele și perpendiculare în formulele (6) și (7):

$$TC(PA) = 9.5 \cdot 10^{-5} \times \rho + 0.03525 \quad (6)$$

$$TC(PE) = 12.9 \cdot 10^{-5} \times \rho + 0.03575 \quad (7)$$

Rezultate similare privind influența orientării particulelor asupra CT au fost confirmate în cazul plăcilor din coajă și în studiul (Kain et al. 2018). Această teorie este susținută și pentru panourile din fibre de lemn (Sonderegger & Niemz 2012) și pentru alte compozite pe bază de lemn (Joščák et al. 2012).

Un alt parametru important care influențează CT este grosimea plăcilor. În cazul eșantioanelor cu orientare verticală, odată cu reducerea grosimii, valorile conductivității termice sunt mai reduse. În cazul plăcilor cu o grosime mai mică de 20 mm, conductivitatea termică ar putea fi influențată în mod semnificativ de cavitățile particulelor grosiere, determinând valori mai slabe ale conductivității din cauza convecției aerului, prin care se transferă o cantitate semnificativă de energie termică în interiorul panoului. Acest fenomen se va diminua odată cu creșterea grosimii panourilor (Gupta, Yan & Feng 2011), (Pásztor, Ronyecz Mohácsiné & Börcsök 2017).

Difuzivitatea termică

Relația dintre difuzivitatea termică, conductivitatea termică, căldura specifică și densitate este bine cunoscută. În cazul densității și căldurii specifice, aceste proprietăți pot fi considerate izotrope, iar conductivitatea termică și difuzivitatea termică sunt anizotrope.

Din rezultatele măsurate și analizate rezultă că procentul de adeziv nu are un efect semnificativ asupra difuzivității termice. Pe baza valorilor parametrilor de intrare și a difuzivității termice ca parametru de ieșire s-a determinat ecuația de regresie a difuzivității termice α_{PA} în funcție de dimensiunea particulelor **PS** și de densitatea ρ în formula (8)

$$\alpha_{PA} = 0.218 - 1.98 \times 10^{-4} \times \rho - 4.39 \times 10^{-4} \times PS \quad (8)$$

Ecuația de regresie a difuzivității termice α_{PE} în funcție de dimensiunea particulelor **PS** și de densitatea ρ pentru direcția perpendiculară a plăcii este prezentată în formula (9):

$$\alpha_{PE} = 0.254 - 2.15 \times 10^{-4} \times \rho - 5.00 \times 10^{-4} \times PS \quad (9)$$

Prin intermediul regresiei multiple, au fost calculați coeficienții de sensibilitate în funcție de dimensiunea particulelor **PS** și a densității ρ asupra difuzivității termice în ambele direcții (Tabelul 1.3.2.5).

Tabelul 1.3.2.5 Coeficienții de sensibilitate pentru difuzivitatea termică pentru ambele direcții.

Sensibilitatea a asupra	Direcție paralelă	Direcție perpendiculară
Densitate ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	89.9%	80.7%
Dimensiunea particulei (mm)	10.1%	19.3%

Scăderea difuzivității termice în funcție de densitate este în concordanță cu studiul realizat de (Reifsnnyder, Herrington & Splat 1967), din care a reieșit faptul că difuzivitatea termică scade neliniar, în funcție de densitatea panoului compozit din coajă. Rezultatul este, de asemenea, conform cu studiul realizat de (Kawasaki & Kawai 2006), în cazul panourilor sandwich pe bază de lemn pentru aplicații structurale. Difuzivitatea termică a lemnului în aer scade odată cu densitatea, dar, pe de altă parte, în condiții de vid, valorile difuzivității termice (în funcție de densitate) sunt aproape aceleași.

Analizând Tabelul 1.3.2.5 se poate trage concluzia că difuzivitatea termică a probelor având particulele de coajă orientate perpendicular pe planul panoului este mai puternic afectată de dimensiunea particulelor. Această constatare este corectă deoarece difuzivitatea termică corespunde vitezei de propagare a undelor termice prin obiect. În cazul particulelor orientate perpendicular pe planul panoului, conductivitatea termică și difuzivitatea termică sunt mai mari decât în cazul dispunerii paralele a particulelor. În cazul utilizării fracțiunii grosiere de coajă, procesul de egalizare a temperaturii în volum este mai lent deoarece particulele mai mari au nevoie de mai mult timp pentru a egaliza temperatura lor cu temperatura mediului înconjurător creată de zonele umplute cu aer, astfel încât difuzivitatea termică este mai mică.

Capacitatea termică specifică

Capacitatea termică specifică este cantitatea de energie necesară pentru a crește 1 kg de masă cu o unitate de temperatură (K). Capacitatea termică a lemnului depinde de temperatura și de conținutul de umiditate al lemnului, dar este practic independentă de densitate sau de specie (Ragland, Aerts & Baker 1991). În literatura de specialitate, căldura specifică a scoarței de conifere (uscată la 22 °C) variază de la 820 J/(kg x K) la aproape 1400 J/(kg x K) (Koljo 1950), (Gupta, Yang & Roy 2003). În unele cercetări a existat o variație semnificativă între arbori, dar nu și variația dintre specii, în majoritatea cercetărilor nu există o diferență semnificativă între exemplare sau specii (Nopens et al. 2021).

În conformitate cu rezultatele experimentale, capacitatea termică specifică în direcție perpendiculară este $c_{PE} = (1391.5 \pm 24.2) J/(kg K)$, iar pentru direcția paralelă $c_{PA} = (1377.8 \pm 32.3) \frac{J}{kg K}$.

În etapa următoare, a fost determinată dependența capacității termice specifice în funcție de densitate. Coeficientul de determinare R^2 a fost de 0,03, prin urmare, se poate concluziona că densitatea nu are un efect semnificativ asupra valorii capacității termice specifice, ceea ce, din nou, este în concordanță cu teoria. Rezultate similare au fost obținute pentru dimensiunea particulelor ($R^2=0,15$).

După ce s-a demonstrat că densitatea, dimensiunea particulelor, procentul de adeziv și orientarea particulelor nu influențează semnificativ capacitatea calorică specifică, s-a calculat valoarea medie a acestui parametru care este $c = (1382.9 \pm 28.5) \frac{J}{kg K}$ și este în concordanță cu valorile din literatura de specialitate.

Panouri din coajă vs. alte panouri termoizolatoare

Această cercetare a arătat că densitatea, orientarea și dimensiunea particulelor au o influență semnificativă asupra conductivității termice și difuzivității termice a panourilor analizate. Cele mai bune rezultate au fost măsurate pentru panouri cu densități de 350-400 kg/m³ cu o conductivitate termică în intervalul 0,065-0,070 W/(m x K), o difuzivitate termică în intervalul 0,13-0,17 mm²/s și o capacitate termică specifică de aproximativ 1300 J/(kg x K).

Conductivitatea termică a plăcilor din coajă este comparabilă cu cea a altor panouri izolatoare (Figura 1.3.2.2). Aceste panouri pot fi împărțite în convenționale (cum ar fi polistirenul expandat, polistirenul extrudat, vata de sticlă). Aceste materiale termoizolante se pot instala cu ușurință și prezintă conductivitate termică redusă. Pe de altă parte, aceste materiale au proprietăți mecanice mai reduse comparativ cu panourile pe bază de coajă, iar la fabricarea lor s-au folosit derivate din substanțe petrochimice cu un consum sporit de energie termică (Aditya et al. 2017).

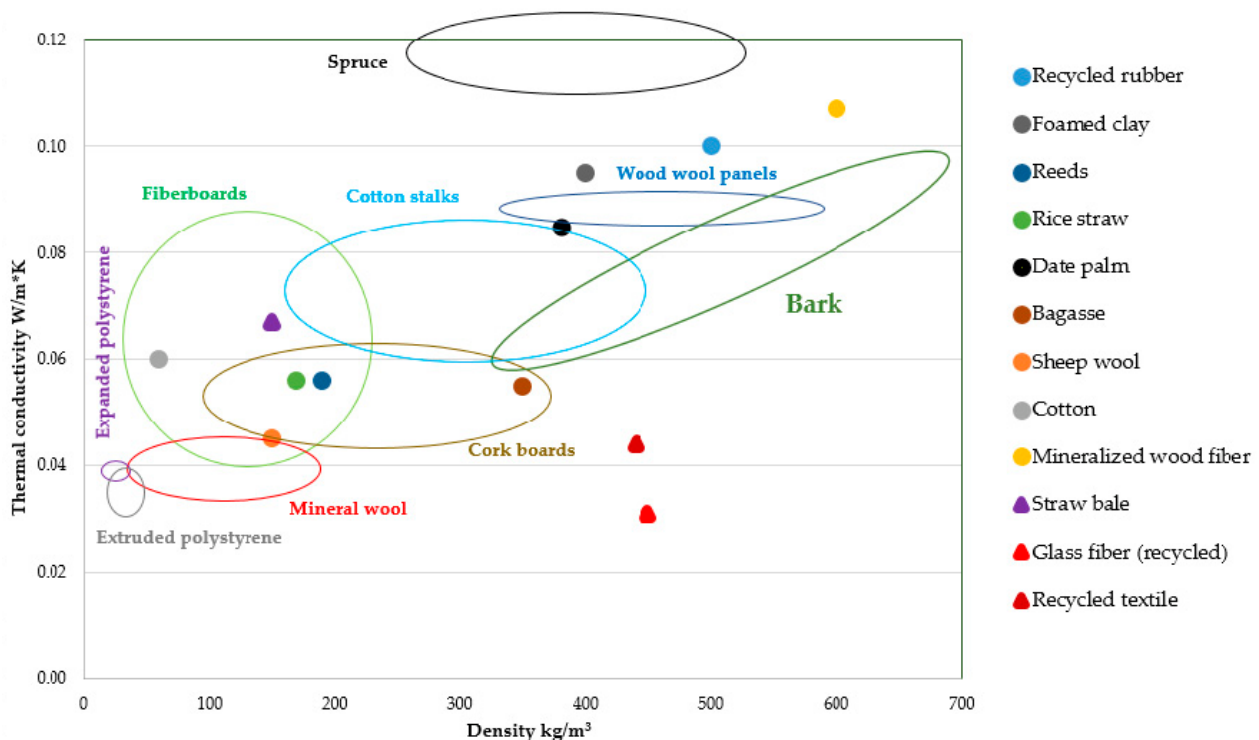


Figura 1.3.2.2 Conductivitatea termică a panourilor termoizolatoare (Kristak et al. 2021)

Un alt grup de panouri termoizolatoare este format din materiale naturale (naturale sau reciclate, cum ar fi cânepa, inul, lâna de oaie, iută, lemn, paie de orez, bumbacul). Aceste materiale

sunt foarte populare, deoarece sunt regenerabile, ieftine și prezintă un risc scăzut pentru sănătate în timpul prelucrării. Tendința lor de a absorbi o cantitate mare de umezeală (Sari et al. 2016) este problematică, la fel ca și rezistența scăzută la foc și rezistența anti-fungică/bacteriană (Papadopoulos 2005), (Taghiyari et al. 2021). Aceste probleme pot fi rezolvate prin tratarea chimică a suprafeței, ceea ce reduce însă aspectul ecologic și de mediu al acestor materiale.

Coaja are, pe lângă densitatea scăzută, proprietăți termice excelente și proprietăți acustice foarte bune, împreună cu o rezistență naturală la microorganisme și la foc (Taghiyari et al. 2021). Un alt mare avantaj al acesteia este capacitatea de a absorbi formaldehida (Tudor et al. 2020a), (Barbu et al. 2020).

Panourile din coajă au o conductivitate termică comparabilă cu cea a majorității materialelor naturale termoizolatoare (Figura 1.3.2.3). O izolare termică excelentă necesită, de asemenea, proprietăți foarte bune de difuziune termică. În acest domeniu, panourile din coajă reprezintă cele mai bune soluții datorită difuzivității termice foarte scăzute. Panourile din plăci de coajă prezintă inerție termică și capacitate de stocare a căldurii foarte bune, alături de o izolare termică superioară în comparație cu alte materiale izolante (Rudolphi & Gellert, Roland 2008). Această combinație reduce valorile extreme ale temperaturii din interiorul unei clădiri față de materiale cu densități mai mari care oferă o izolare termică mai redusă (Potkány, Gejdoš & Debnár 2018).

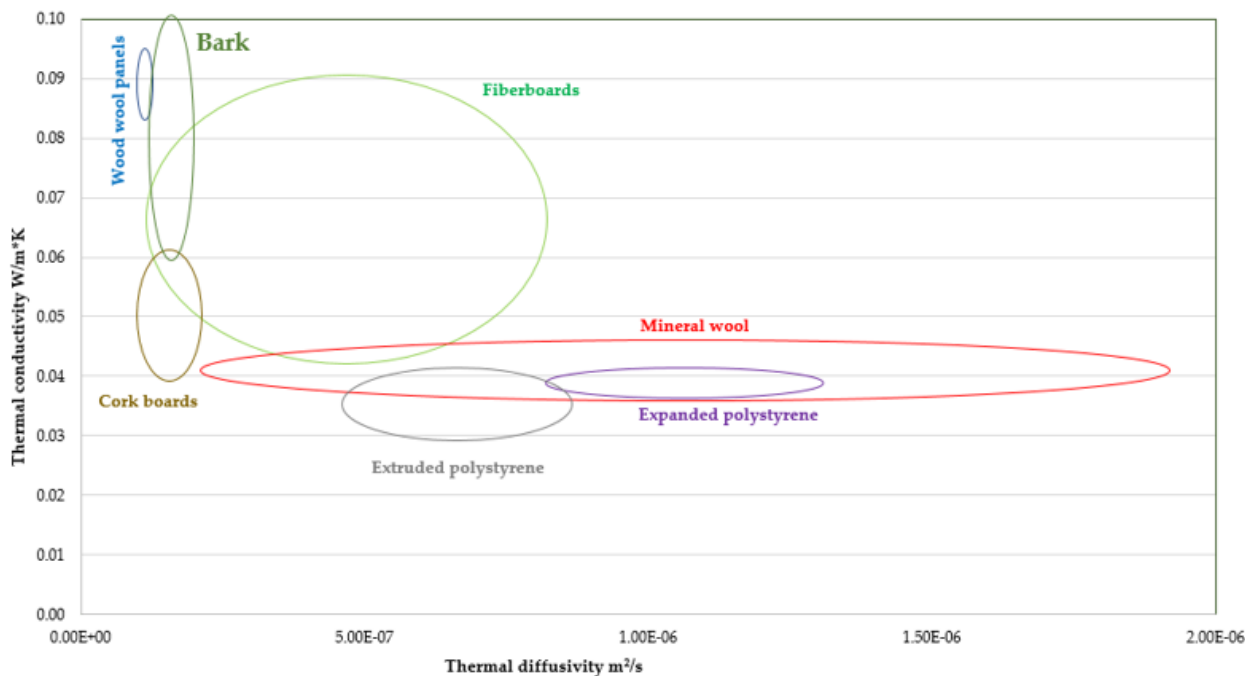


Figura 1.3.2.3 Conductivitatea termică în raport cu difuzivitatea termică a materialelor izolante (Kristak et al. 2021)

Rezultatele acestui studiu au arătat o influență semnificativă a densității asupra conductivității termice a tuturor panourilor pe bază de coajă. Creșterea dimensiunii particulelor, atât paralel, cât și

perpendicular pe direcțiile plane ale panoului, a determinat o creștere corespunzătoare a conductivității termice. Creșterea medie a conductivității termice în direcția perpendiculară față de direcția paralelă a particulelor față de planul panoului este de aproape 20%, ceea ce implică faptul că orientarea particulelor de coajă este un factor important în producerea de panouri izolatoare cu caracteristici specifice.

S-a constatat o scădere semnificativă a difuzivității termice odată cu creșterea dimensiunii particulelor, mai ales în cazul orientării paralele a particulelor de coajă, datorită structurilor diferite ale porilor. În cazul probelor cu particule orientate perpendicular pe planul panoului, a rezultat că dimensiunea particulelor are o influență mai mare asupra difuzivității termice. În cazul în care particulele sunt orientate perpendicular pe planul panoului, conductivitatea termică și difuzivitatea termică sunt mai mari comparativ cu situația în care particulele sunt orientate paralel cu planul panoului. Capacitatea termică specifică nu este influențată în mod semnificativ de densitate, dimensiunea particulelor, cantitatea de adeziv și orientarea particulelor. Studiul de față a arătat că materialele compozite pe bază de coajă de larice pot fi utilizate cu succes în construcții ca plăci termoizolatoare.

1.3.3. [Proprietățile acustice ale panourilor termoizolatoare pe bază de coajă de larice \(Tudor et al. 2021\)*³](#)

Nivelul de zgomot într-o clădire este influențat de o varietate de factori, cum ar fi locația (Camara et al. 2018), planificarea urbană (Mueller et al. 2020), modul în care este proiectată clădirea (Shield et al. 2015), vegetația (Azkorra et al. 2015), elementele de fațadă (Montes González et al. 2018), caracteristicile constructive și selecția materialelor (Tudor et al. 2020b), (Danihelová et al. 2019). O selecție adecvată a materialelor de construcție contribuie în mare măsură la controlul zgomotului în clădiri.

Utilizarea materialelor izolante naturale menținând costuri de producție reduse reprezintă o tendință emergentă în construcții. Numeroase studii au analizat beneficiile tehnice și de mediu ale utilizării materialelor durabile (naturale sau reciclate) ca elemente de bază pentru fabricarea materialelor poroase (granulare sau fibroase) (Dukarska et al. 2021). Aceste materiale lignocelulozice sustenabile și reciclabile prezintă proprietăți de izolare termică și acustică comparabile cu cele ale materialelor izolante clasice (Potkány, Gejdoš & Debnár 2018).

³ Tudor, Eugenia Mariana, Lubos Kristak, Marius Catalin Barbu, Tomáš Gergel, Miroslav Němec, Günther Kain, and Roman Réh. 2021. "Acoustic Properties of Larch Bark Panels" *Forests* 12, no. 7: 887. <https://doi.org/10.3390/f12070887>

Coeficientul de absorbție acustică (α) este măsura eficienței acustice a unui material (Bohatkiewicz 2016) fiind cuprins între 0 (fără absorbție) și 1 (absorbție completă) (Peng 2017). Este folosit pentru a exprima capacitatea unui material de a absorbi undele sonore, respectiv de a transforma energia cinetică a undelor sonore absorbite.

Performanța acustică a materialelor izolatoare realizate din materiale lignocelulozice a fost examinată în diverse cercetări (Asdrubali et al. 2017), (Pedroso, Brito & Silvestre 2017), (Jensen & Alfieri 2021). O serie de produse naturale au fost investigate și testate pentru panouri acustice (Asdrubali, Schiavoni & Horoshenkov 2012), cum ar fi fiber de kenaf, nucleu de cocos, trestie, sisal, in, bambus, coajă de porumb (Hosseini Fouladi, Ayub & Jailani Mohd Nor 2011), (Shahab & Mohanty 2011). Aceste materiale se bucură de tot mai multă popularitate, deoarece sunt neabrazive, regenerabile, ieftine (Jiang et al. 2020), având dezavantajul că absorb o cantitate mare de umiditate (Sari et al. 2016). În plus, sunt influențate de temperatură și au o rezistență anti-fungică/bacteriană scăzută, fiind predispuse la descompunere (Salit 2014). Tratatamentul chimic de suprafață poate reduce aceste dezavantaje (Saha et al. 2010).

Coaja coniferelor poate fi inclusă cu succes în filozofia construcțiilor moderne, considerând utilizarea de materiale cu un impact redus asupra mediului și o proporție mare de materiale reciclate (Kairytė et al. 2020), (Abilleira et al. 2021).

Cercetările anterioare au confirmat că densitatea optimă a plăcilor pe bază de coajă cu proprietăți termoizolante este de 350 kg/m³ (Kain et al. 2014). Coeficientul de absorbție acustică al panourilor pe bază de coajă de molid și de larice a fost parametrul testat pentru un interval de frecvență cuprins între 125 și 4000 Hz (Tudor et al. 2020b). Densitatea plăcilor pe bază de coajă de molid a fost între 400 și 500 kg/m³, iar cea a plăcilor pe bază de coajă de larice între 500 și 700 kg/m³. Analiza rezultatelor a arătat că astfel de panouri prezintă valori comparabile ale coeficientului de absorbție acustică cu cele ale materialelor izolante lignocelulozice deja existente pe piață.






Scopul acestui studiu este de a compara valorile coeficienților de absorbție acustică (în funcție de frecvență) pentru diferite tipuri de panouri pe bază de coajă de larice și de a analiza dacă aceste valori sunt comparabile cu alte materiale absorbante produse la scară industrială, apoi de a determina potențialul panourilor pe bază de coajă ca element utilizat în structurile de delimitare (de exemplu în panourile de pe marginea autostrăzilor sau din gări) care ar îndeplini și funcția acustică.

Dependența coeficientului de absorbție acustică de frecvență a fost determinată pentru nouă tipuri de panouri pe bază de coajă. Factorii cuprinși în designul experimental privesc dimensiunea particulelor, densitatea, grosimea și procentul de adeziv (Tabelele 1.3.3.1 și 1.3.3.2).





Coeficientul de absorbție acustică al panourilor pe bază de coajă de larice a fost comparat cu valorile materialelor izolatoare disponibile în comerț (Tabelele 1.3.3.3 și 1.3.3.4).

Pentru măsurătorile acustice, au fost utilizate eșantioane cu diametrul de 30 mm și 100 mm și cu grosimi de 30 și 60 mm.






Tabelul 1.3.3.1. Prezentare generală a parametrilor epruvetelor realizate din plăci pe bază de coajă de larice (I).

Panou nr.	1	2	3	4	5
					
Dimensiunea particulei (mm)	4 – 11	4 – 11	10 – 45 (with popcorn)	10 – 30	4 – 11
Orientarea	paralel	perpendicular	paralel	paralel	paralel
Densitate (kg/m ³)	688 ± 14	344 ± 7	308 ± 8	477 ± 25	536 ± 11
Adeziv (%)	10	10	20	10	10





Tabelul 1.3.3.2. Prezentare generală a parametrilor epruvetelor realizate din plăci pe bază de coajă de larice (II).

Panou nr.	6	7	8	9
Image				
Dimensiunea particulei (mm)	10 – 30	10 – 30	4 – 11	10 – 30
Orientarea	perpendicular	paralel	paralel	perpendicular
Densitate (kg/m ³)	354 ± 8	369 ± 12	362 ± 9	470 ± 6
Adeziv (%)	20	20	10	10

Tabelul 1.3.3.3. Prezentare generală a parametrilor materialelor izolante testate disponibile în comerț (I)

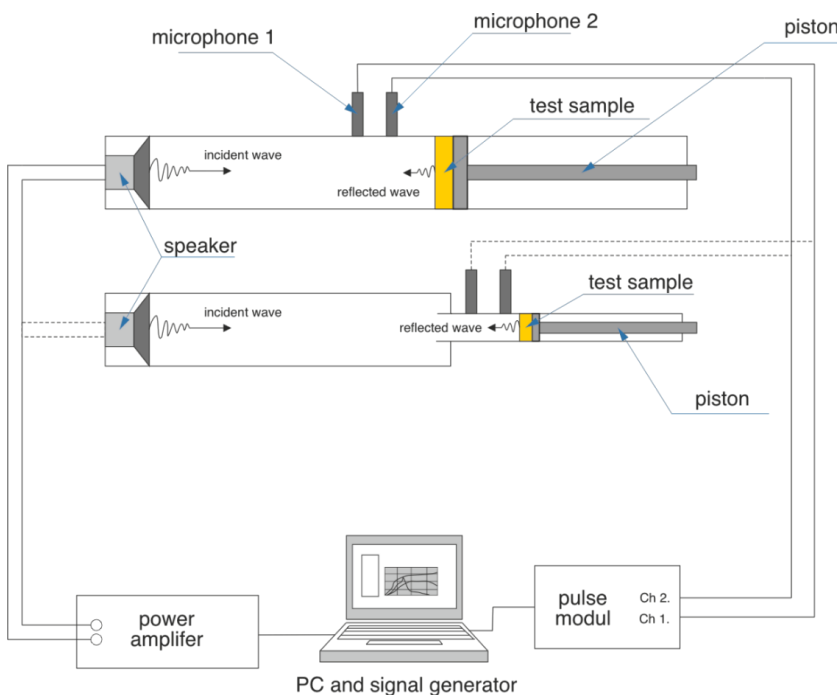
Panou	Polistiren grafit	Polistiren alb	Polistiren extrudat	MDF	Textile reciclate
					
Densitate (kg/m ³)	30 ± 1.9	25.2 ± 0.2	35.1 ± 0.5	59.9 ± 1.2	59.8 ± 1.09

Tabelul 1.3.3.4. Prezentare generală a parametrilor materialelor izolante testate disponibile în comerț (II)

Panou	Vată minerală	Masonit	Paie	Plută
Image				
Densitate (kg/m ³)	100 ± 15	265 ± 21	250 ± 23	280 ± 1

Măsurarea coeficientului de absorbție acustică a fost efectuată în conformitate cu EN ISO 10534-2. Aceasta este o metodă de măsurare a absorbției acustice cu două microfoane și se bazează pe descompunerea unui semnal aleatoriu în bandă largă într-un semnal de la sursă și un semnal reflectat. Funcția complexă de transfer acustic este calculată din valorile obținute ale presiunii acustice. În acest mod se măsoară coeficienții de absorbție acustică și de reflexie pentru un anumit interval de frecvențe (Danhelová et al. 2019).

Dispozitivul de măsurare este format dintr-un tub de impedanță (Kundt) Brüel & Kjær tip 4206, un sistem PULSE 14, modul LAN-XI Brüel & Kjær tip 3050 cu două intrări active și analiză CPB (Constant Percentage Band - lățimea procentuală constantă a benzii de frecvență), un generator de semnale acustice provenind de la două microfoane identice și un computer pentru afișarea și stocarea datelor măsurate (Figura 1.3.3.1).

**Figura 1.3.3.1** Schema aparatului pentru măsurarea coeficientului de absorbție acustică

Măsurarea coeficientului de absorbție a sunetului a fost efectuată în intervalul de frecvențe de la 20 Hz la 1600 Hz, utilizând un tub Kundt cu un diametru de 100 mm, iar în intervalul de frecvențe de la 1600 la 6400 Hz, utilizând un tub Kundt cu un diametru de 30 mm. Pentru măsurarea coeficientului de absorbție acustică, epruvetele au avut o secțiune transversală circulară corespunzătoare cu o grosime de 30 mm și, respectiv 60 mm. Au fost realizate patru epruvete pentru fiecare eșantion.

Coeficientul de reducere a zgomotului (NRC) este definit ca media aritmetică a coeficientului de absorbție corespunzător benzilor centrate la 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz și 2.000 Hz, rotunjită la cea mai apropiată valoare de 0,05. Coeficientul de absorbție a unui material depinde de mai mulți factori, și anume: grosimea materialului, porozitatea materialului, densitatea materialului, distanța dintre materialul absorbant și peretele rigid, geometria suprafeței absorbante.

Pe baza acestui parametru, eșantioanele au fost evaluate în clase de absorbție acustică (A-E), în care clasa de absorbție A este cea mai bună, fiind determinată în conformitate cu EN ISO 11654:2017 (Figura 1.3.3.2).

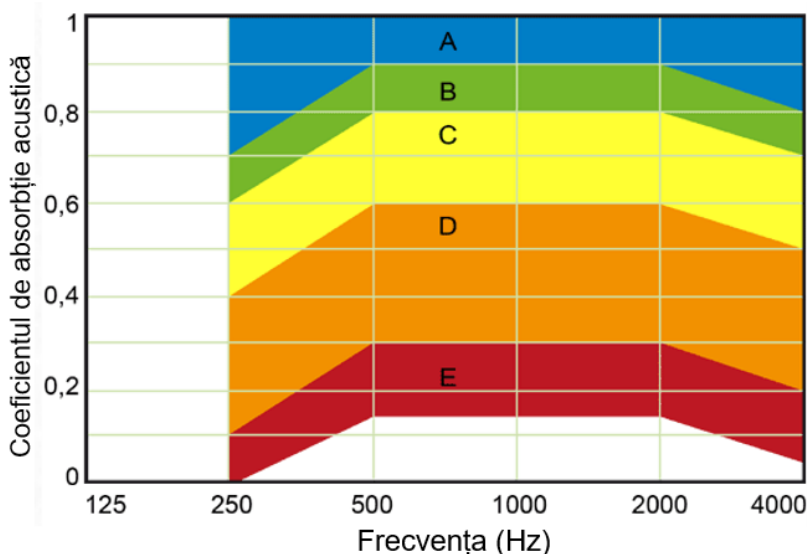


Figura 1.3.3.2 Clasele de absorbție acustică A – E în intervalul de frecvențe 125-4000 Hz

Coeficientul de absorbție acustică

Epruvetele au fost testate prin determinarea coeficientului de absorbție acustică utilizând metoda tubului Kundt de impedanță. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în Figurile 1.3.3.3 și 1.3.3.4 Pentru o mai bună înțelegere, graficele coeficientului de absorbție acustică în funcție de frecvență sunt prezentate în două perechi de diagrame. Intervalul de frecvență analizat este cuprins între 50 și 6400 Hz. În Figura 1.3.3.3 este prezentat coeficientul de absorbție acustică pentru epruvete cu grosimea de 30 mm, iar în Figura 1.3.3.4 este prezentat coeficientul de absorbție acustică pentru

epruvetele de 60 mm. Graficele sunt grupate în funcție de dimensiunea particulelor de coajă (prima pereche - fracțiunea cuprinsă între 4 și 11 mm și a doua pereche - fracțiunea cuprinsă între 10 și 30 mm).

Valorile coeficientului de absorbție acustică pentru panoul de tip 3, Tabelul 1.3.3.1 (compozit pe bază de coajă de larice și floricele de porumb - popcorn) nu este reprezentat în Figurile 1.3.3.3 și 1.3.3.4. Această combinație de materiale s-a dovedit a fi problematică în determinarea coeficientului de absorbție acustică prin metoda funcției de transformare. Rezultatele pentru acest tip de panou din popcorn și coajă pot fi descrise ca neconcludente din cauza golurilor de aer mari și neregulate dintre elementele individuale ale plăcii. Acest lucru nu a asigurat condiția de repetabilitate a măsurătorilor. Această placă pare a fi, de asemenea, instabilă în structura reală.

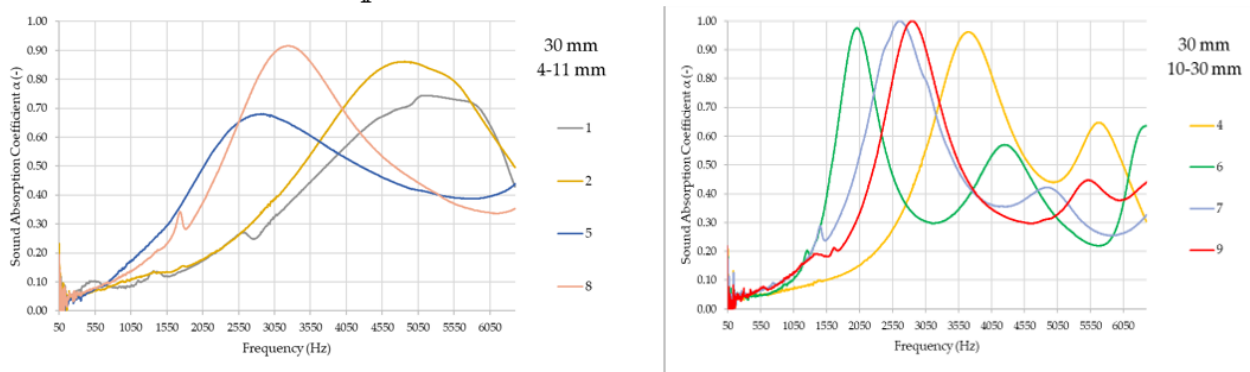


Figura 1.3.3.3 Coeficientul de absorbție acustică în funcție de frecvență pentru epruvetele testate din panouri de coajă 1,2,5 și 8 cu o grosime de 30 mm și o dimensiune a particulelor de 4 și 11 mm, respectiv 10-30 mm.

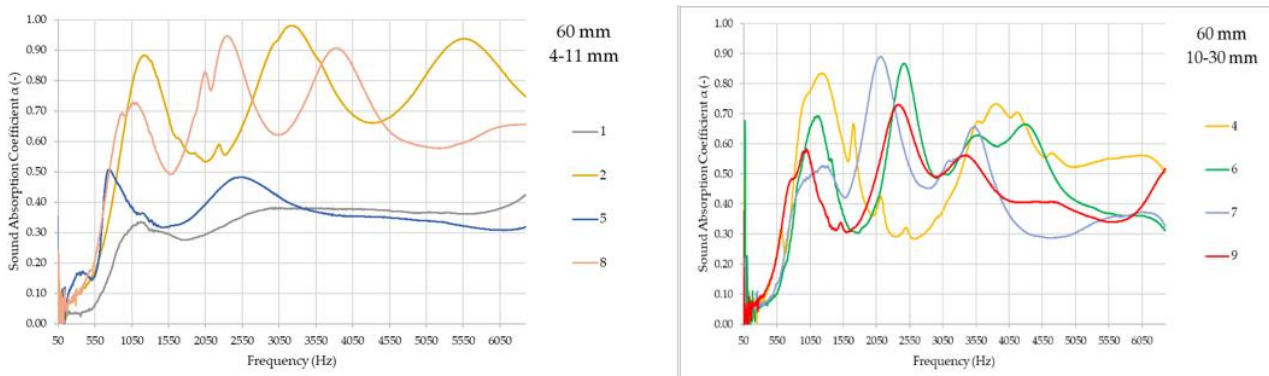


Figura 1.3.3.4 Coeficientul de absorbție acustică în funcție de frecvență a epruvetelor testate din panourile de coajă 4,6,7 și 9 cu o grosime de 60 mm și o fracțiune de granulație de 4 și 11 mm, respectiv 10-30 mm.

Coeficientul de absorbție acustică în funcție de frecvență pentru probele testate cu o grosime de 60 mm este prezentat în Figura 1.3.3.4. În cazul eșantioanelor de 60 mm se formează mai multe vârfuri, iar primele valori maxime α sunt prezente la lungimi de undă mai mici, ceea ce reprezintă pozitiv pentru reducerea zgomotului (pentru ambele seturi de particule, cu 4-11 mm și 10-30 mm).

Capacitatea de absorbție a materialului crește odată cu creșterea grosimii panoului, această tendință fiind prezentă și la frecvențe mai joase. Aceste rezultate sunt în concordanță cu concluziile studiilor anterioare privind materialele poroase, care au arătat că absorbția sunetului la frecvențe joase are o relație directă cu grosimea (Boubel et al. 2021). O creștere a grosimii panoului compozit asigură, de asemenea, o mai bună absorbție a undei sonore (Harrison 2004). Această îmbunătățire a absorbției sunetului a fost cel mai bine observată la tipurile de plăci 2 și 8.

Celelalte epruvete au prezentat proprietăți acustice mai bune în cazul frecvențelor mici. Doar epruvetele de tip 1 și 5 au prezentat însă tendințe diferite. Aceasta se datorează structurii lor (densitate mare și porozitate scăzută). Structura densă absoarbe mai prost sunetul la frecvențe joase. Densitatea mai mică a panoului este corelată cu o porozitate mult mai mare a materialului. După cum se poate observa analizând rezultatele, densitatea mai mică și porozitatea mai mare a panoului permit sunetului să pătrundă mai ușor în material, fapt care a determinat o absorbție mai mare a energiei sonore, deci o absorbție acustică mai bună (Arenas & Asdrubali 2017).

Această teorie explică, de asemenea, diferențele datorate cantității de adeziv folosite pentru fiecare panou compozit. După cum se poate observa în Figurile 1.3.3.3 și 1.3.3.4 coeficientul de absorbție acustică crește odată cu creșterea conținutului de rășină. Acest lucru este în concordanță cu faptul că, prin utilizarea unei cantități mai mari de adeziv, se formează pori mai mici în material, ceea ce determină creșterea rezistivității la trecerea aerului (Hassani et al. 2021). Rezultatele privind influența densității, porozității, grosimii plăcii asupra absorbției acustice au fost, de asemenea, confirmate de (Akay 2002) și (Tudor et al. 2020b).

Absorbția sunetului este mai bună în cazul particulelor cu granulație fină (4 până la 11 mm) și densități mai mici ($<500 \text{ kg/m}^3$). Îmbunătățirea absorbției acustice se datorează în principal structurii diferite a porilor. Atunci când unda sonoră se propagă prin pori, moleculele de aer din pori vor vibra, iar astfel energia sonoră se transformă în energie termică sub acțiunea vâscozității aerului (Soltani & Zerrebini 2012) și (Amares et al. 2017). Pe de altă parte, există un transfer de energie suficient pentru un nivel acceptabil de porozitate a materialului. Din acest motiv epruvetele provenind din panouri realizate din particule de coajă cu granulație mai mare au absorbit mai mult sunet la frecvențe mai joase. Rezultatele privind o absorbție mai bună pentru panouri din particule de coajă cu granulație fină au fost confirmate și în cercetările efectuate de (Karlinasari et al. 2012) în cazul panourilor de bambus. Rezultatele sunt, de asemenea, în concordanță cu concluziile studiului realizat de (Boubel et al. 2021). Autorii au studiat dependența coeficientului de absorbție acustică pentru sequoia (așchii și rumeguș). Concluziile acestui studiu au arătat că absorbția acustică este ridicată pentru întreaga gamă de frecvențe, crescând pe măsură ce dimensiunea particulelor scade (dimensiunile particulelor au fost $>1,25 \text{ mm} < 16 \text{ mm}$).

Coeficientul de reducere a zgomotului

Valorile coeficientului de reducere a zgomotului (NRC) pentru plăcile de coajă de larice sunt prezentate în Tabelul 1.3.3.5. A fost alocată clasa de absorbție acustică E pentru o grosime de 30 mm, cu excepția epruvetei de tip 6, care se încadrează în clasa D de absorbție sonoră. La dublarea grosimii panoului (de la 30 la 60 mm) pentru epruvetele 2, 4, 6, 7, 8 și 9, valoarea NRC se încadrează, de asemenea, în clasa de absorbție acustică D. Cele mai bune rezultate pentru valoarea absolută a NRC (0,4, 0,4 respectiv 0,50) au fost determinate pentru seturile 2, 7 respectiv 8 ale panourilor pe bază de coajă de larice cu o grosime de 60 mm.

Tabelul 1.3.3.5 Coeficientul de reducere a zgomotului (NRC) pentru plăcile din coajă de larice (* eșantionul 3 a fost eliminat din cauza rezultatelor neconcludente).

Epruveta	NRC pt 30 mm	NRC pt 60 mm
1	0.10	0.15
2	0.10	0.40
3	*	*
4	0.10	0.35
5	0.20	0.25
6	0.30	0.30
7	0.20	0.40
8	0.15	0.50
9	0.15	0.35

Panourile pe bază de coajă de larice (Figura 1.3.3.5) au fost comparate (pe baza NRC) cu alte materiale disponibile în comerț pentru a analiza potențialul lor ca elemente fono și termoabsorbante.

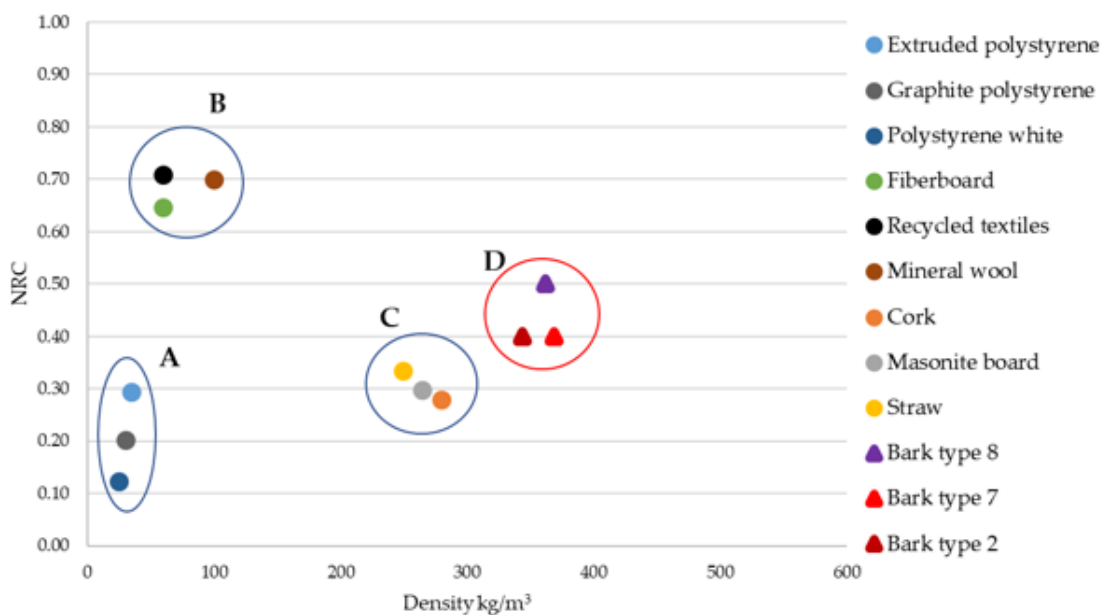


Figura 1.3.3.5 Valoarea NRC a materialelor fonoabsorbante grupate pe categorii de densitate

Din Figura 1.3.3.5 rezultă că materialele pe bază de polistiren (polistiren extrudat, polistiren alb și polistiren grafitat), care sunt grupate în zona A, au o densitate foarte mică (25-35 kg/m³), iar valorile NRC sunt cuprinse între 0,1 și 0,3. Zona B conține materiale tipice de izolare fonică (panouri din fibre foarte moi, textile reciclate, vată minerală) cu o densitate cuprinsă între 60 și 120 kg/m³, pentru care NRC se încadrează între 0,65 și 0,75. Zona C aparține izolațiilor naturale pe bază de celuloză (plută, plăci din fibre de lemn moi și paie) cu o densitate cuprinsă între 250 și 280 kg/m³, având NRC cuprinse între 0,25 și 0,35.

Majoritatea materialelor izolante convenționale (cum ar fi polistirenul, spumele poliuretanică, vata minerală), din substanțe petrochimice, sunt ușor de instalat, însă nu se pot recicla și nu rezistă la temperaturi ridicate, respectiv foc (Aditya et al. 2017).

Panourile pe bază de coajă de larice sunt incluse în grupa D, a izolațiilor naturale pe bază de materii prime asemănătoare cu cele din grupa C. Densitatea lor este puțin mai mare (aproximativ 350 kg/m³) și prezintă o izolare fonică mai bună (NRC este cuprins între 0,40 și 0,50). Din grupa C, materialele compozite pe bază de paie și plută, alături de panourile din coajă de larice de tip 2, 7 și 8 (grupa D) prezintă proprietăți bune de izolare termică, nu au efecte nocive asupra sănătății, fiind disponibile în cantități mari, deseori ca produse reziduale ale altor cicluri de producție. Compozitele pe bază de coajă au rezistență naturală excelentă împotriva microorganismelor și rezistență bună la foc (Tudor et al. 2020c).

NRC este necesar la ierarhizarea materialelor în funcție de clasele de absorbție. Pentru o comparație mai precisă, în cazul materialelor cu un coeficient de absorbție acustică fluctuant, este necesară analiza întregului spectru de frecvențe. Figura 1.3.3.6 prezintă o comparație a coeficienților de absorbție acustică pentru materialele disponibile în comerț (pe bază de paie, fibre din lemn sau polistiren grafit) cu un panou din coajă de larice. După cum se poate observa din Figura 1.3.3.6, coeficientul de absorbție a sunetului este variabil pentru materialele cu un coeficient de absorbție acustică fluctuant. Placa pe bază de coajă de larice de tip 8 a fost selectată din grupa D, deoarece a prezentat cele mai bune proprietăți acustice (coeficient de absorbție acustică de 0,9 la 2250 Hz și 3575 Hz). Eșantioanele au avut o grosime de 60 mm, iar coeficientului de absorbție acustică este cuprins în intervalul de frecvență de la 50 Hz la 6.400 Hz.

Compozitul pe bază de coajă de larice de tip 8 (Tabelul 1.3.3.2) prezintă o valoare relativ bună a coeficientului de absorbție acustică, comparativ cu panoul realizat din paie, pentru frecvențe de până la 1 kHz. Acest rezultat este în concordanță cu concluziile formulate de (Dance & Herwin 2013) și (Deverell et al. 2009). Panourile din paie de cereale absorb sunetul mai bine la frecvențe mai mari de 3 kHz datorită structurii compozitului (Dance & Herwin 2013). Panoul din polistiren-grafit nu prezintă proprietăți acustice semnificative. Diagrame asemănătoare se pot trasa pentru materialele cu

o structură granulară cu pori închiși (Schiavoni et al. 2016). Compozitul din coajă de larice are o valoare ușor mai mică a coeficientului de absorbție acustică în întregul spectru de frecvențe față de un panou de fibre cu densitate mică, diferența fiind pregnantă la frecvențe mai mari de 3575 Hz.

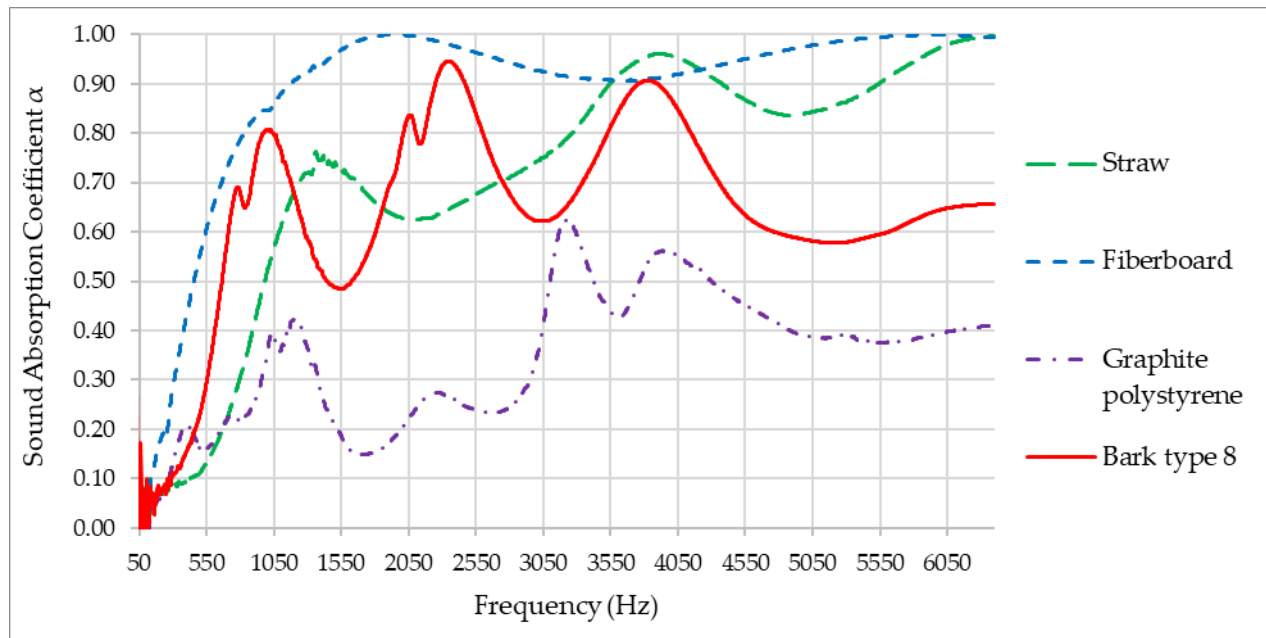


Figura 1.3.3.6 Coeficientului de absorbție acustică pentru intervalul de frecvență 50-6050 Hz pentru diferite tipuri de materiale (panouri din paie, polistiren grafit, fibre din lemn și coajă de larice)

Densitatea optimă a plăcii pe bază de coajă ar trebui să fie de aproximativ 350 kg/m^3 pentru a îndeplini rolul fonoizolant. Această densitate coincide cu densitatea panourilor pe bază de coajă care prezintă proprietăți termoizolante. Pentru densități mai mari de 500 kg/m^3 , datorită structurii lor (densitate mare și porozitate scăzută) și grosimii mari, plăcile pe bază de coajă se comportă ca materiale capabile să reflecte undele sonore.

Rezultatele acestui studiu au arătat că absorbția acustică este mai bună pentru particule cu granulație fină (4-11 mm) și densități mai mici comparativ cu probele realizate din particule cu granulație grosieră (10-30 mm). Pentru panoul fabricat dintr-un amestec de particule de coajă de larice și popcorn a fost dificilă determinarea coeficientului de absorbție acustică din cauza golurilor de aer mari și neregulate dintre elementele constitutive.

În cazul epruvetelor provenite din panouri având cu o grosime de 60 mm, în diagrama coeficientului de absorbție a sunetului (Figura 1.3.3.4) se observă mai multe vârfuri, primele maxime apărând în cazul lungimilor de undă mai mici comparativ cu eşantioanele provenite din panouri de 30 mm. Cea mai semnificativă îmbunătățire a coeficientului absorbției acustice s-a înregistrat pentru

panourile 2 și 8. Analizând NRC, panourile din seria 7 sunt cele mai performante. Acestea sunt cuprinse în clasa de absorbție acustică D pentru o grosime de 60 mm.

Panourile din coajă de larice prezintă proprietăți de absorbție a sunetului relativ bune în comparație cu materialele pe bază de polistiren, nedepășind însă performanțele plăcilor din fibre de lemn ușoare sau materialelor textile. Panourile pe bază de coajă de larice pot contribui la extinderea viziunii moderne asupra materialelor de construcții sustenabile: utilizarea unor panouri cu densitate redusă, conductivitate termică scăzută, difuzie termică excelentă, capacitate mare de stocare a căldurii și rezistență naturală ridicată împotriva microorganismelor și a focului. Pentru studii viitoare este recomandabil să se ia în considerare o grosime a panourilor mai mare de 50 mm în scopul îndeplinirii unei funcții acustice corespunzătoare. Pentru panouri cu grosimi mai mici de 50 mm absorbția acustică nu este eficientă, din cauza spațiilor mari din material umplute cu aer.

1.3.4. Proprietățile compozitelor pe bază de ciment armate cu coajă de molid și larice (Urstöger et al. 2021)⁴) Tudor E.M. autor corespondent

Utilizarea resurselor lignocelulozice combinate cu ciment ca materii prime pentru construcții reprezintă un subiect de cercetare interesant. Compozitele lemn-ciment (WCC – Wood Cement Composite) au la bază ciment, apă și aşchii de lemn. WCC sunt utilizate de peste un secol pentru producerea de materiale rezistente la apă și la foc, precum și fonoabsorbante pentru aplicații în construcții exterioare. Acestea sunt incluse în grupul panourilor din lemn-ciment, fiind realizate din aşchii de lemn (inclusiv lână din lemn) sau particule provenite din reziduuri sau fibre ligno-celulozice (Paulitsch & Barbu 2015). Materialele pe bază de lemn și ciment sunt fabricate la nivel industrial ca panouri aglomerate, panouri din fibre sau lână din lemn, cărămizi și ca elemente de izolare fonică în construcții (Paulitsch & Barbu 2015). WCC se caracterizează prin rezistență ridicată la intemperii, protecție împotriva atacului insectelor și al ciupercilor, rezistență la foc și proprietăți de absorbție fonică (Wassilieff 1996), (Dunky & Niemz 2002), (Botterman et al. 2018).

Aceste compozite nu au emisii de formaldehidă datorită liantului anorganic și pot fi fabricate cu o anumită cantitate de material reciclat (Pereira et al. 2006). Datorită comportamentului exotermic al reacției, întărirea cimentului poate fi monitorizată prin măsurarea temperaturii de hidratare. Curbele constau din trei faze: a) creșterea inițială a temperaturii, b) perioada de latență (temperatura rămâne constantă sau scade ușor) și c) întărirea cimentului (Moslemi & Lim 1984). WCC au fost utilizate de la începutul secolului XX, în principal ca panouri din ciment și amestecate cu rumeguș sau cu lână

⁴ Urstöger, Johannes, Marius Cătălin Barbu, Thomas Pacher, Alexander Petutschnigg, Johannes Jorda, and Eugenia Mariana Tudor. 2021. "Selected Properties of Cement Bound Spruce and Larch Bark Bio-Aggregates" *Polymers* 13, no. 24: 4438. <https://doi.org/10.3390/polym13244438>, 1 citation (WOS)

de lemn (Paulitsch & Barbu 2015). Datorită densității sale scăzute (față de beton), WCC este inclus în categoria compozitelor ușoare din beton. În funcție de raportul de amestecare și de compresie, se poate obține o densitate aparentă între 400 și 1700 kg/m³ (Sonntag 2003). Incompatibilitatea fundamentală dintre lemn și ciment face dificilă fabricarea WCC. Factorii de influență, cum ar fi valoarea total diferită a pH-ului lemnului și a cimentului, compoziția și cantitatea variabilă de substanțe extractive și structura polizaharidică a celulozei și hemicelulozei din diferite specii de lemn au un efect predominant negativ asupra fazelor de hidratare a cimentului (Vaickelionis & Vaickelioniene 2006). Datorită structurii chimice a cimentului și a celulozei, punțile de hidrogen ale probelor umede sunt distruse din cauza inserției moleculelor de apă între grupele hidroxil de legătură (Frybort et al. 2008). Hemicelulozele, amidonul, zaharurile, fenolii și acizii, alături de componentele principale și secundare ale lemnului, tind să împiedice hidratarea cimentului, determinând o priză mai lungă și limitând rezistența compozitului cimentat din cauza microfracturării matricei (Frybort et al. 2008; Lin et al. 1994).

Întărirea cimentului este un proces exoterm. Diagrama temperatură-timp poate fi utilizată pentru a evalua compatibilitatea dintre substanțele lignocelulozice și ciment (Pereira et al. 2006). Din astfel de grafice sunt interesante, de exemplu, valori precum T_{max} (panta maximă în timpul fazei de întărire a cimentului), t_{max} (timpul până la T_{max}) și I-Index (indice de inhibiție) (Sandermann & Brendel 1956), (Hofstrand et al. 1984). Proprietățile fizice și mecanice ale WCC sunt influențate semnificativ de speciile de lemn, de tratamentele particulelor și de proporțiile amestecului (Garcez et al. 2016). Pe lângă particulele de lemn (Li, Khelifa & El Ganaoui 2017), și coaja a fost studiată în compozitele cu ciment.

Bioagregatele pe bază de ciment și coajă au fost studiate de (Karade 2015) ca panouri izolatoare ecologice. Autorii au afirmat că anumite specii de scoarță, datorită cantității mari de substanțe extractive conținute, pot împiedica întărirea cimentului. Efectele fibrelor din coajă de *Eucalyptus globulus* asupra proprietăților mecanice ale betonului tradițional au fost evaluate de (Mansilla et al. 2020). Rezultatele acestui studiu recomandă utilizarea fibrelor din scoarță de *Eucalyptus globulus* în numeroase domenii de aplicații ale betonului, cum ar fi: drumuri rezidențiale, agricole, comerciale, tuneluri, produse prefabricate din beton etc. Proprietățile fizico-mecanice ale compozitului realizat din deșeuri din granule de plută și ciment au fost analizate de (Merabti et al. 2021), care au constatat că acest material ar putea fi utilizat pentru elemente neportante. (Karade, Irle & Maher 2006) au studiat compatibilitatea granulelor de plută (*Quercus suber*) cu cimentul la fabricarea de compozite ușoare din ciment. Studiul s-a axat pe efectele compoziției chimice, dimensiunea și densitatea granulelor de plută asupra proprietăților compozitelor de plută-ciment. La un conținut de 10 % de plută în amestec, doar substanțele extractive au o influență asupra modului în care decurge hidratarea.

La 20 % și 30 % plută, compatibilitatea dintre aceste materiale este determinată de dimensiunea și densitatea particulelor. Cu toate acestea, conform acestui studiu, se constată că granulele de plută sunt compatibile cu cimentul. (Eusebio et al. 1996) au investigat utilizarea scoarței de *Cryptomeria japonica* în compozite cu ciment. Rezultatele acestui studiu au evidențiat rolul inhibitor al scoarței asupra hidratării cimentului. Prin adăugarea de clorură de magneziu și silicat de sodiu, hidratarea compozitului a funcționat mai bine, având ca efect o ușoară creștere a rezistenței la compresiune a materialului. Adăugarea de clorură de magneziu a determinat îmbunătățirea rezistenței la încovoiere și a coeziunii interne, în cazul aplicării metodei convenționale de presare la cald. În cazul modelării prin injecție cu abur, s-a constatat că aditivul tip silicat de sodiu are o influență semnificativă asupra compozitului. Cu toate acestea, proprietățile compozitelor din ciment și coajă nu au reușit să întrunească specificațiile din normative.

Scopul studiului (Urstöger et al. 2021) este de a analiza compatibilitatea dintre ciment și patru specii diferite de coajă de molid, larice, pin și plop asupra hidratării compozitului. De asemenea, s-a determinat în ce măsură compozite din ciment și coajă pot fi utilizate ca materiale de construcție.

Materiile prime utilizate pentru teste au fost: scoarță de molid (*Picea abies*), larice (*Larix decidua* Mill.), pin (*Pinus sylvestris*) și plop (*Populus alba*), provenind de la fabrica de cherestea Rupert Deisl Co. din Adnet, Austria. Coaja a fost mărunțită cu un sistem cu patru arbori R40 (Untha shredding technology Co., Kuchl, Austria), adusă la un conținut de umiditate (u) de 14 – 15 % cu ajutorul unui sistem de uscare cu aer proaspăt/aer de evacuare (Hildebrand-Brunner Co., Hanovra, Germania) și apoi fracționată în particule < 3 mm, 3 – 7 mm și 7 – 12 mm. Liantul aplicat a fost ciment compozit Portland CEM II A-LL 42,5 N “PROFI-CEM” de la Zementwerk Leube Co. (St. Leonhard, Austria) plus material reciclat (provenit din teste preliminare) din coajă mixată cu ciment, cu dimensiunea particulelor $1 < x < 4$ mm. Pentru testele de hidratare a fost inclus, de asemenea, CEM I 52,5 R “Premium” (Leube, Austria).

Determinarea temperaturii de hidratare se bazează pe studiul efectuat de (Wei, Guang Zhou & Tomita 2000). Pregătirea probelor în vederea hidratării a fost următoarea: 15 g de pulbere de coajă cu MC 0 % (molid, larice, pin, plop), 200 g de ciment (CEM II A-LL 42,5 N, CEM I 52,5 R) și 90 g de apă au fost amestecate într-un recipient (valoarea W/B de 0,45, reprezentând raportul dintre masa de apă totală și masa de liant; s-au utilizat trei probe pentru fiecare tip de coajă). Pentru a evita influențele climatice, probele au fost plasate într-o cutie de testare din polistiren izolată termic, în condiții de mediu ambiant constant (20 ± 1 °C; 65 % umiditate relativă a aerului). Termocuplul conectat la înregistratorul de date Testo 177 T4 (Testo Co., Viena, Austria) a fost introdus în mijlocul eșantionului (Figura 1.3.4.1) pentru a măsura temperatura pe o durată de 45 - 72 de ore. Intervalul de măsurare a fost setat la 5 minute. Proba martor a fost realizată din pastă de ciment pur. Pentru a trasa

valori comparative în graficul temperaturii de hidratare, în ambele teste au fost pregătite suplimentar probe din aşchii de lemn și de pastă de ciment pură. În testele cu CEM II, probele de control au fost produse cu aşchii de molid și material reciclat în conformitate cu rețetele pentru procedurile industriale de producere a acestor plăci, iar pentru compozitele cu CEM I probele au fost realizate exclusiv cu aşchii de molid.



Figura 1.3.4.1. Montaj experimental pentru măsurarea temperaturii de hidratare a compozitelor coajă-ciment

Inițial, conținutul de umiditate a cojii a fost crescut de la 14 – 15 % la aproximativ 100 % prin imersare în apă timp de 24 de ore pentru a nu modifica și a nu influența valoarea W/B. Ulterior, particulele de coajă au fost amestecate în stare uscată cu ciment și material reciclat într-un malaxor ENT tip WHB-75 și s-a adăugat proporția necesară de apă. Au fost utilizate două grupuri de testare în funcție de fracțiunile de scoarță (Tabelul 1.3.4.1). Grupa de testare 1 (TG 1) a fost produsă cu particule de scoarță cu dimensiunea < 3 – 12 mm, iar grupa de testare 2 (TG 2) cu particule de coajă de < 3 – 7 mm. Au fost testate două metode diferite de compactare (presare) pentru compozitele scoarță-ciment folosind cleme de strângere cu șurub (CS), precum și o presă hidraulică (PH) Höfer HLOP 280 (Höfer, Taiskirchen, Austria) (Tabelul 1.3.4.1).

Tabelul 1.3.4.1. Design experimental pentru compozitele pe bază de coajă și ciment. Notă: CS, cleme de strângere cu șurub; PH, presa hidraulică.

Dimensiuni particule coajă (mm)	Tip coaja	Nr. eșantioane	Compactare	Ciment (%)	Apă (%)	Proporție particule (%)			Material reciclat (%)
						< 3 mm	3 - 7 mm	7 - 12 mm	
TG 1 < 3 - 12	molid	n = 17	CS	39.26	19.64	9.86	12.30	12.30	6.64
		n = 5	PH						
	larice	n = 9	CS						
		n = 9	PH						
TG 2 < 3 - 7	molid	n = 9	CS	39.26	19.64	9.86	24.60	-	6.64
		n = 6	PH						
	larice	n = 9	CS						
		n = 9	PH						

Pe baza unei densități țintă de 750 kg/m^3 și dimensiunilor de $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ (Figura 1.3.4.2), fiecare eșantion trebuie să conțină $0,75 \text{ kg}$ de material în amestec. În realitate, prin aplicarea rețetei s-au generat $0,93 \text{ kg}$ per eșantion, ceea ce se datorează cantității de apă necesară pentru a asigura un conținut de umiditate a cojii de 100% .

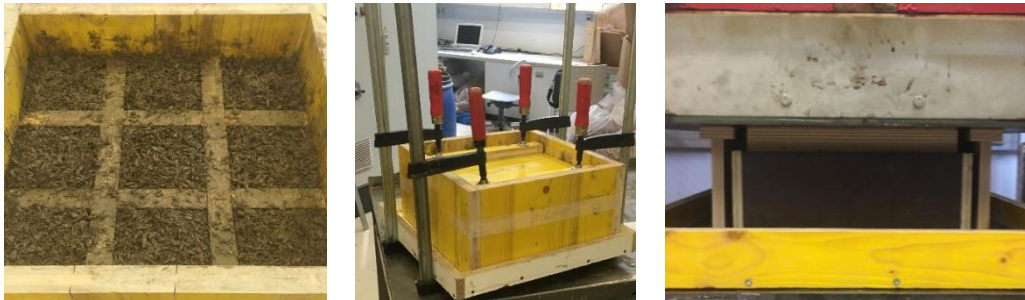


Figura 1.3.4.2. Epruvete de $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ realizate într-o cutie compartimentată din placaj (stânga); compactare cu cleme de strângere cu șurub (mijloc) și compactare cu presă hidraulică (dreapta).

În funcție de tipul de compactare (CS sau PH), compozitele mixate cu ciment au fost introduse în matrițe timp de 48 de ore cu CS (9 probe individuale) sau presate la rece (la $20 \text{ }^\circ\text{C}$) timp de 10-minute cu presa hidraulică de laborator Höfer HLOP 280 (un bloc de 9 probe de testare, Figura 1.3.4.2, stânga). Probele au fost păstrate la $20 \text{ }^\circ\text{C}$ și 65% umiditate relativă a aerului timp de 28 de zile, timp obligatoriu necesar întăririi cimentului. Valoarea W/B a compozitului a fost $0,5$. Densitatea epruvetelor de testare a fost măsurată în conformitate cu EN 323:2005. Rezistența la compresiune a fost determinată în conformitate cu EN 826:2013.

Rezistența la compresiune (σ_m) sau tensiunea de compresiune determinate până la 10% compresiune (σ_{10}) au fost măsurate cu mașina universală de testat Zwick/Roell 250 (Ulm, Germania) (Figura 1.3.4.3).



Figura 1.3.4.3. Măsurarea rezistenței la compresiune determinate până la 10% compresiune a epruvetei de $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ cu ajutorul mașinii universale de testat Zwick/Roell 250.

Prima parte a acestui subcapitol cuprinde analiza modului de hidratare al cimentului și al bioagregatelor pe bază de scoarță de molid, larice, pin și plop. În a doua parte va fi prezentată o analiză cantitativă a comportamentului termic al amestecurilor apă-ciment-coajă. În final, vor fi analizate densitatea și rezistența la compresiune a grupurilor de testare.

Conform (Wei, Guang Zhou & Tomita 2000), un prim vârf de temperatură se înregistrează în prima oră a reacției de hidratare pentru toate cele patru specii de scoarță și două tipuri de ciment (CEM II A - LL 42,5 N, CEM I 52,5 R). Există o diferență semnificativă între coaja de conifere și cea de foioase în ceea ce privește reacția de hidratare a amestecului, cu excepția cojii de pin în testul cu CEM I. Toate măsurătorile efectuate cu coaja de conifere au prezentat un al doilea vârf de temperatură în intervalul 16 - 23 de ore. Acest lucru este în concordanță cu constatările studiului (Wei, Guang Zhou & Tomita 2000). Acesta sugerează că diferențele de compoziție chimică dintre coaja de conifere și cea de lemn de esență tare ar putea fi responsabile pentru comportamentul specific la hidratare. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în Tabelul 1.3.4.3 și în Figurile 1.3.4.4 și 1.3.4.5. Pentru a compara rezultatele, s-a calculat „Indicele de inhibiție” (**I-Index**) (Formula 1.3.4.1) bazat pe (Hofstrand et al. 1984). Prin intermediul **I-Index** este posibilă compararea amestecurilor cu diferite materiale lignocelulozice pentru utilizarea în compozitele cu ciment.

$$I = \left[\left(\frac{t_2 - t'_2}{t'_2} \right) \left(\frac{T'_{2} - T_2}{T'_{2}} \right) \left(\frac{S' - S}{S} \right) \right] \times 100 \quad (4.3.4.1)$$

În care:

I indice de inhibiție (I-Index)

t_2 timpul necesar pentru ca amestecul de lemn-ciment să atingă temperatura maximă [ore]

t'_2 timpul necesar pentru ca cimentul să atingă temperatura maximă [ore]

T_2 temperatura maximă a amestecului lemn-ciment [°C]

T'_2 temperatura maximă a cimentului [°C]

S panta curbei de temperatură a amestecului lemn-ciment

S' panta curbei de temperatură a cimentului

Tabelul 1.3.4.2. Temperatura de hidratare a compozitelor din coajă de molid, larice, pin și plop, în comparație cu compozitul cu aşchii de molid și particule reciclate și proba control din ciment. Notă: T_{max} , temperatura maximă; t_{max} , timpul necesar pentru a atinge T_{max} ; I-Index, indicele de inhibiție.

Tip ciment	Parametri hidratare	Compozit cu coajă de molid	Compozit cu coajă de larice	Compozit cu coajă de pin	Compozit cu coajă de plop	Control	Particule din lemn de molid	Proba de control (ciment)
CEM II	T_{max} (°C)	36.2	35.6	34.4	38.8	34.7	-	44.9
	t_{max} (h)	16.7	17.4	22.5	0.7	13.6	-	12.3
	I-Index	3.78	4.88	8.74	-	1.05	-	-
CEM I	T_{max} (°C)	45.5	47.8	56.1	55.6	-	53.1	64.8
	t_{max} (h)	12.8	13.0	0.6	0.5	-	10.7	8.4
	I-Index	5.70	4.18	-	-	-	2.23	-

Luând în considerare curbele individuale de hidratare în testele cu ciment Portland CEM II (Figura 1.3.4.4), se presupune că, în cazul compozitelor din coajă de molid, larice și pin s-a produs inițial un ușor efect de întârziere a hidratării, deoarece temperaturile au scăzut după primul vârf înainte de a crește până la T_{max} . În plus, T_{max} a fost atinsă mult mai târziu comparativ cu temperatura atinsă de proba din cimentul de referință. În cazul compozitului cu coajă de plop, s-a constatat un efect de inhibare, observant și de (Sandermann & Brendel 1956), având o curbă de temperatură în scădere bruscă. Spre deosebire de compozitul din coajă de molid, larice și pin și de cercetările efectuate de (Karade 2015), la începutul reacției de hidratare a fost atins un singur vârf de temperatură pentru probele realizate din particule de molid. O comparație a celor trei tipuri compozite din coajă de conifere cu probele de control din aşchii de molid și particule reciclate (Figura 1.3.4.4) arată că temperaturile de hidratare pentru probele cu coajă de molid și de larice sunt apropiate de valorile probelor industriale de control în ceea ce privește T_{max} și t_{max} . Astfel, s-a constatat o diferență de temperatură și timp între modul în care decurge hidratarea compozitului cu coajă de molid și cea a probei control din aşchii de molid și particule de material reciclat de 1,5 °C la 3,1 ore și a compozitului cu coajă de larice și a probei control de 0,9 °C la 3,8 ore. Prin urmare, este prezentă doar o mică abatere de 0,9 - 1,5 °C.

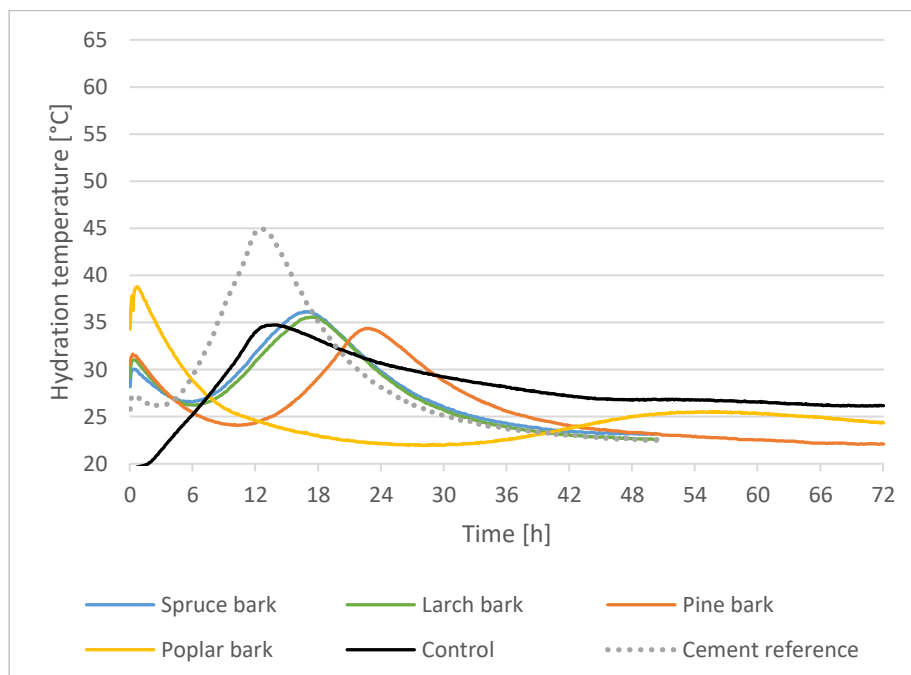


Figura 1.3.4.4. Comparația comportamentului termic în timpul hidratării cimentului de referință cu probele din scoarță de molid, larice, pin, plop și control (aşchii de molid și particule din compozitul reciclat) cu CEM II A-LL 42,5 N.

Din cauza efectului inhibitor aparent la hidratare al polizaharidelor din coajă, vizibil în graficul de temperatură, indicele inhibitor **I-Index** a fost următorul: pentru coaja de molid 3,78, pentru coaja de larice 4,88, pentru coaja de pin 8,74 și pentru proba martor 1,05 (Tabelul 1.3.4.2). Așa cum

a descris (Karade 2015), valorile scăzute ale **I-Index** pentru conifere le conferă o toleranță mai bună. În special compozitele cu coajă de molid și de larice par mai potrivite în amestecul cu ciment, deși cel mai bun **I-Index** a fost determinat pentru proba martor (control).

Analizând curbele individuale de hidratare în testele cu ciment de tip CEM I, se poate observa că diagramele temperaturii de hidratare pentru scoarța de molid și de larice sunt aproape similare cu cele obținute cu CEM II, T_{max} crescând cu aproximativ 10 – 20 °C în legătură cu diferitele tipuri de ciment. T_{max} a fost atinsă cu 3 - 4 ore mai devreme în cazul compozitelor pe bază de coajă de molid și de larice, tendință ce poate fi atribuită unui conținut mai mare de clinker al cimentului (Dhir, Ghataora & Lynn 2017) (Figura 1.3.4.4). În testele la care s-a utilizat CEM II modul în care a decurs hidratarea pentru coaja de pin a fost similar cu cel pentru celelalte tipuri de coajă de conifere. În cazul amestecului cu CEM I, hidratarea compozitului cu coajă de pin este aproape identică cu cea a materialului pe bază de scoarță de plop. Explicațiile sunt dificil de dat, deși se poate presupune că ponderile elementelor constitutive din compozite ar putea fi decisive. Astfel, hidratarea cimentului este inhibată sau împiedicată, în funcție de cantitatea de polizaharide din coaja existentă în compozit. Pentru a compara materialul din coajă de molid cu cel pe bază de particule din lemn de molid, s-a efectuat o măsurătoare suplimentară. La o temperatură T_{max} de 53,1 °C pentru un timp t_{max} de 10,7 ore (Figura 1.3.4.5), hidratarea compozitului pe bază de particule de molid este similară cu cea a probei de referință (din ciment), dar T_{max} diferă cu 11,7 °C. În comparație cu compozitul din coajă de molid (T_{max} de 45,5 °C, t_{max} la 10,8 ore), compozitul pe bază de așchii de molid și particule de material reciclat a prezentat la hidratare o diferență de temperatură de 7,6 °C și diferență de timp de 2,1 ore.

Trebuie avut în vedere faptul că T_{max} poate să nu reflecte cu precizie modul în care decurge întărirea în realitate (la scară industrială) a cimentului. Este de menționat faptul că masa pastei de ciment de referință este mai mică decât cea a pastei de agregate lignocelulozice (Pereira et al. 2006). Căldura dintr-o probă de testare provine din reacția exotermă de hidratare a cimentului. Prin urmare, T_{max} a probelor compozite din coajă va fi mai mică decât cea a probei de referință din ciment, din cauza faptului că bioagregatul va absorbi o parte din căldura generată de reacțiile de hidratare. În plus, o creștere a T_{max} este justificată de decelerarea hidratării cimentului cu adaosul lignocelulozic.

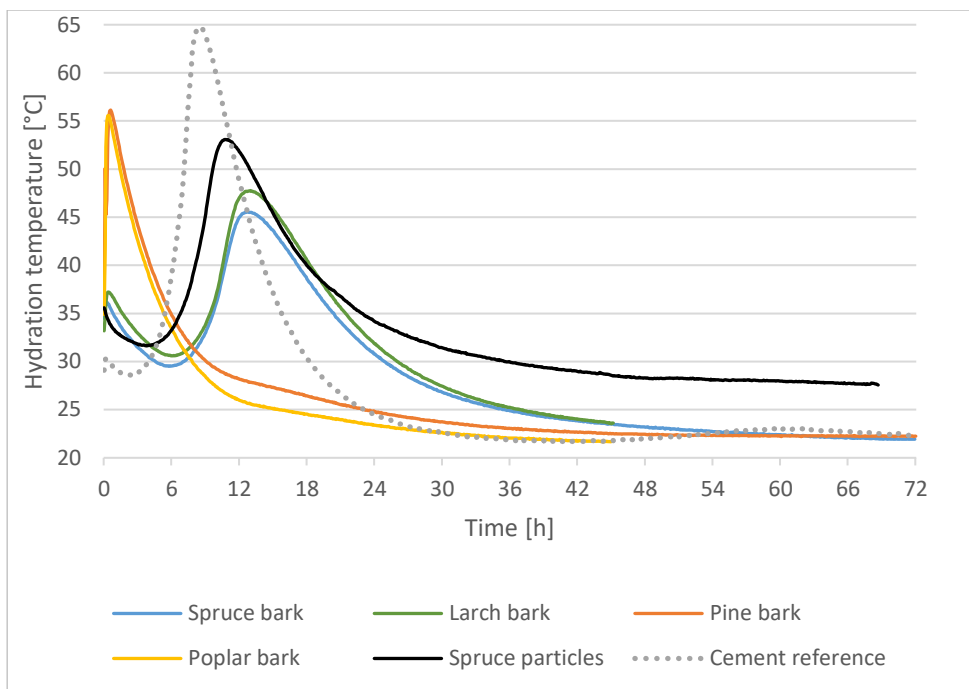


Figura 1.3.4.5. Comportamentul termic în timpul hidratării probelor cu adaos de particule de molid, comparativ cu compozitele din coajă pin, plop și proba martor CEM I 52,5 R

Pentru CEM I s-au determinat următoarele valori ale **I-Index**: pentru compozitul din coajă de molid 5,70, coajă de larice 4,18 și particule de molid și 2,23. Pe baza caracteristicilor descrise de (Stokke, Wu & Han 2014), coaja de molid și de larice se dovedesc a fi cele mai potrivite din punctul de vedere al compatibilității în bioagregatele cu ciment.

Rezultatele măsurătorilor densității medii și ale rezistenței la compresiune sunt prezentate în Tabelul 1.3.4.3, Figura 1.3.4.6 și Figura 1.3.4.7.

Tabelul 1.3.4.3. Densitatea și rezistența la compresiune a compozitelor din coajă de molid și larice. Notă: CS, cleme de strângere cu șurub; PH, presă hidraulică; abaterea standard în paranteze.

Dimensiuni particule coajă (mm)	Tip de coajă	Compactare	Număr de eșantioane	Densitate (kg/m ³)	Rezistența la compresiune (N/mm ²)
TG 1 < 3 - 12	molid	SC	n = 17	652 (21)	0.504 (0.133)
		PH	n = 5	595 (37)	0.371 (0.148)
	larice	SC	n = 9	616 (16)	0.669 (0.137)
		PH	n = 9	675 (39)	0.719 (0.108)
TG 2 < 3 - 7	molid	SC	n = 9	684 (9)	0.586 (0.043)
		PH	n = 6	596 (41)	0.111 (0.062)
	larice	SC	n = 9	644 (41)	0.834 (0.145)
		PH	n = 9	633 (29)	0.430 (0.070)

Densitățile medii ale epruvetelor variază între 595 și 684 kg/m³ pentru compozitele cu coajă de molid și între 616 și 675 kg/m³ pentru compozitul cu coajă de larice (Tabelul 1.3.4.3, Figura 1.3.4.6). Densități medii mai mari de 652 kg/m³ (TG 1) și 684 kg/m³ (TG 2) au fost obținute pentru compozitul cu coajă de molid în ambele grupe de testare prin compactarea cu CS, în timp ce densitatea

medie maximă a compozitului cu coajă de larice în TG 1 (675 kg/m^3) a fost obținută prin compactarea cu PH și o densitate de 640 kg/m^3 în TG 2.

Aproape toate densitățile obținute sunt cu puțin mai mici decât cea țintă de 700 kg/m^3 , fapt probabil datorat evaporării apei în timpul întăririi lente a cimentului. Deși cantitatea de apă necesară pentru hidratarea cimentului a fost luată în considerare la calculul raportului de amestecare (W/B), a fost omisă inițial din calcul cantitatea necesară de apă pentru a obține un procent de umiditate de 100% pornind de la un conținut de umiditate de 14 – 15 %.

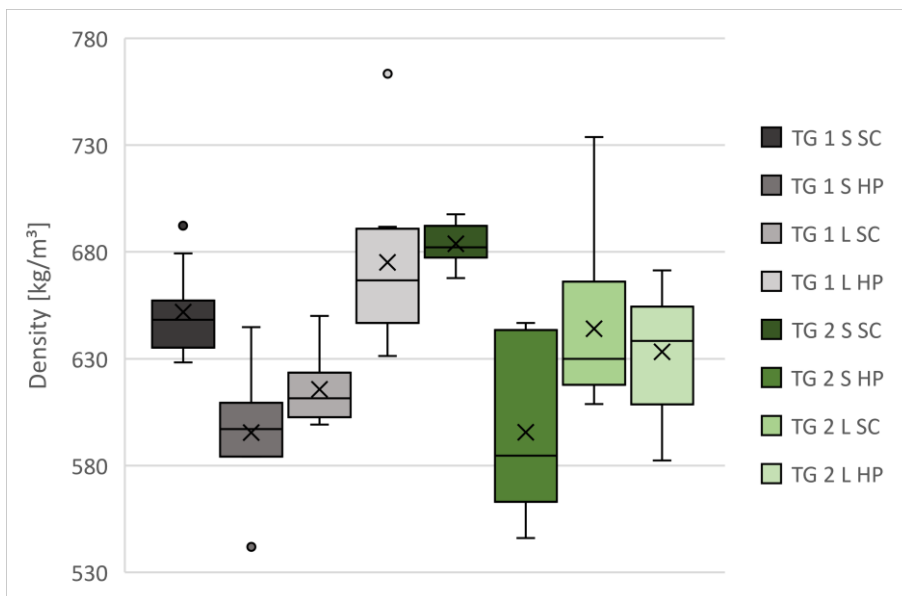


Figura 1.3.4.6. Densitatea epruvetelor de 100x100x100 mm. Notă: TG, grup de testare; S, scoarță de molid; L, scoarță de larice; SC, cleme cu șuruburi; HP, presă hidrolică.

Rezistențele medii la compresiune de 10% ale epruvetelor variază între $0,11$ și $0,59 \text{ N/mm}^2$ pentru compozitul din coajă de molid și între $0,43 - 0,83 \text{ N/mm}^2$ pentru compozitul din coajă de larice (Tabelul 1.3.4.3, Figura 1.3.4.7). La fel ca și în cazul densității, influența parametrilor este dificil de stabilit, deoarece compozitul cu coajă de larice a prezentat o rezistență la compresiune cu până la 30 % mai mare decât în cazul compozitului din coajă de molid, indiferent de dimensiunea particulelor și modul de compactare. Cu o singură excepție, valori mai mari pentru rezistența la compresiune pot fi obținute prin metoda manuală de compactare (CS). Îmbunătățirile presupuse ale rezistenței la compresiune datorate schimbării fracțiunii de la $< 3 - 12 \text{ mm}$ la $< 3 - 7 \text{ mm}$ nu au putut fi confirmate în mod concludent. Rezultate omogene au fost obținute de eșantioanele TG 2 S SC, cu o rezistență la compresiune de $0,54 - 0,66 \text{ N/mm}^2$.

În ceea ce privește corelația dintre rezistența la compresiune 10 % și densitatea grupelor de testare individuale, se constată că ambele grupuri prezintă corelații pozitive. Acest lucru este în concordanță cu (Xing, Deng & Zhang 2007), care subliniază faptul că densitatea are o influență considerabilă asupra proprietăților mecanice ale materialelor compozite.

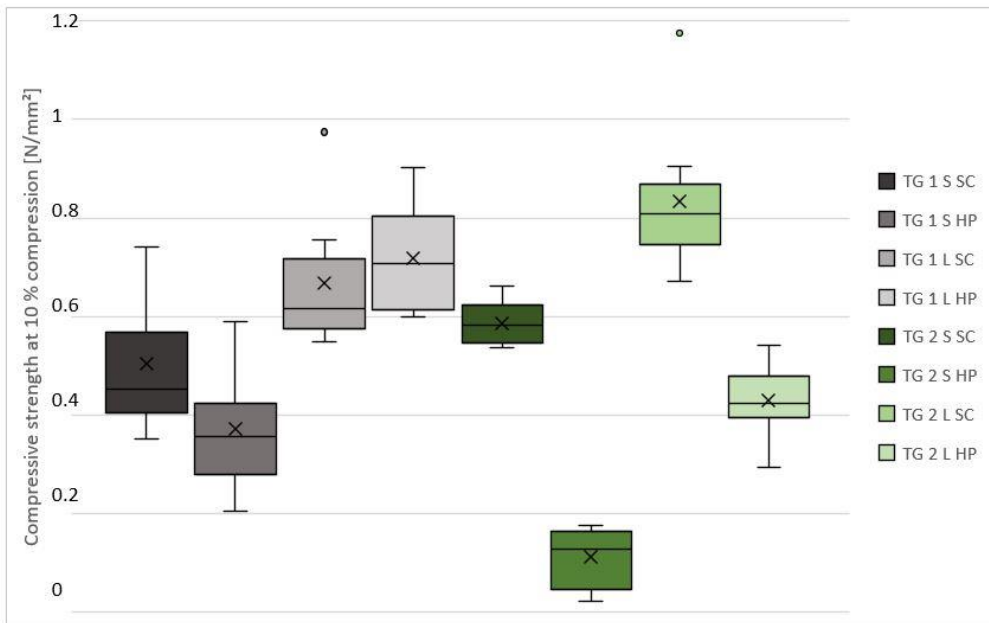


Figura 1.3.4.7. Rezistențele testate la 10% compresiune ale epruvetelor de 100x100x100 mm. Notă: TG, grup de testare; S, molid; L, larice; CS, cleme de strângere cu șuruburi; PH, presă hidraulică.

Dintre speciile de scoarță alese pentru acest studiu, rezistența la compresiune a bioagregatelor din coajă de larice mixate cu ciment a fost de 1 până la 8 ori mai mare în comparație cu compozitele fabricate din coajă de molid. În Figura 1.3.4.8 este prezentată o comparație a rezistenței la compresiune a compozitelor din coajă și ciment cu produsele industriale din ciment și lână de lemn Isolith (Isolith 2023) și Thermo-span (Thermo-Span 2023), din aşchii grosiere de conifer și ciment.

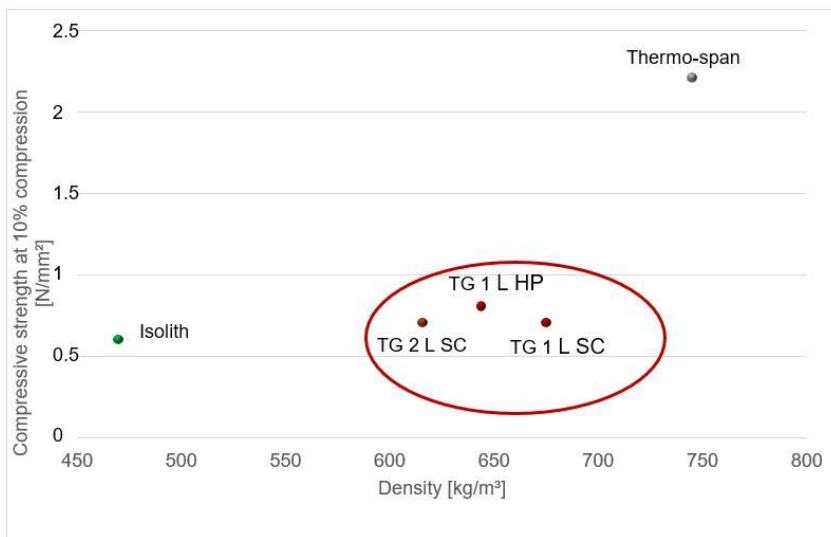


Figura 1.3.4.8. Comparația rezistențelor determinate până la 10% compresiune între compozitele pe bază de coajă de larice și ciment și elementele de fabricație industrială Isolith și Thermo-span

Pentru comparație s-au ales trei probe de compozit cu ciment și coajă de larice (TG 1 L HP, TG 1 L SC și 3-7 mm, TG 2 L SC). Rezistența la compresiune a acestui grup, cu densități cuprinse

între 616 și 675 kg/m³, a fost de 0,7 până la 0,8 N/mm² (abatere standard de 0,1 N/mm²), cu 15 % mai mare în comparație cu produsul Isolith (panou din lână de lemn și ciment, 0,6 N/mm², abatere standard de 0,06 N/mm²) (Isolith 2023) și cu aproximativ 70 % mai mică decât cea a produsului Thermo-span (compozit din aşchii de lemn și ciment, 2,2 N/mm², abatere standard de 0,5 N/mm²) (Thermo-Span 2023).

În urma analizei modului în care decurge procesul de hidratare a cimentului și a rezistenței la compresiune a materialelor din acest studiu rezultă că scoarța de molid și de larice pot fi considerate adecvate la fabricarea compozitelor pe bază de ciment. Coaja de larice combinată cu ciment prin compactare manuală (CS) prezintă cel mai mare potențial la realizarea unor asemenea produse. Acest lucru este confirmat de valorile obținute pentru densitate, rezistența la compresiune și în ceea ce privește reacția de hidratare a cimentului. Rezistența la compresiune a compozitului cu coajă de molid este mai mică decât a compozitului cu coajă de larice, care a înregistrat cea mai mică dispersie a datelor. O ușoară creștere a rezistenței la compresiune datorată utilizării particulelor de dimensiunea 3 – 7 mm (TG 2) nu a putut fi confirmată în mod concludent, deoarece compozitele cu coajă de molid și de larice au prezentat proprietăți diferite în funcție de grupul de testare și modul de compactare. Compactarea prin presare hidraulică a generat, cu o singură excepție, cele mai mici valori ale rezistenței la compresiune. Cercetările ulterioare ar trebui să se concentreze asupra parametrilor procesului de producție a compozitelor din ciment și coajă, inclusiv asupra utilizării de aditivi, cum ar fi sulfatul de aluminiu, clorura de magneziu sau silicatul de sodiu (pentru modificarea pH-ului amestecului și ameliorarea compatibilității dintre coaja acidă și cimentul extrem bazic).

Pentru a obține cunoștințe suplimentare cu privire la compatibilitatea dintre coajă și ciment, ar fi recomandată o serie extinsă de măsurători ale temperaturii de hidratare pentru a investiga diferite specii de scoarță și ciment. În plus, analiza constituenților chimici este recomandată pentru a evalua efectul diferitelor tipuri de substanțe din scoarță ce influențează direct compatibilitatea dintre coajă și ciment.

În plus, tratarea prealabilă a cojii cu aditivi în doze de până la 5 %, cum ar fi clorura de calciu (CaCl₂) sau hidroxidul de sodiu (NaOH), ar putea deschide noi posibilități, deoarece valoarea scăzută a pH-ului scoarței ar putea fi mai bine adaptată la alcalinitatea ridicată a cimentului.

2. PAL pe bază de reziduuri din malț de bere (Barbu et al. 2021)

*^s Tudor E.M. autor corespondent

Cea mai bogată resursă regenerabilă la nivel mondial este biomasa lignocelulozică (Prasad et al. 2019). Aceasta include reziduuri de lemn provenite din toaletarea copacilor (coajă, ramuri), reziduuri de prelucrare a lemnului, deșeuri agricole, cum ar fi cele pe bază de paie, trestie de zahăr, rapiță, uruială, plante textile (în, bumbac, cânepă) etc. (Saal, Weimar & Mantau 2019).

În ierarhia celor mai consumate băuturi din lume, berea se află pe locul cinci, alături de ceai, produse carbogazoase, lapte și cafea (Fillaudeau, Blanpain-Avet & Daufin 2006). În 2022, producția mondială de bere a fost estimată la 1,89 miliarde de hectolitri (Statista 2023). La fabricarea berii se generează diverse reziduuri și subproduse. Printre acestea se numără reziduurile de malț, hameiul uzat și surplusul de drojdie. Reziduurile de malț (BSG) din fabricile de bere au ponderea cea mai mare, 85% din totalul subproduselor rezultate, rezultând 20 kg BSG la 100 l de bere (Lynch, Steffen & Arendt 2016). Utilizarea BSG în economia circulară este încă limitată, în special în țările în curs de dezvoltare. Noi posibilități de valorificare a acestui reziduu ar fi valoroase din punct de vedere economic (Mussatto & Roberto 2005). De asemenea, trebuie luat în considerare faptul că particulele umede de malț se descompun rapid, sunt voluminoase și conțin cantități mari de apă, iar costurile de transport nu trebuie neglijate. Din acest motiv, distribuția lor în principal ca hrană pentru creșterea animalelor este limitată la o rază de 150-350 km în jurul fabricii de bere. Deshidratarea sau congelarea facilitează distribuția dincolo de zona lor de producție (Crawshaw 2003).

Acest material lignocelulozic este bogat în oligo- și polizaharide și polifenoli (Mussatto & Roberto 2005), cu costuri reduse și disponibilitate mare, ceea ce deschide noi oportunități pentru utilizarea acestui subprodus. Datorită cantității mari și a disponibilității constante a BSG în fabricile de bere din apropierea zonelor cu populație mare, au apărut multe forme alternative de utilizare. BSG a fost utilizat pe scară largă ca hrană pentru animale (Mussatto & Roberto 2005) pentru producția de bioetanol (Thiago, Pedro & Eliana 2014), (Prasad et al. 2019). BSG poate fi utilizat pentru ambalaje de unică folosință (Ferreira et al. 2019), la îndepărtarea metalelor grele din apele uzate sau ca mediu de creștere pentru microorganisme și enzime (Aliyu S. & Muntari B. 2011). BSG se folosesc ca adjuvanți la fabricarea frankfurterilor (Özvural et al. 2009), și a produselor de panificație (pâine, biscuiți, prăjituri) (Stojceska et al. 2008).

Utilizarea BSG la fabricarea plăcilor din aşchii de lemn (PB) încleiate cu răşină UF a fost studiat de (Klímek et al. 2017), studiu în care particulele de lemn au fost înlocuite treptat cu 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % și 100 % BSG.

^s Barbu, Marius Cătălin, Zeno Montecuccoli, Jakob Förg, Ulrike Barbeck, Petr Klímek, Alexander Petutschnigg, and Eugenia Mariana Tudor. 2021. "Potential of Brewer's Spent Grain as a Potential Replacement of Wood in pMDI, UF or MUF Bonded Particleboard" *Polymers* 13, no. 3: 319. <https://doi.org/10.3390/polym13030319>

30 % și 50 % BSG. Studiul de față este o continuare a cercetării (Klímek et al. 2017) și are ca scop analiza influenței încleierii BSG cu adezivi tip diizocianat polimeric (pMDI), UF și MUF asupra proprietăților PAL din particule de lemn în combinație cu BSG în proporție de 10, 30 și 50%.

Reziduurile de malț (BSG) au fost furnizate de fabricile de bere Flötzing Bräu (Rosenheim, Germania), Egger Co. (Unterradlberg, Austria) și Stiegel (Salzburg, Austria). Conținutul inițial de umiditate al BSG a fost cuprins între 250 și 300 %. Lotul inițial de BSG a fost uscat la 60°C cu un uscător Brunner-Hildebrand High VAC-S, HV-S1 (Hanovra, Germania) timp de 24 de ore, până la un conținut de umiditate de 3 %. Deoarece BSG este un material destul de umed, este scump și dificil de transportat și s-ar putea descompune rapid din cauza procentului ridicat de polizaharide (17 % celuloză și 28 % zaharuri necelulozice) (Lynch, Steffen & Arendt 2016)).

BSG a fost congelat în pachete mici (aproximativ 1,5 kg) pentru a evita dezvoltarea bacteriilor care ar compromite calitatea materialului. Ulterior, blocul de BSG congelat a fost tăiat în părți mai mici care au fost distribuite în tăvi de aluminiu. Tăvile au fost plasate într-un uscător Brunner-Hildebrand High VAC-S, HV-S1 (Hanovra, Germania) timp de 20 de ore, pentru a atinge m.c. de 3 %. După uscare, BSG au fost depozitate în saci mici pentru utilizare ulterioară.

Particulele de BSG și de lemn de molid (*Picea abies*) au fost amestecate cu 4 % pMDI tip ONGRONAT WO 2750 de la BorsodChem (Kazincbarcika, Ungaria), 13 % MUF de tip PRIMERE 10H119 de la Metadynea (Krems, Austria) și 14 % UF de tip Preferé 10F102 de la Metadynea (Krems, Austria).

Pentru încleierea cu pMDI, plăcile aglomerate au fost presate în condiții speciale de evacuare a aerului în centrul de cercetare TechCenter al Egger Co. din Unterradlberg, Austria. Respecând condițiile impuse de firma parteneră, tipul echipamentului utilizat nu poate fi făcut cunoscut.

Plăcile aglomerate de tip PAL de 400 mm × 400 mm, cu o grosime de 15 mm și densități cuprinse între 550 și 850 kg/m³, au fost presate în patru grupe diferite (0 % BSG, 10 % BSG, 30 % BSG și 50 % BSG) cu trei replici pentru fiecare placă (Tabelul 2.1, Figura 2.1).



Figura 2.1. Panouri unistratificate de particule de malț cu 50% BSG după formare, înainte de presare la cald.

Dimensiunea particulelor pentru toate tipurile de BSG a fost de 2-4 mm și >4 mm. Pentru MUF și UF s-a adăugat un întăritor de 2% sulfat de amoniu.

Tabelul 2.1. Plan experimental pentru PAL pe bază de BSG înleiate cu pMDI, MUF și UF.

Tip panou	Densitate (kg/m ³)	Adeziv	Procent rășină (%)	Conținut de umiditate (%)	Temperatura de presare (°C)	Timp de presare (s)
pMDI0BSG	600	pMDI	4	11	220	130
pMD10BSG	630	pMDI	4	11	220	130
pMD30BSG	600	pMDI	4	11	220	130
pMD50BSG	600	pMDI	4	11	220	130
UF0BSG	750	UF	14	9	180	450
UF10BSG	750	UF	14	9	180	450
UF30BSG	750	UF	14	9	180	450
UF50BSG	790	UF	14	9	180	450
MUF0BSG	670	MUF	13	9	180	450
MUF10BSG	570	MUF	13	9	180	450
MUF30BSG	690	MUF	13	9	180	450

După presare, panourile au fost răcite și condiționate la 20 °C și 65% umiditate relativă a aerului timp de o săptămână.

Densitatea panourilor a fost calculată în conformitate cu EN 323:1993. Umflarea în grosime (TS) și absorbția de apă (WA) după 24 h de imersie în apă au fost determinate conform EN 317:1993. Testele mecanice au fost efectuate cu mașina de testare universală Zwick/Roell Z 250 (Ulm, Germania). Rezistența la încovoiere (modulul de rupere, MOR) și modulul de elasticitate (MOE) au fost testate în conformitate cu EN 310:1993 cu probe de 350 mm × 50 mm × 15 mm. Pentru a determina coeziunea internă (IB) a probelor de testare (50 × 50 × 15 mm), rezistența la tracțiune transversală a fost determinată conform EN 319:1993. Rezistența la smulgerea șurubului (SW) a fost realizată conform EN 320:1993. Analiza prin microscopie electronică (SEM) a fost efectuată pe TESCAN MIRA (Brno, Republica Cehă). A fost studiată morfologia probei de control (100% lemn, înleiată cu pMDI) și a probei cu conținut de lemn: BSG (50:50, înleiată cu pMDI). Înaintea evaluării morfologice, probele au fost solicitate la tracțiune, simulând testul IB, iar suprafața rezultată în urma testării a fost analizată. Morfologia și interacțiunea dintre particulele BSG și particulele de lemn au fost evaluate vizual. Eșantioanele au fost placate (pe durata testării) cu platină cu ajutorul unui aparat de acoperire cu pulverizare în vid. Tensiunea de accelerare a fost setată la 3 keV, iar curentul fasciculului a fost de 300 pA.

Particulele de BSG au avut o distribuție a dimensiunilor reprezentată în Figura 2.2, pentru determinare fiind folosit sistemul de vibrație cu sită Retsch AS 200 (Haan, Germania) cu șase dimensiuni ale ochiurilor: 4 mm, 2 mm, 1 mm, 500 μm , 315 μm și 250 μm .

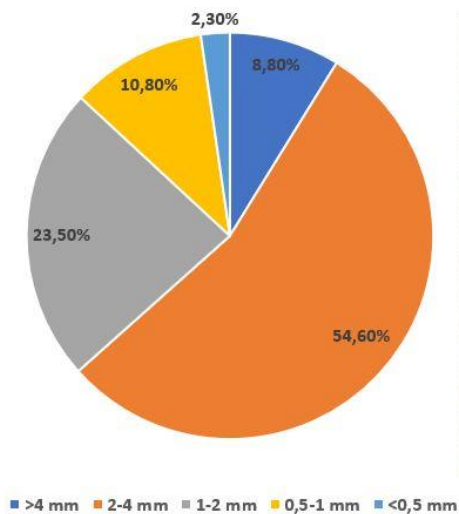


Figura 2.2. Distribuția dimensională a particulelor de BSG

Figura 2.3. Pete de BSG arse la suprafața panourilor cu 50% BSG și 50% particule de lemn încleiate cu pMDI.

Două lucruri au putut fi observate în timpul presării și după presare. Plăcile cu BSG au pete închise la culoare (Figura 2.3). Se presupune că acest lucru este cauzat de BSG care au intrat în contact cu tablele de presare fierbinți (220 °C) și nu din cauza cantității de zaharuri (celuloză și hemiceluloză) din BSG, care este mai mică de 50% (Klímek et al. 2017). De asemenea, în timpul presării, plăcile aglomerate cu 50% BSG emanau un miros foarte plăcut, de pâine.

Umiditatea măsurată după condiționare (20°C și 65% umiditate relativă a aerului), testată conform EN 322: 1993, a probelor încleiate cu pMDI a fost de 11 %, iar pentru ambele probe încleiate cu UF și MUF a fost de 9 %. Umiditatea particulelor de lemn a fost de 2,5 %.

Rezultatele ANOVA sunt prezentate în Tabelul 2.2, în care sunt enumerați factorii care au influențat semnificativ din punct de vedere statistic proprietățile panourilor. Modelul statistic pentru variabilele dependente (IB, MOR, MOE, TS, WA și SW) a fost semnificativ pentru toate variabilele ($p < 0,001$), iar puterea explicativă care măsoară relația dintre variabilele dependente și independente a fost ridicată, după cum arată valorile $\eta^2 > 0,75$ pentru toate elementele panourilor investigate.

Tabelul 2.2 Rezultatele ANOVA cu valorile p și η^2 pentru variabilele explicative

	IB		MOR		MOE		TS		WA		SW	
	p	η^2	p	η^2	p	η^2	p	η^2	p	η^2	p	η^2
Model	0.000	0.75	0.000	0.82	0.000	0.78	0.000	0.84	0.000	0.75	0.000	0.88
Densitate	0.000	0.61	0.000	0.59	0.000	0.60	0.147	0.08	0.000	0.33	0.000	0.31
Adeziv	0.000	0.68	0.000	0.75	0.000	0.75	0.127	0.25	0.000	0.33	0.001	0.62
Procent BSG	0.106	0.07	0.020	0.11	0.013	0.11	0.022	0.13	0.001	0.18	0.002	0.22

Proprietățile mecanice: coeziunea internă (IB), rezistența la încovoiere (MOR), modulul de elasticitate (MOE) și rezistența la smulgerea șurubului din suprafață (SW) sunt prezentate în Tabelul 2.3.

Tabelul 2.3. Proprietățile fizice și mecanice ale panourilor de particule de 15 mm (a,b,c,d,e,f,g valorile cu aceeași literă nu sunt semnificativ diferite: ANOVA, Post-Hoc Tukey HSD, $\alpha = 0,05$).

Tip panou	Densitate (kg/m ³)	IB (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	SW (N/mm)
pMDI0BSG	600	0.48 ^a (0.14)	9.67 ^a (1.4)	1787 ^a (232.2)	63 ^a (8.95)
pMDI10BSG	630	0.44 ^a (0.07)	7.7 ^b (1.3)	1425 ^b (244.4)	54 ^a (5.94)
pMDI30BSG	600	0.22 ^b (0.05)	5.82 ^c (1.08)	1127 ^c (187)	41 ^b (5.92)
pMDI50BSG	600	0.21 ^b (0.02)	5.1 ^c (0.83)	882 ^d (134)	30 ^b (4.05)
UF0BSG	750	0.91 ^c (0.14)	19.64 ^c (1.09)	3967 ^e (38.77)	143 ^c (5.93)
UF10BSG	750	1.18 ^c (0.12)	16 ^d (0.22)	3057 ^e (157.7)	139 ^c (6.67)
UF30BSG	750	0.65 ^d (0.05)	13.67 ^e (0.98)	2666 ^f (103.5)	90 ^d (7.91)
UF50BSG	790	0.65 ^d (0.12)	13.21 ^e (0.44)	2599 ^f (60.54)	76 ^e (10.32)
MUF0BSG	670	0.26 ^b (0.03)	8.17 ^b (0.74)	2013 ^g (62.28)	92 ^f (11.76)
MUF10BSG	570	0.17 ^b (0.01)	10.46 ^a (1.16)	2345 ^g (212.5)	133 ^c (36.9)
MUF30BSG	690	0.31 ^e (0.05)	11.2 ^f (1.2)	2693 ^f (219.4)	116 ^d (17.82)

Coeziunea internă (IB) a epruvetelor testate ($p < 0,001$), măsurată conform EN 319:1993, este influențată de densitatea panoului, tipul de adeziv și cantitatea de BSG utilizată pentru fabricarea plăcilor aglomerate. Valorile η^2 sunt cele mai ridicate în cazul densității (0,61) și al tipului de adeziv (0,68), fiind mai puțin influențate de cantitatea de BSG (0,07).

Valorile medii maxime ale IB (Figura 2.4) au fost atinse în cazul panourilor încleiate cu UF: 1,18 N/mm² (SD 0,12 N/mm²), cu 10% BSG în componență. Aceste valori maxime au fost atinse și datorită densității crescute a eșantioanelor, între 700 și 850 kg/m³. Cele mai mari valori ale IB au fost măsurate pentru probele cu 100% aşchii din lemn, care au cea mai puternică aderență, scăzând odată cu creșterea cantității de BSG. Panourile MUF30BSG (densitate 700 kg/m³) constituie o excepție, cu o medie de 0,31 N/mm² (SD 0,05 N/mm²) pentru IB, valoare mai mare decât cea a tuturor probelor provenite din panourile încleiate cu MUF.

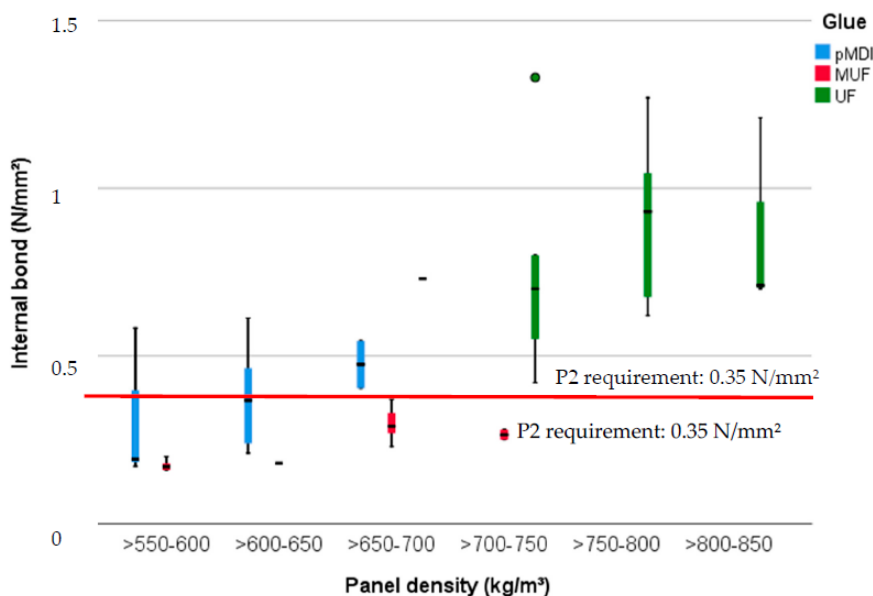


Figura 2.4. Coeziunea internă (IB) a probelor de PAL de 15 mm cu densități cuprinse între 500 și 850 kg/m³, încleiate cu pMDI, UF și MUF.

Rezistența la încovoiere (MOR) (Figura 2.5) și modul de elasticitate (MOE) (Figura 2.6) ale epruvetelor testate (15 mm grosime), măsurate conform EN 310:1993, sunt semnificative ($p < 0,001$). Valorile η^2 (eta pătrat) sunt determinate de tipul de adeziv (0,75) și densitate (0,6) și în mai mică măsură influențate de cantitatea de BSG (0,11). MOR (Figura 2.5) a înregistrat cea mai mică valoare în cazul panourilor cu o densitate cuprinsă între 550 și 650 kg/m³ (în principal plăcile încleiate cu pMDI), variind de la 7,7 N/mm² (SD 1,3 N/mm²) pentru panourile fabricate cu 10% BSG la 5 N/mm² (SD 0,83 N/mm²) pentru un amestec de 50% BSG și 50% particule de lemn. Valorile cele mai ridicate ale MOR au fost înregistrate la densități mai mari ale panourilor încleiate cu UF, de la 19,64 N/mm² (SD 1,09 N/mm²) la 13,21 N/mm² (SD 0,44 N/mm²). Valori medii se înregistrează la plăcile încleiate cu MUF, cu 10,46 N/mm² (SD 1,16 N/mm²) pentru 10% BSG și 11,2 N/mm² (SD 1,2 N/mm²) pentru 30% BSG (a se vedea densitățile din figura 2.5).

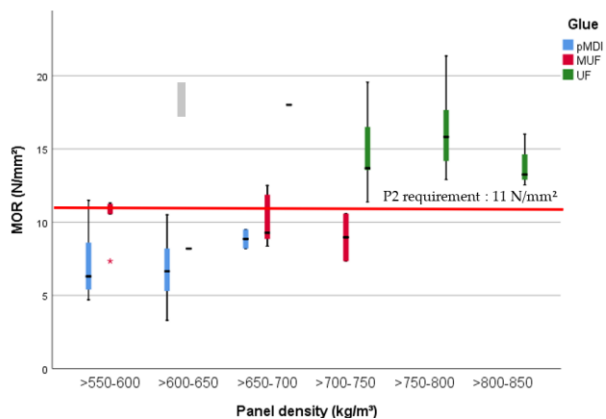


Figura 2.5. MOR pentru probele de 15 mm compozit cu densități între 500 și 850 kg/m³, încleiate cu pMDI, UF și MUF

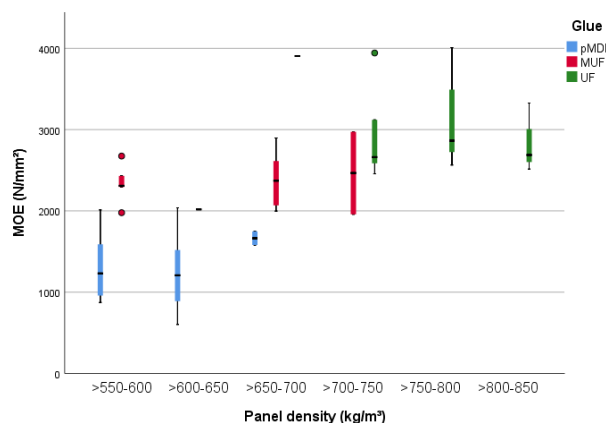


Figura 2.6. MOE pentru probele de 15 mm compozit cu densități între 500 și 850 kg/m³, încleiate cu pMDI, UF și MUF.

Cele mai mari valori medii ale MOE (Figura 2.6) au fost măsurate pentru plăcile încleiate cu UF, 4000 N/mm² (SD 0,03 GPa) pentru PB fără BSG și 3050 N/mm² (SD 0,01 GPa) la o pondere de 10% BSG. Examinând panourile cu densități mai mici de 650 kg/m³, cea mai mică valoare a fost detectată la o cantitate de 50 % BSG, și anume 880 N/mm² (SD 0,01 GPa). Valorile MOE ale compozitelor încleiate cu MUF au fost cuprinse între 2010 N/mm² (SD 0,06 GPa) (fără BSG în compoziție) și 2700 N/mm² (SD 0,02 GPa) (30 % BSG).

Anumite proprietăți mecanice, din care MOE și MOR ale compozitelor pe bază de lemn sunt corelate cu rezistența la smulgerea șuruburilor, măsurată conform EN 320:1993. Aceasta înseamnă că aceleași tendințe observate pentru MOR și MOE sunt aplicabile și pentru SWR (Screw withdrawal resistance) (Figura 2.7), care este dependentă de tipul de adeziv (Yamaguchi 2011), cu o valoare η² de 0,62, mai puțin influențat de tipul de densitate (0,3) și de cantitatea de BSG (0,22). SWR-ul măsurat la suprafața panourilor încleiate cu UF și cu o densitate de până la 850 kg/m³ a fost cuprins între 76 și 143 N/mm și similar cu valorile obținute pentru panourile încleiate cu MUF (92 și 116 N/mm). Jumătate din aceste valori au fost măsurate pentru panourile cu densitate mai mică (<650 kg/m³) pentru care s-a utilizat pMDI (30 până la 63 N/mm).

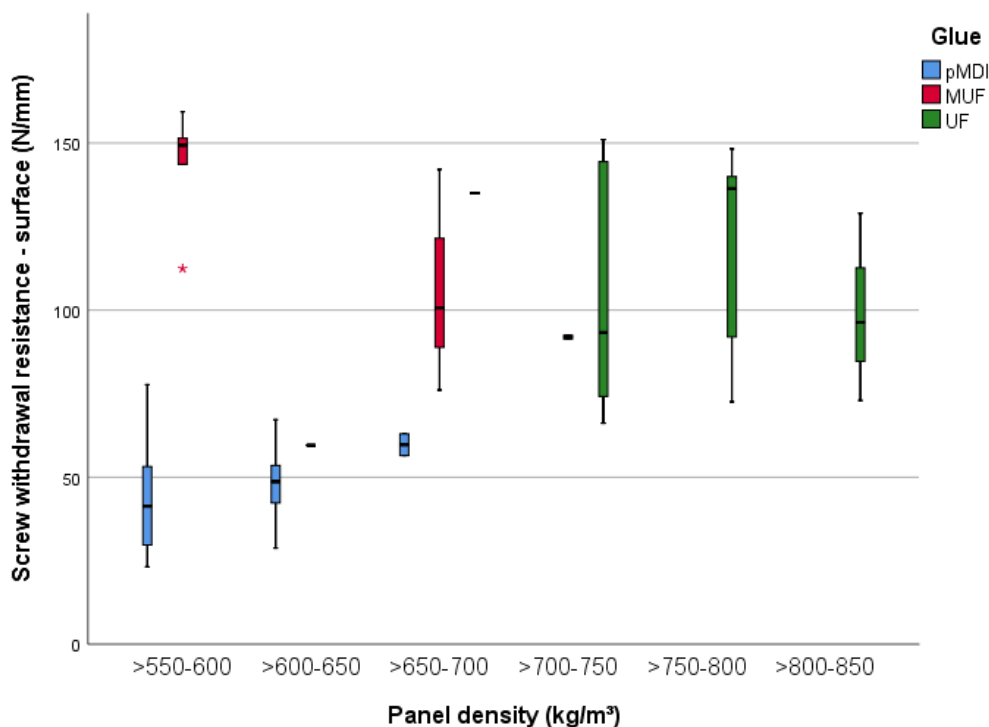


Figura 2.7. Rezistența la smulgerea șuruburilor măsurată pe suprafața probelor de compozit de 15 mm cu densități cuprinse între 500 și 850 kg/m³ și înleiate cu pMDI, UF și MUF.

Umflarea în grosime și absorbția de apă după 24 h

Umflarea în grosime (TS – Thickness Swelling) după 24 de ore (Tabelul 2.4), măsurată conform EN 317:1993, a panourilor aglomerate cu 10 %, 30 % și 50 % BSG a fost semnificativ mai mare decât pentru panourile din 100 % de particule de lemn ($p < 0,05$) pentru toate tipurile de adezivi.

Tabelul 2.4. Rezultatele privind umflarea grosimii și absorbția de apă a panourilor aglomerate de 15 mm (a,b,c,d valorile cu aceeași literă nu sunt semnificativ diferite: ANOVA, Post-Hoc Tukey HSD, $\alpha = 0,05$).

Tip panou	TS 24 h (%)	WA 24 h (%)
pMDI0BSG	17 ^a (1.71)	51 ^a (7.26)
pMDI10BSG	23 ^b (1.05)	84 ^b (6.45)
pMDI30BSG	26 ^b (1.16)	92 ^b (2.40)
pMDI50BSG	30 ^c (0.80)	105 ^c (4.47)
UF0BSG	26 ^b (2.65)	60 ^a (6.72)
UF10BSG	23 ^b (1.16)	58 ^a (4.87)
UF30BSG	30 ^c (1.63)	63 ^a (1.77)
UF50BSG	26 ^b (2.72)	59 ^a (11.20)
MUF0BSG	34 ^d (2.65)	80 ^b (4.62)
MUF10BSG	28 ^c (1.729)	83 ^b (9.30)
MUF30BSG	29 ^c (1.16)	75 ^b (2.48)

Variațiile mici în TS 24 h (Figura 2.8) sunt atribuite densității (8%), cantității de BSG (13%) și tipului de adeziv (25%). În consecință, compozitele cu cea mai mare densitate, de până la 850 kg/m³, nu s-au umflat în grosime atât de mult comparativ cu panourile cu o densitate cuprinsă între 650 și

750 kg/m³. Pentru plăcile încleiate cu pMDI au fost determinate valori ale TS (după 24 h imersie în apă) între 17 % (SD 1,71%) (probe fără BSG) și 30 % (conținut de 50% BSG, SD 0,8%). TS a plăcii încleiate cu UF este similar cu cel observat pentru grupul lipit cu pMDI. TS 24 h ușor mai mare a fost măsurată pentru compozitul fabricat cu MUF, cu un maxim de 34% (SD 2,65%).

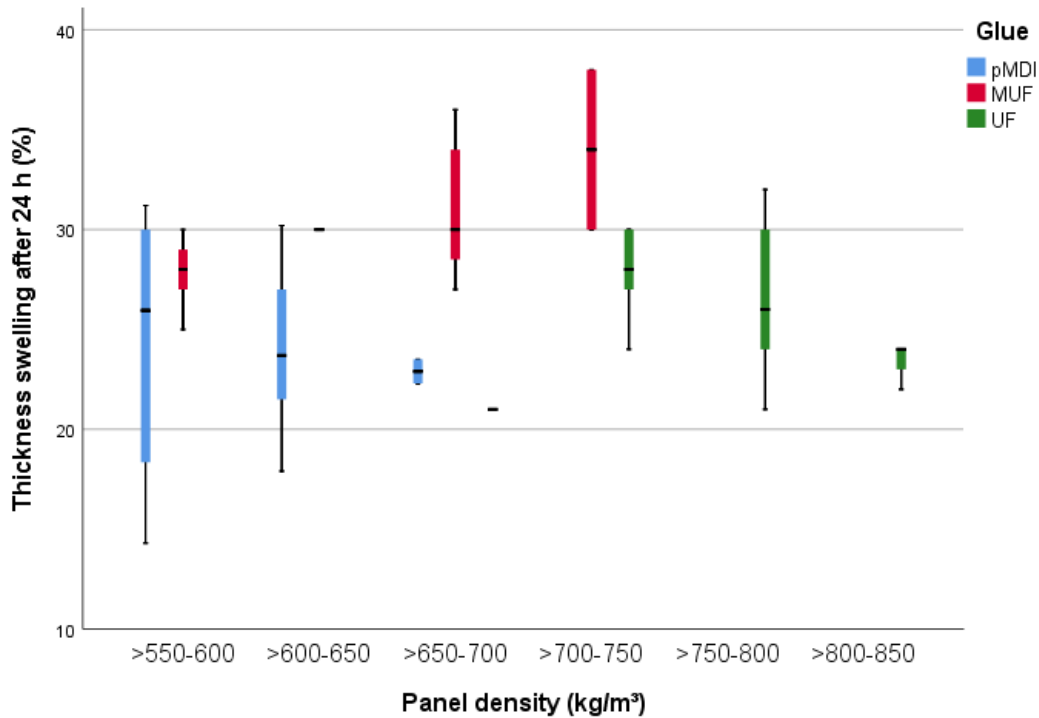


Figura 2.8. Umflarea grosimii după 24 h a compozitului de 15 mm cu densități între 500 și 850 kg/m³ și încleiate cu pMDI, UF și MUF

Absorbția de apă (WA – Water Absorption) după 24 de ore (Figura 2.9), măsurată conform EN 317:1993, este mai puțin influențată de cantitatea de BSG (18 %) și în egală măsură de densitate și de cantitatea de adeziv (33%). Cea mai mică WA a fost detectată în cazul compozitului încleiat cu UF (de la 58 la 63%) și cea mai mare în cazul în care plăcile au fost produse cu pMDI (105% la o cantitate de 50% de BSG). În cazul încleierii cu MUF, valorile WA 24 h variază de la 80% (pentru o placă fără BSG) la 3% (la 10%BSG).

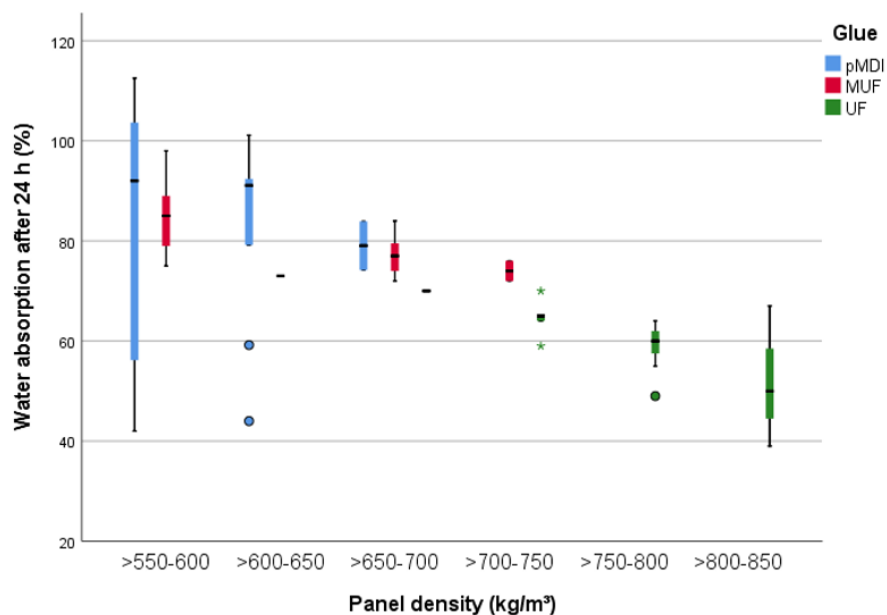


Figura 2.9. Absorbția de apă după 24 de ore a probelor de compozit de 15 mm cu densități între 500 și 850 kg/m³ și înleiate cu pMDI, UF și MUF.

Evaluarea microscopică a diferitelor tipuri de panouri aglomerate de particule (Figura 2.10 și Figura 2.11) a indicat o serie de motive pentru diferențele proprietăților mecanice ale compozitelor analizate. În timp ce inspecția structurală SEM a unui PB fabricat din lemn a arătat în principal defecte structurale în lemn (Figura 2.10) sau defecte la interfața de legătură lemn-adeziv (Figura 2.10C), acestea au fost foarte rar observate la panoul care conținea particule BSG. S-a observat că particulele de BSG, spre deosebire de particulele de lemn, sunt frecvent prezente în golurile și porii din structura plăcilor aglomerate (Figura 2.11A), particulele mai fine de BSG aderând, de asemenea, pe suprafețele particulelor de lemn (Figura 2.11B), restricționând legătura structurală adecvată dintre particulele de lemn și adeziv. În cele mai multe cazuri, particulele BSG au prezentat porozitate extinsă (Figura 2.11C), ceea ce a determinat un supraconsum local de adeziv care a umplut acești pori în loc să adere la suprafața particulelor, cu consecința înleierii slabe între particule. Presupunem că observațiile de mai sus sunt legate de efectul negativ real al conținutului de BSG asupra coeziunii interne a panourilor.

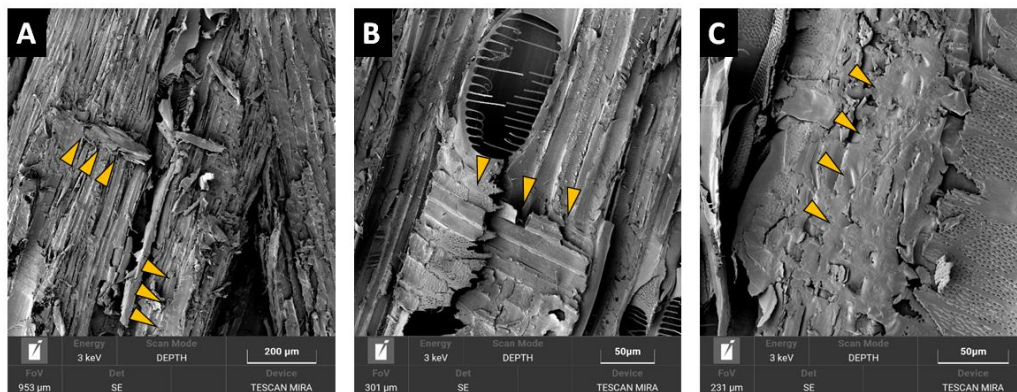


Figura 2.10. Imagini SEM ale probei din compozitul realizat din particule de lemn încleiate cu 4% pMDI (săgețile indică diferite defecțiuni).

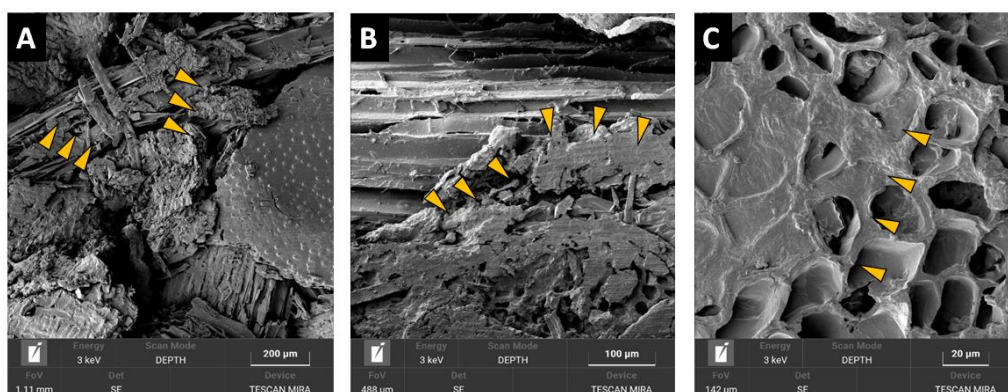


Figura 2.11. Imagini SEM ale compozitului cu 50% BSG încleiat cu 4% pMDI (săgețile indică diferite defecte și prezența adezivului în pori).

Concluzii

Rezultatele acestui studiu au arătat că panourile realizate cu 10 % BSG și încleiate cu pMDI, UF și MUF, prezintă proprietăți mecanice și fizice adecvate. IB, MOR și MOE au îndeplinit cerințele pentru P2 (PAL neportant pentru utilizare la interior în condiții uscate, cu rigiditate ridicată, conform specificațiilor EN 312:2010), având $0,35 \text{ N/mm}^2$, 11 N/mm^2 și, respectiv, 1600 N/mm^2 pentru majoritatea tipurilor de seturi de panouri prezentate în acest studiu.

Un volum crescut de BSG (>20%) reduce vizibil proprietățile panourilor. Utilizarea a două tipuri de materii prime în structura compozitului este influențată de compoziția chimică și de capacitatea de încleiere a componentelor sale (Klímek et al. 2017). A fost interesant de constatat că utilizarea pMDI nu a avut o influență crescută în ceea ce privește stabilitatea dimensională sau proprietățile mecanice ale compozitelor. Panourile încleiate cu UF au fost cele mai performante datorită densității crescute (până la 850 kg/m^3).

Analiza SEM a arătat că diferența dintre panourile care conțin BSG și cele realizate din așchii de lemn constă în reducerea legăturii particulă-particulă, fiind cauza principală ce determină performanță mecanică redusă.

Pentru a îmbunătăți eficiența utilizării resurselor regenerabile și a reciclării unui produs rezidual precum BSG, ar trebui studiate în continuare cantități mai mari de BSG în combinație cu adezivi inovatori. De asemenea, pot fi introduse rășini sustenabile, cum ar fi cele pe bază de cazeină (Schwarzenbrunner et al. 2020) sau de tanin (Lu & Shi 1995), pentru a îmbunătăți TS și WA, cu dezavantajul unor timpi lungi de presare (în cazul încheierii cu cazeină) sau al unui termen de valabilitate limitat (pentru încheierea cu tanin), ceea ce înseamnă costuri de producție mai mari și o prelucrabilitate limitată (Tudor et al. 2020a).

3. Adezivi alternativi pentru compozite din materiale ligno-celulozice

Compozitele din lemn, formate din matrice polimerică armată cu material ligno-celulozic, sunt utilizate pe scară largă în construcții, industria auto, industria navală etc. datorită proprietăților lor fizico-mecanice și prețurilor convenabile. Adezivii pe bază de resurse fosile, utilizați cu preponderență în compozitele lignocelulozice, au o pondere de peste 85% din toate rășinile sintetice utilizate anual în lume. Întrebuințarea lor poate duce la poluarea aerului, în anumite concentrații fiind periculoase pentru oameni din cauza substanțelor toxice conținute (formaldehida) și după încheierea procesului de întărire (de exemplu în urma presării la cald).

În contextul actual geo-politic și al crizei energetice, problematica rezervelor de gaze și petrol și a preocupărilor de mediu care vizează materialele cu emisii ridicate și nereciclabile, cercetătorii încearcă să dezvolte și implementeze noi adezivi ecologici. Acest subcapitol include tipuri de adezivi pentru producția de compozite din lemn care au la bază extracte din plante (tanin) și produși secundari ai industriei alimentare (cazeina).

3.1. Tanin

Taninurile sunt compuși vegetali cu structură chimică complexă, polifenolică. Sunt solubili în apă, fiind sintetizați și acumulați natural de plante ca metaboliți secundari. Taninurile sunt folosite de regulă în industria pielăriei la tăbăcirea pieilor de animale sau în precipitarea proteinelor (Krzyzowska et al. 2017). Există două tipuri de taninuri, hidrolizabile și condensate (Izawa et al. 2010). Taninurile condensate fac parte din compoziția chimică a multor specii de plante superioare, taninurile hidrolizabile se găsesc în angiosperme și dicotiledonate. Taninurile hidrolizabile au un nucleu central de carbohidrați precum d-glucoza. Grupările hidroxil ale carbohidraților sunt esterificate (parțial sau

total) cu acizi fenolici (de exemplu, acidul galic în galotanini) (Koleckar et al. 2008). Taninurile hidrolizabile pot fi descompuse de acizi slabi, de carbohidrații slabi și de acidul fenolic (Izawa et al. 2010). Taninurile condensate (proantocianidine) sunt polimeri de 2-50 de unități de flavonoide și nu se descompun prin hidroliză. Taninurile hidrolizabile și majoritatea taninurilor condensate sunt solubile în apă, alcool, acetonă, glicerol, și insolubile în eter, benzen și cloroform (Sieniawska & Baj 2017).

Compușii fenolici sunt în cea mai mare parte instabili; în consecință sunt modificați în produse de reacție atunci când celulele vegetale sunt deteriorate (Izawa et al. 2010). Principalele surse comerciale de taninuri condensate sunt lemnul de quebracho (*Schinopsis lorenzii*) și coaja de salcâm (*Acacia mearnsii*) și de castan comestibil (*Castanea sativa*). Cantitatea de taninuri depinde de specia, vârsta arborelui, locul de extracție etc. De regulă, taninurile sunt extrase cu apă. Aplicațiile limitate ale taninului provenit din extractele din coajă sunt cauzate de solubilitatea scăzută, vâscozitatea ridicată și reactivitatea prea mare sau prea mică (Feng et al. 2013).

Aplicații ale taninurilor

Tăbăcirea este o metodologie milenară, unul dintre cele mai vechi procese utilizate pentru tratarea pieilor; fiind utilizată în regiunile nord-vestice ale Europei după cucerirea romană. Tăbăcirea vegetală, folosind exclusiv taninuri în cadrul întregului proces, a fost aplicată până la sfârșitul secolului al XIX-lea. O tehnică de tăbăcire, veche de sute de ani, bazată pe taninuri pentru colorarea fibrelor naturale (bumbac, lână, mătase), a fost realizată în combinație cu săruri metalice (Pizzi 2008).

Taninul este unul dintre cele patru elemente (împreună cu aciditatea, alcoolul și zaharurile reziduale) care ajută la conservarea vinurilor, menținând caracteristicile inițiale și în unele cazuri contribuind la îmbunătățirea acestora. Taninul din vin provine în principal din extracția sa din tescovina boabelor de struguri și a semințelor în timpul fazei de presare sau macerare.

O parte din taninuri (taninuri galice) este transferată în vin din butoaiele de stejar atunci când vinul este maturat, de exemplu Barrique (baricuri), mai ales dacă sunt noi (primul pasaj). Taninurile pot fi adăugate vinului sub formă de aditivi, fiind extrase din semințele de struguri sau din tescovină sau din lemn de stejar. Efectele lor asupra vinului sunt numeroase. În afara influențelor asupra gustului vinului, taninurile contribuie la stabilizarea acestuia.

Altă aplicație a taninurilor o reprezintă tratarea apelor de suprafață și a apelor uzate industriale, care cuprinde, printre altele, și procesul de coagulare. De obicei, pentru acest tratament se folosesc compuși anorganici, dar care pot fi înlocuiți cu succes cu coagulanți pe bază de plante, cum ar fi

taninurile. Taninul izolat din *Acacia mearnsii* este utilizat în principal ca un coagulant în tratarea apelor reziduale (Dela Justina et al. 2018).

Taninurile prezintă activitate antibacteriană asupra *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Shigella*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* și *Helicobacter pylori* datorită toxicității pe care o produc în bacterii, ciuperci și drojdii. Anumite taninuri au, de asemenea, proprietăți antivirale și antiinflamatoare și sunt aprobate de Agenția Europeană de Medicină (EMA) care permite utilizarea extractelor de tanin în scopuri terapeutice (Fraga-Corral et al. 2020).

Alte aplicații ale taninurilor: aditiv pentru materiale plastice și adezivi, aditiv în industria ceramică pentru reducerea vâscozității amestecurilor de argilă și apă (HATHWAY 1962), anticoroziv pentru metale (Kusmieriek & Chrzescijanska 2015), adjuvant pentru îmbunătățirea rezistenței lemnului la foc sau, recent, pentru imprimarea 3D (Liao et al. 2020).

Adezivi pe bază de tanin

Extractul de tanin din salcâm (*Acacia pycnantha*) a fost comercializat încă din anii 1950 în amestec cu rășini fenolice pentru plăci aglomerate de exterior. La scară de laborator au fost testate, de asemenea, diferite extracte taninice ca potențiali adezivi: din coajă de pin (Liiri et al. 1982), coajă de molid (Boran et al. 2012). La prepararea rășinilor pe bază de tanin, pe lângă soluția apoasă (cu pH ajustat la 9) se mai utilizează întăritori de tip hexametilentetramină, paraformaldehidă, nitrometan, glioxal sau izocianati (pMDI) (Hoong et al. 2010), (Feng et al. 2013), (Tudor et al. 2018), (Tudor et al. 2020a).

3.1.1. Influența adezivului pe bază de tanin asupra conținutului de formaldehidă al plăcilor decorative pe bază de coajă de larice (Tudor et al. 2020a) *⁶

În ultimul deceniu, spațiile de lucru și locuit au beneficiat de o atenție tot mai mare. Dezvoltarea urbană recentă presupune protejarea integrității ecologice monitorizând atent amprenta de dioxid de carbon a materialelor de construcție (Ghaffarianhoseini et al. 2018). În prezent, persoanele active își petrec aproximativ 75% din existență în spații închise, de exemplu, acasă, la locul de muncă, în școli și alte instituții, iar „sindromul clădirilor bolnave” (SBS) a devenit o problemă globală gravă (Belachew et al. 2018). În ceea ce privește principalele cauze ale SBS, pot fi enumerați aici compușii organici volatili (de exemplu, formaldehida) emanați de adezivi, materiale de finisare, vopsele utilizate pentru mobilier, clădiri și materiale de construcție (de exemplu, izolația). Multe

⁶ Tudor Eugenia Mariana.; Barbu Marius Cătălin.; Petutschnigg Alexander.; Réh Roman.; Krišťák, Ľubos. Analysis of Larch-Bark Capacity for Formaldehyde Removal in Wood Adhesives. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 764. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030764>

materiale pot absorbi formaldehida eliberată în atmosferă: lâna, materialele de construcție cu potențial de adsorbție sau compozite pe bază de coajă (Takano et al. 2008).

Numeroase studii au fost realizate pentru analiza conținutului de formaldehidă din compozitele pe bază de coajă. Dintre aceste produse pot fi amintite plăcile aglomerate (PAL), placajele (Réh et al. 2019), panourile din fibre de densitate medie (MDF) (Boran et al. 2012) și panourile termoizolante care au în compoziție coajă și extracte de coajă (Pásztory, Ronyecz Mohácsiné & Börcsök 2017). În acest studiu, pentru pregătirea panourilor decorative a fost utilizată scoarța de larice european (*Larix decidua* Mill.). Această specie de larice a fost aleasă datorită disponibilității (6,6%) din zona Alpilor austrieci, în special în prefectura Salzburg, și a proprietății de termoizolare (Pásztory, Ronyecz Mohácsiné & Börcsök 2017). Alte motive pentru alegerea acestui tip de coajă au fost faptul că laricele are o rată de creștere mai rapidă, iar cantitatea de coajă este mai mare decât la alte specii de conifere (26%) (Pelz 2002). Coaja de larice conține diverse substanțe extractive. Din coaja de larice s-au obținut următoarele extracte solubile în apă caldă: 35% zaharuri în special glucoză; 30% lignină; 10% - 12% acizi taninici și aproximativ 4% metoxil; 3% rășină; și 13% arabino-galactan, lignani, rășini și ulei volatil (în principal alfa- și betapinen și limonen) (Windeisen & Wegener 2003).

Taninurile din coaja de larice pot fi utilizate ca înlocuitor al fenolului în adezivii pentru plăci aglomerate. În comparație cu lemnul, coaja este relativ eterogenă în ceea ce privește proporția și compoziția componentelor chimice principale.

(Buyuksari et al. 2010) au cercetat modul în care este influențată emisia de formaldehidă a PB încleiate cu UF în cazul în care în adeziv a fost adăugată făină de conuri de pin. Conform acestui studiu, au rezultat valori ale conținutului de formaldehidă (CF) determinate prin metoda perforatorului (EN 120:2011) între 1,99 și 2,48 mg/100 g (cea mai mică valoare înregistrată pentru un amestec de particule de lemn 50:50 și făină de conuri de pin).

(Ayrilmis et al. 2009) au studiat influența făinii de conuri de pin asupra emisiilor de formaldehidă din MDF și au arătat că nivelul de formaldehidă a fost mai mic cu 2,6 % până la 55,3 % în cazul în care fibrele de lemn au fost amestecate cu făină de conuri de pin. Scăderea emisiilor de formaldehidă în acest caz a fost atribuită nivelului ridicat de extracte fenolice din conurile de pin. Aceste extracte fenolice sunt, de asemenea, componente ale scoarței de larice.

(Salem et al. 2012) au publicat o evaluare a conținutului de formaldehidă (CF) din diferite tipuri de materiale pe bază de lemn utilizând metoda perforatorului (EN 120:2011). Cea mai mare cantitate de CF a fost observată pentru PAL cu o grosime de 25 mm și a ajuns la 11,57 mg/100g (o.d. – oven dry), valoare care s-a situat peste clasificarea E1. Valorile MDF au variat între 6,78 și

7,05 mg/100 g o.d. pentru valorile perforator corectate, pentru un spectru larg de grosimi (3-22 mm) ale epruvetelor.

(Pásztory, Halász & Börcsök 2019) au studiat absorbția-desorbția formaldehidei din coaja de plop (*Populus × euramericana* cv. *Pannónia*) și au constatat că, într-un mediu poluat cu formaldehidă, probele de coajă pot absorbi cantități detectabile de formaldehidă din aerul contaminat.

În cadrul acestui studiu s-a analizat în ce măsură coaja de larice poate descompune formaldehida conținută în plăcile decorative cu o grosime de 10 mm încleiate cu UF, acetat de polivinil (PVAc), un amestec de 70% UF + 30% PVAc, poliuretan (PUR) și adeziv pe bază de tanin. De asemenea, au fost analizate și plăci autoaglomerate (fără adeziv). Acest studiu se bazează pe cercetările anterioare efectuate de (Medved et al. 2019), în care au fost testate proprietățile mecanice și fizice ale panourilor decorative din coajă de larice încleiate cu diferite rășini. Conform acestui studiu, a rezultat că plăcile din coajă de larice au îndeplinit standardele EN în ceea ce privește modulul de elasticitate, rezistența la încovoiere, umflarea în grosime și absorbția de apă (după 24 de ore imersie în apă).

Coaja de larice din acest studiu provine de la fabrica de cherestea Graggaber din Unternberg, prefectura Salzburg, Austria, specializată în prelucrarea *Larix decidua*. Din acest motiv, materia primă nu a fost contaminată cu alte specii. Coaja a fost adusă de la 100% la 9% conținut de umiditate cu ajutorul unui uscător cu vacuum (Brunner-Hildebrand High VAC-S, HV-S1). Temperatura de uscare a fost de 60°C la o presiune de 200 până la 250 mbar. Ulterior, coaja a fost mărunțită într-un dispozitiv cu 4 axe (RS40) la Untha Co. din Kuchl, Austria, și a fost sitită succesiv, obținându-se în final particule cu dimensiuni de 1,5 până la 10 mm. Pentru fabricarea panourilor pe bază de coajă de larice s-au folosit diverse tipuri de rășini: adeziv UF (10F102 MetaDynea Austria Co., Krems, Austria), cu un conținut de 66% de substanță solidă, pH 8,3-9 și vâscozitate de 60-90 mPa×s, și adeziv pe bază de tanin. În plus, au fost utilizate încă două tipuri de adezivi, acetat de polivinil tip PVAc Kleiberit 303.3 (Klebchemie M.G. Becker Co., Weingarten, Germania), cu un nivel de pH 3 și vâscozitate de 12.000 ± 2000 mPa×s și poliuretan tip PUR Kleiberit 501 (Klebchemie M.G. Becker Co., Weingarten, Germania), cu o densitate de 1,13 g/cm³ și vâscozitate de 8000 mPa×s.

Adezivul pe bază de tanin a fost preparat cu o pulbere de extract de tanin de mimosă (*Acacia mearnsii*) de la Phenotan, Tanac SA, Brazilia; hexa-metilen-tetramină (hexamină) de la Merck Schuchardt OHG, Hohenbrunn, Germania (C99%); și soluție de hidroxid de sodiu (C32%) de la Carl Roth Co., Karlsruhe, Germania. Proporții de 50 % tanin sub formă de pulbere și 50 % apă au fost amestecate cu ajutorul unui mixer mecanic la o viteză între 700 și 1500 rpm, la care s-a adăugat 10 % hexamină pentru a ajusta valoarea pH-ului soluției la 9 adăugând hidroxid de sodiu (Tudor et al. 2018).

Au fost realizate panouri cu grosimea de 10 mm și cu o densitate de 600 kg/m³ cu un conținut de 10 % de rășină folosind șase tipuri diferite de adezivi și particule de coajă de larice de 2,5-4 mm (fine) și 4-11 mm (grosiere) (Tabelul 3.1.1.1). Temperatura de presare a fost de 180 °C pentru plăcile înleiate cu UF și pe bază de tanin și de 80 °C pentru plăcile cu restul tipurilor de adeziv. Conținutul de umiditate a fost măsurat pentru fiecare tip de panou (Tabelul 3.1.1.1).

Din fiecare panou au fost extrase epruvete de 2,5 × 2,5 mm. Probele au fost introduse în pungi etanșe și livrate la Kaindl Co., Wals, Salzburg, Austria, unde s-a măsurat conținutul de formaldehidă prin metoda perforatorului conform EN 120:2011.

Tabelul 3.1.1.1. Design experimental pentru plăcile decorative din coajă de larice. Notă: PUR, poliuretan; PVAc, acetat de polivinil; UF, uree-formaldehidă, T – tanin; f – fracțiune fină, g – fracțiune grosieră.

Tip panou	Densitate (kg/m ³)	Tip adeziv	Consum de adeziv		Grosime (mm)	Dimensiunea particulei de coajă (mm)
			%	m.c. %		
M1_f	600	70%UF+30%PVAc	10	7,65	10	2.5-4
M2_g	600	70%UF+30%PVAc	10	8,42	10	4-11
PUR_f	600	PUR	10	5,97	10	2.5-4
PUR_g	600	PUR	10	4,21	10	4-11
PVAc_f	600	PVAc	10	4,43	10	2.5-4
PVAc_g	600	PVAc	10	4,83	10	4-11
RW_f	600	autoaglomerat	10	9,17	10	2.5-4
RW_g	600	autoaglomerat	10	7,73	10	4-11
T1_f	600	Tanin	10	8,45	10	2.5-4
T1_g	600	Tanin	10	8,45	10	4-11
UF_f	600	UF	10	8,45	10	2.5-4
UF_g	600	UF	10	8,45	10	4-11

EN 120:2011 a fost utilizat pentru determinarea conținutului de formaldehidă din panourile compozite din coajă de larice. Această metodă este adecvată pentru plăcile compozite din lemn nelaminate și fără straturi de acoperire (Salthammer, Mentese & Marutzky 2010).

Pentru determinarea conținutului de formaldehidă au fost folosite seturi de eșantioane de 25 × 25 mm, fiecare grup cântărind 110 g. Procentul de umiditate a epruvetelor a fost determinat în conformitate cu ISO16999. Conținutul de formaldehidă corectat s-a calculat pentru plăcile cu un conținut de umiditate de 6,5%. Metoda perforatorului implică un echipament simplu, durata de testare este de 3 ore, fiind utilizată pe scară largă pentru controlul producției în industria plăcilor compozite din lemn din Europa și Asia (ex. China) (Pásztory, Halász & Börösök 2019).

Valorile corectate ale conținutului de formaldehidă liberă au variat în funcție de tipul de adeziv (Figura 3.1.1.1). Cele mai mici cantități de formaldehidă au fost măsurate pentru panoul realizat cu o fracțiune fină de coajă de larice înleiată cu adeziv PUR și adeziv pe bază de tanin (0,07 și, respectiv, 0,09 mg/100 g). Cinci tipuri de panouri au înregistrat valori mai mici decât cele corespunzătoare

valorii super E0 ($\leq 1,5$ mg/100 g): PUR_f, Tannin_f, PUR_c, Self_agglom_f și Self_agglom_c. La limita dintre super E0 ($\leq 1,5$ mg/100 g) și E0 ($\leq 2,5$ mg/100 g) s-a situat panoul pe bază de particule de coajă de larice (4-11 mm) încleiat cu UF. Panourile cu PVAc (fracția fină și grosieră) și UF (fracția fină) s-au încadrat în clasa E0. În cazul în care particulele de coajă de larice (ambele fracțiuni) au fost încleiate cu amestecul de UF (70 %) și PVAc (30 %), UF_PVAc_f și UF_PVAc_c, conținutul de formaldehidă a avut valori neașteptat de mari (< 4 mg/100 g) față de toate celelalte probe testate, dar a fost totuși aproximativ la jumătate din valoarea panourilor standard pe bază de așchii de lemn care ar trebui să aibă clasa de emisii E1 (≤ 8 mg/100 g; Figura 2.1).

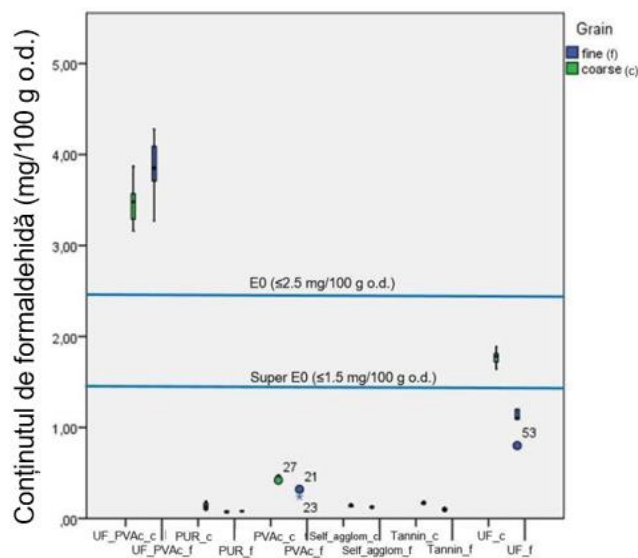


Figura 3.1.1.1. Conținutul de formaldehidă liberă măsurat în conformitate cu EN 120:2011 pentru plăcile din coajă de larice de 10 mm grosime încleiate cu șase tipuri de adezivi.

Pentru studiul influenței conținutului de umiditate a plăcii și al tipului de fracțiune a particulelor de coajă de larice asupra conținutului de formaldehidă, măsurat conform EN 120:2011, a fost folosit modelul regresiei multiple (Figura 3.1.1.2). Conținutul de umiditate este corelat direct cu conținutul de formaldehidă liberă, având un coeficient de determinare ajustat $R^2 = 0,812$ ($Y = 0,5x - 2,99$).

Conținutul de umiditate al plăcilor a avut un efect semnificativ ($p = 0,000$), în timp ce între dimensiunea particulelor de coajă și conținutul de formaldehidă ($p = 0,806$) nu există o relație semnificativă statistic. Influența m.c. asupra conținutului de formaldehidă a fost predominantă pentru plăcile încleiate cu adezivii pe bază de formaldehidă (UF și UF + PVAc).

Plăcile care au fost încadrate în clasa de emisie super E0 au fost încleiate cu tanin și PUR. Self_agglom_f și self_agglom_c (plăci produse fără adaos de adezivi) au fost incluse în aceeași categorie super-E0, însă la pregătirea lor a fost adăugată o cantitate mică de apă (diferență de 100% din conținutul solid al adezivului UF). Lignina conținută în coajă a acționat ca un adeziv natural

datorită naturii sale fenolice și mecanismelor de autoaderență ale cojii (Gupta, Yan & Feng 2011). În cazul fracțiunii fine de coajă de larice, panourile încleiate cu tanin au prezentat un conținut mai mic de formaldehidă, iar lignina sa naturală a fost "activată" cu apă.

Testul neparametric Kolmogorov-Smirnov (Figura 3.1.1.2) pentru valorile conținutului de formaldehidă (măsurate și calculate) a arătat că ambele distribuții ale testului au fost normale ($p = 0,000$).

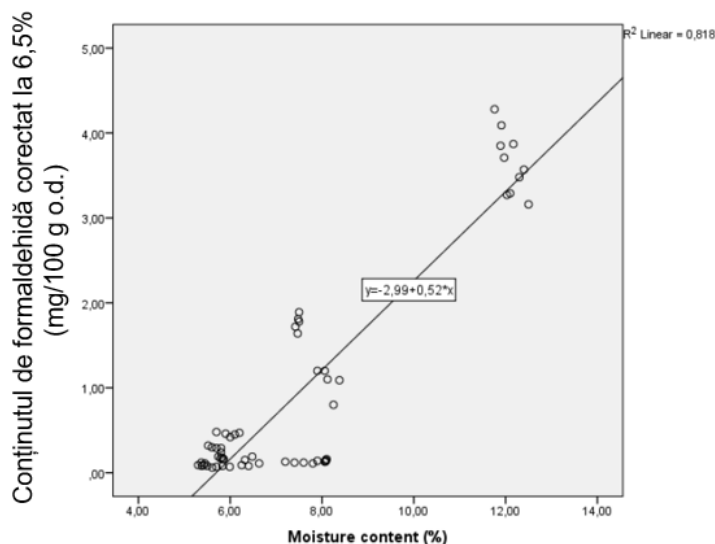


Figura 3.1.1.2. Corelația dintre conținutul de formaldehidă și conținutul de umiditate al probelor din coajă de larice încleiate cu cinci tipuri diferite de adezivi

În numeroase studii (Chen, Sun & Zhang 2006), (Frihart et al. 2012), (Meng & Hong 2017), (Salem, Böhm & Nasser 2017) s-a demonstrat că valorile conținutului de formaldehidă liberă în panourile pe bază de lemn au fost mult mai mari decât cele care au făcut obiectul acestei cercetări științifice.

Normativele privind emisiile de formaldehidă și metode de testare a acestora pentru panourile pe bază de lemn trebuie respectate pe toate continentele. În Europa, standardul european armonizat EN 13986 reglementează emisia de formaldehidă în E1 și E2, dar recent s-a convenit să se accepte doar clasa E1, renunțându-se la producția de panouri din clasa E2. Aceasta corespunde unei valori perforator sub 8 mg/100 g pentru PAL (grosime > 8 mm). La inițiativa IKEA, a fost introdusă o clasă echivalentă cu limite de emisie de formaldehidă la jumătate din E1: așa-numita E 0,5 care corespunde unei valori perforator < 4 mg/100 g (Wang et al. 2015), (Zhang et al. 2018). Într-un studiu realizat de (Salem, Böhm & Nasser 2017), autorii au recalculat valorile corespunzătoare din standardele japoneze, care ar trebui să se situeze < 4,5 mg/100 g (și pentru plăcile speciale, o limită mai strictă de 2,7 mg/100 g). Pentru standardele americane, valorile s-ar situa la nivelul de sub 11,3 mg/100 g (plăcile speciale fiind stabilită o limită mai strictă, de 5,6 mg/100 g).

Rezultatele prezentate în Figura 3.1.1.1 denotă avantajul semnificativ al utilizării cojii de larice pentru a reduce cantitatea de formaldehidă liberă în panourile decorative. Coaja de larice a trecut testul perforator, cea mai eficientă metodă utilizată în industrie pentru PAL și MDF pentru a oferi un feedback rapid cu privire la conținutul de formaldehidă liberă în toată masa compozitului.

În final, pot fi trase următoarele concluzii:

Coaja de larice a redus semnificativ conținutul de formaldehidă în panourile decorative. S-a constatat că majoritatea valorilor au fost incluse în categoria E0 ($\leq 2,5$ mg/100 g o.d.), fiind dependente de tipul de adeziv.

Acest studiu a evidențiat faptul că 75% dintre epruvetele încheiate cu adezivi pe bază de tanin și PUR au fost incluse în categoria super E0 ($\leq 1,5$ mg/100 g o.d.). Aceste clase (E0 și super E0) de panouri cu emisie redusă de formaldehidă au fost inițiate conform standardelor japoneze (JIS) și stabilite de Federația Europeană a Panourilor (EPF).

Umiditatea materialului este direct corelată cu conținutul de formaldehidă, cu un coeficient de determinare ajustat $R^2 = 0,812$ ($Y = 0,5 \times - 2,99$). Conținutul de umiditate a plăcilor a avut o influență semnificativă ($p = 0,000$), în timp ce efectul fracțiunii de particule asupra conținutului de formaldehidă ($p = 0,806$) nu a avut niciun impact statistic.

Coaja de larice a avut un impact pozitiv asupra scăderii conținutului de formaldehidă liberă, lasând deschisă posibilitatea cercetărilor ulterioare privind panourile cu un conținut redus de formaldehidă și pentru analiza altor specii de coajă de conifere sau foioase.

3.2. Cazeina

Cazeina este principala grupă proteică din lapte, atât din punct de vedere cantitativ, cât și nutrițional, și ingredientul de bază al produselor lactate utilizate în industria alimentară. În formă pură, cazeina este un solid alb, insipid, inodor și amorf, în timp ce varianta sa comercială este gălbuie și are un miros plăcut. Cazeinele pot fi ușor diluate într-un solvent apos, au conținut ridicat de calciu și azot la o vâscozitate scăzută. Separarea cazeinelor de componentele auxiliare ale laptelui, cum ar fi proteinele din zer, lactoza și mineralele, se poate realiza în două moduri: i) prin precipitare selectivă cu ajutorul acidului sau al cheagului, ii) cu ajutorul tehnicilor de filtrare cu membrană (Raak & Corredig 2022). Cazeina determină aspectul alb și opac al laptelui, fiind formată din mai multe componente individuale de cazeină ($\alpha S1$ -, $\alpha S2$ -, β - și κ - cazeină), fiecare având proprietăți ușor diferite (Sarode et al. 2016).

Datorită numărului mare de grupe polare, cazeina are aderență bună pe diferite substraturi, cum ar fi lemnul, sticla sau hârtia. Datorită caracterului hidrofil, peliculele de cazeină reprezintă

bariere eficiente împotriva substanțelor nepolare, cum ar fi oxigenul, dioxidul de carbon și aromele (Audic, Chaufer & Daufin 2003).

3.2.1. Aplicații ale adezivilor pe bază de cazeină

Cazeina are o istorie îndelungată în industria alimentară, dar sunt bine cunoscute și aplicațiile industriale sau tehnice nealimentare, mai ales până în anii 1960. Utilizarea cazeinei pentru încheierea lemnului datează din Egiptul antic sau din Evul Mediu (Guo & Wang 2016). Cleiurile proteice pe bază de lapte erau folosite pentru lipirea lemnului și a hârtiei. Aceste tipuri de cleiuri erau la mare căutare, datorită îmbinărilor adezive durabile ale lemnului în medii uscate, care rezistau secole întregi. În medii umede, durabilitatea îmbinărilor adezive scădea rapid.

În perioada Renașterii, cazeina a fost amestecată cu var, fiind folosită pe scară largă pentru încheierea produselor de mobilier și a instrumentelor muzicale, în amestecurile de pigmenți pentru vopsele și pentru fixarea pânzelor de tablouri pe ramă. În această perioadă, cei doi adezivi principali utilizați în construcția de mobilier erau cazeina și cleiurile pe bază de gelatină de origine animală. Adezivii din gelatină animală se întăreau și asigurau stabilitate structurală imediat după răcire. Produsele încheiate cu cazeină necesitau un timp de presare mult mai lung pentru dezvoltarea aderenței și întărirea îmbinării adezive. Cu toate acestea, adezivul din cazeină și-a păstrat reputația de a fi singurul adeziv care asigură o rezistență mărită la apă (Pizzi 2014). Tot datorită rezistenței la umiditate cazeina a fost folosită pentru încheierea elementelor din lemn pentru viori (Echard et al. 2010).

La începutul secolului XIX, pentru prepararea adezivilor pe bază de cazeină zerul era amestecat cu var. Un secol mai târziu cazeina uscată a fost dezvoltată în scopuri comerciale, prin adăugarea, pe lângă var, a sărurilor de sodiu. Aceste componente trebuiau apoi amestecate cu apă în momentul utilizării.

Din secolul XX, încheierea cu cazeină a fost extinsă și pentru aplicații structurale. Dulgherul și antreprenorul german de la curtea marelui Ducat din Weimar, Turingia, Karl Friedrich Otto Hetzer, a înregistrat în 1906 un brevet pentru un cadru de portal din lemn de tip grindă stratificată din cherestea (GLT – Glue Laminated Timber) încheiat cu adeziv pe bază de cazeină (Paulitsch și Barbu, 2015), (Petrović, Vale & Pedersen Zari 2017).

Ca o validare a durabilității produselor încheiate cu cazeină, există structuri portante care încă mai sunt în picioare din anii 1930. Prin dezvoltarea în perioada interbelică a adezivilor sintetici fenol-formaldehidici (PF) impermeabili, adezivii de cazeină au fost mai puțin utilizați în industria lemnului (Guo & Wang 2016).

În prezent, polimerii pe bază de cazeină sunt utilizați în scopuri tehnologice numai ca adezivi pentru etichete de hârtie, finisarea pielii, acoperiri sau spume (Sarode et al. 2016).

Adezivul pe bază de cazeină este foarte popular în SUA la fabricarea produselor de tip panou tip ramă. O utilizare limitată a acestui tip de adeziv este pentru distanțierile plăcilor de transformare din industria electrică.

Cea mai populară utilizare a adezivilor de cazeină și a celor din amestecuri proteice este pentru producția de uși cu miez gol sau plin. Majoritatea ușilor din Statele Unite ale Americii sunt fabricate cu acest tip de adeziv. Ușile cu miez gol au o hârtie de tip fagure (honeycomb) care este introdusă într-o ramă din lemn masiv, iar plăcile de suprafață (placaj, panouri din fibre sau plăci aglomerate subțiri) sunt fixate pe ramă cu ajutorul amestecului de cazeină și proteine. Amestecurile de cazeină și soia sunt folosite la încluirea miezului mineral de cadrul ușilor rezistente la foc (Skeist 1990).

Principalele condiții pe care trebuie să le îndeplinească un adeziv pe bază cazeină sunt rezistența la apă și la mușcături (Schwarzenbrunner et al. 2020). Dacă este necesară îndeplinirea unor criterii superioare de încluire, adezivii de cazeină trebuie să fie preparați astfel încât să asigure o durată de utilizare îndelungată, o rezistență ridicată la umiditate, distribuire ușoară a filmului de adeziv.

Pentru a prepara un adeziv pe bază de cazeină, aceasta nu trebuie să fie din cazeină de cea mai bună calitate, însă trebuie ținut cont de granulația acesteia. De asemenea, un material contaminat (cu molii, de exemplu) poate modifica proprietățile cazeinei, în special rezistența la apă. De asemenea, cazeina trebuie să aibă un conținut scăzut de grăsimi și acizi, să fie lipsită de larve, viermi sau alte particule organice. Prepararea cazeinei din pulbere include înmuierea în apă timp de câteva ore și amestecarea cu var și silicat de sodiu (Schwarzenbrunner et al. 2020). Cantitatea de var (hidroxid de calciu) dictează capacitatea de rezistență la apă a adezivului (Zeppenfeld & Grunwald 2005). Rezistența la umiditate a adezivului este direct proporțională cu procentul de var utilizat. De exemplu, dacă procentul de var este mai mare de 30 %, atunci îmbinarea adezivă va avea o rezistență maximă la apă. Orice cantitate de var mai mică de 10 % va determina o rezistență diminuată la umiditate a suprafeței de legătură. În general, la prepararea adezivilor pe bază de cazeină, conținutul de var este cuprins între 15 și 25 % (Pizzi 2014). Deși încorporarea varului în amestec crește rezistența la umiditate, aceasta afectează, de asemenea, durata de aplicare a adezivului. Cu cât procentul de var este mai mare, cu atât mai scurtă fază deschisă a adezivului.

Timpul de presare este mult mai lung în cazul utilizării adezivilor pe bază de cazeină comparativ cu adezivii convenționali. Compozitele sau elementele încluite cu adeziv pe bază de cazeină pot fi presate atât la temperatura camerei, cât și la temperaturi ridicate. Căldura din timpul ciclului de presare duce la o întărire mai rapidă a îmbinării adezive, dar nu îmbunătățește rezistența

la apă. Presiunea poate varia, în funcție de domeniul de aplicare și de piesele de îmbinat (Zeppenfeld & Grunwald 2005). Pe cheresteaua uscată se poate aplica o peliculă de adeziv pe bază de cazeină, care permite o fază deschisă de 1-2 ore anterior presării (Pizzi 2018). În cazul presării la temperatura camerei, cel mai scurt timp pentru obținerea rezistenței finale de încheiere este de 24 de ore (Zeppenfeld & Grunwald 2005).

Valoarea pH-ului adezivului este 12. Din cauza alcalinității, trebuie evitată încheierea și placarea speciilor lemnoase de arțar, stejar și nuc, deoarece se pot decolora rapid (Zeppenfeld & Grunwald 2005).

3.2.2. Adezivi pe bază de cazeină pentru încheierea furnirelor (Schwarzenbrunner et al. 2020) *⁷ Tudor E. M. autor corespondent

Scopul acestui studiu a fost analiza adezivilor pe bază de cazeină ca alternativă la adezivii convenționali pentru încheierea furnirului, pentru confecționarea de schiuri biodegradabile. Accentul cercetării a fost pus pe ingrediente sustenabile și non-toxice.

Furnirele de frasin (*Fraxinus spp.*), cu o grosime de 1,44 mm, cu un conținut de umiditate de 8,42 %, au fost furnizate de firma J. u. A. Frischeis Co. (Aupoint, Salzburg, Austria) pentru a produce placajul tristratificat (Figura 3.2.1). Placajul a fost încheiat cu adeziv pe bază de cazeină conform unei rețete dezvoltată de (Schwarzenbrunner et al. 2020). Amestecul constă în cazeină (precipitat cu acid lactic sub formă de pulbere), apă (pH 7) și var stins (conținut de substanță uscată 60,9 %), ambele de la Kremer Pigmente (Aichstetten, Germania).

Două tipuri de adezivi clasici pentru lipirea lemnului au fost folosite ca referință: PVAc D4 (Kleiberit 303) de la Becker (Weingarten, Germania) și rășină epoxidică (Presto Epoxyharz), de la European Aerolsols (Haßmersheim, Germania). Ambele variante sunt avantajoase datorită rezistenței lor ridicate la apă, costului redus (în special PVAc), disponibilității ridicate și prelucrării ușoare.



Figura 3.2.1 Placaj tristratificat din furnir estetic de frasin (1,4 mm) încheiat cu adeziv pe bază de cazeină

⁷ Schwarzenbrunner Ronald.; Barbu Marius Cătălin; Petutschnigg Alexander; Tudor Eugenia Mariana. Water-Resistant Casein-Based Adhesives for Veneer Bonding in Biodegradable Ski Cores. *Polymers* 2020, 12, 1745. <https://doi.org/10.3390/polym12081745>

Pulberea de cazeină a fost hidratată timp de patru ore și apoi amestecată cu var stins. Ingredientele au fost amestecate manual la temperatura camerei (20 °C și 35 % umiditate relativă a aerului) până când s-a obținut o masă uniformă.

Conform studiului preliminar (Schwarzenbrunner et al. 2020) a reieșit că prepararea adezivului „Casein 1” a determinat cea mai bună înclieiere și, ulterior, proprietăți mecanice adecvate în comparație cu alte rețete testate anterior. Din acest motiv, „Casein 1” a servit drept bază pentru rețetele utilizate în această cercetare, inițial cu un consum de adeziv de 600 g/m².

Etichetarea eșantioanelor a fost realizată după cum urmează: litera majusculă după „Casein 1” înseamnă o modificare a procesului de fabricație, iar numărul corespunde unei cantități mai mari de apă (Casein 2) și unei cantități mai mari de var stins (Casein 3).

Pulberea de cazeină din „Cazeină 1C” a fost hidratată timp de 1 oră înainte de mixarea tuturor ingredientelor. Adezivul a fost aplicat pe foile de furnir direct după omogenizare, cu excepția „Casein 1B”, utilizat după o oră de la preparare (Tabelul 3.2.2.1).

Pentru fiecare tip de placaj, furnirul a fost tăiat în foi de 300x300 mm, condiționate timp de o lună la 20°C și 35% umiditate relativă a aerului. Procentul mai mare de umiditate a aerului de 65% nu se recomandă, conform observațiilor studiului anterior realizat de Schwarzenbrunner (2019).

Conținutul de umiditate al furnirului a fost de 8,4 %, care ar trebui să îmbunătățească pătrunderea adezivului în lemn, pentru a consolida aderența. (Dunky & Niemz 2002) recomandă la utilizarea adezivilor pe bază de cazeină menținerea conținutului de umiditate al furnirului la aproximativ 8%.

Tabelul 3.2.2.1. Ponderile componentelor la prepararea adezivilor pe bază de cazeină pentru înclieierea placajului de frasin în 3 straturi (4 mm grosime)

Tip adeziv	Cazeină (%)	Apă (%)	Var stins (%)	Adeziv (g/m ²)
Epoxy	-	-	-	250
PVAc	-	-	-	150
Casein 1A	27.29	67.13	5.57	600
Casein 1B	27.29	67.13	5.57	600
Casein 1C	27.29	67.13	5.57	600
Casein 1D	27.29	67.13	5.57	900
Casein 1E	27.29	67.13	5.57	300
Casein 2	20.51	75.30	4.19	600
Casein 3	24.01	59.07	16.92	600

Placajele tristratificate au fost fabricate cu foi de furnir de frasin de 1,44 mm, înclieiate cu adezivii descriși în Tabelul 3.2.2.2 și presate cu presa hidraulică de laborator Höfer HLOP 280. Au fost produse în total nouă plăci.

Tabelul 3.2.2.2. Parametrii de presare în funcție de adezivul utilizat

Tip adeziv	Timp de presare (min sau ore)	Temperatura de presare (°C)	Forța de presare (kN)
Epoxy	18 h	20	
PVAc D4	15 min	50	135
Toate mostrele pe bază de cazeină	16 h	20	342

După încheierea furnirelor cu cazeină, au fost presate simultan patru panouri, cu o forță de presare de 342 kN, timp de 16 ore, la 20 °C și 35 % umiditate relativă a aerului (Tabelul 3.2.2.1 și Tabelul 3.2.2.2). Cantitatea de adeziv aplicată a fost de 600 g/m². Doar epruveta „Casein 1D” a necesitat cu 50 % mai mult adeziv, iar „Casein 1E” cu 50 % mai puțin. De precizat că adezivul pe bază de cazeină conține peste 60 % apă, care se evaporă lent sau este absorbit de furnire în timpul întăririi adezivului.

După încă o perioadă de condiționare la 20 °C și 35 % umiditate relativă a aerului, panourile finite au fost tăiate în epruvete și apoi testate.

Pentru testul de rezistență la forfecare au fost pregătite 10 epruvete din fiecare tip de placă de placaj cu distanța între cleme de 80 mm, lățimea de forfecare de 25±0,5 mm, lungimea de forfecare de 25±0,5 mm și lățimea tăieturii de 3 mm (Figura 3.2.2.2) în conformitate cu EN 314-1:2005. Pregătirea preliminară a inclus imersia probelor în apă (20°C, pH 7) timp de 24 de ore.

Pentru a determina rezistența la încovoiere în 3 puncte în conformitate cu EN 310:2005, au fost testate șase epruvete din fiecare placaj, având dimensiunile 140 mm x 50 mm x 4,5 mm. Umflarea în grosime și absorbția de apă au fost determinate pentru opt eșantioane cu 50 mm x 50 mm corespunzătoare fiecărui panou. Grosimea și greutatea acestora au fost măsurate la un nivel de precizie de 0,1 mm și 0,01 g, în conformitate cu EN 317:2005.

Eșantioanele încheiate cu rășină epoxidică au cea mai mare rezistență la forfecare după imersarea în apă timp de 24 h, ceea ce nu este surprinzător, deoarece acest tip de adeziv este rezistent la apă (Tabelul 3.3.2.3). A doua valoare maximă a rezistenței la forfecare după imersia de 24 h în apă a fost măsurată pentru epruvetele „Casein 3”. Plăcile încheiate cu adeziv pe bază de cazeină conținând 16 % var stins au avut o rezistență la forfecare de 2,7 ori mai mare decât cele fabricate cu adezivul „PVAc” (clasa D4). Valorile rezistenței la forfecare pentru plăcile încheiate cu „Casein 1” au fost relativ similare, în ciuda diverselor modificări în ceea ce privește producția (cazeina din rețeta „Casein 1C” a fost lăsată să se hidrateze timp de 1 h în apă înainte de a fi amestecată cu celelalte elemente), iar rețeta „Casein 1B” a presupus utilizarea adezivului pe bază de cazeină după o oră de la preparare). Valoarea minimă a rezistenței la forfecare pentru seria „Casein 1” a fost de 0,18 MPa, iar valoarea maximă de 0,86 MPa. Panoul încheiat cu „Casein 1D”, care a avut o cantitate mai mare de adeziv (900 g/m²), a obținut o rezistență la forfecare cu 50 % mai mare decât „Casein 1A”. Utilizarea

unei cantități de apă de 74,53 % pentru „Casein 2” a avut un efect negativ asupra încleierii, rezistența la forfecare a acestor eșantioane întrunind o valoare medie minimă de 0,08 MPa și o valoare maximă de 0,19 MPa.

Tabelul 3.2.2.3 Rezistența la tracțiune și forfecare a placajelor tristratificate din furnir de frasin încleiate cu caseină

Tip placaj	Rezistența la tracțiune și forfecare [MPa]		
	Mean (standard deviation)	Minimum	Maximum
Casein 1A	0.51 ^{a,b} (0.21)	0.22	0.83
Casein 1B	0.60 ^{a,b} (0.24)	0.18	0.86
Casein 1C	0.49 ^{a,b} (0.16)	0.26	0.75
Casein 1D	0.76 ^{b,c} (0.06)	0.65	0.83
Casein 1E	0.16 ^a (0.04)	0.13	0.24
Casein 2	0.15 ^a (0.04)	0.08	0.19
Casein 3	1.20 ^c (0.04)	1.12	1.24
Epoxy	2.35 ^d (0.78)	1.24	3.68
PVAc D4	0.45 ^{a,b} (0.25)	0.16	0.76

Modulul de elasticitate (MOE – Modulus of Elasticity) al epruvetelor testate diferă doar puțin. Dacă nu se ia în considerare încleierea cu PVAc, restul panourilor diferă între ele cu mai puțin de 20 % (Tabelul 3.3.2.4). Epruvetele cu cele mai mari valori MOE au fost cele încleiate cu PVAc (MOE cu 31,4 % mai mare decât "Casein 1E"), apoi cele la care s-a utilizat „Casein 3”, „Epoxy”, „Casein 1C” și „Casein 2”. Cele mai rigide au fost epruvetele încleiate cu „Casein 1”, cu excepția „Casein 1C”.

Tabelul 3.2.2.4. Valoarea medie, abaterea standard, minimumul și maximumul modulului de elasticitate (MOE) și rezistența la încovoiere (MOR) ale probelor de testare, m.c.= 8,42 %, n=6 (a,b valorile cu aceeași literă nu diferă semnificativ: ANOVA, Post-Hoc Tukey HSD, $\alpha = 0,05$); în paranteze deviația standard

Tip placaj	MOE [GPa]			MOR [MPa]		
	Valoarea medie	Minimum	Maximum	Valoarea medie	Minimum	Maximum
Casein 1A	7.60 ^{a,b} (1.12)	5.96	9.02	100.91 ^b (9.14)	89.25	114.78
Casein 1B	7.32 ^a (0.50)	6.74	8.19	101.73 ^b (5.40)	93.20	109.39
Casein 1C	8.41 ^{a,b} (1.18)	6.82	9.57	105.47 ^b (11.88)	86.48	121.95
Casein 1D	7.68 ^{a,b} (0.35)	7.07	8.03	96.17 ^b (5.54)	88.52	102.43
Casein 1E	7.19 ^a (0.89)	6.32	8.75	65.10 ^a (18.24)	40.81	96.32
Casein 2	8.10 ^{a,b} (0.74)	6.86	8.76	96.18 ^b (6.08)	87.96	105.43
Casein 3	8.57 ^{a,b} (1.84)	6.03	11.79	105.78 ^b (19.04)	75.11	134.62
Epoxy	8.50 ^{a,b} (1.06)	6.47	9.37	105.27 ^b (11.57)	82.56	114.86
PVAc D4	9.45 ^b (1.29)	8.00	11.22	99.25 ^b (20.58)	62.70	126.62

Rezistența la încovoiere (MOR – Modulus of Rupture) a epruvetelor testate diferă puțin (sub 10 %, fără a lua în considerare „Casein 1D”). Urmând aceeași tendință ca și în cazul MOE, panoul încleiat cu „Casein 1E”, la aplicarea căruia se utilizează o cantitate mai mare de adeziv, a avut cea

mai mică valoare a MOR cu 61,5 % (mai mică decât cea a epruvetei cu cea mai mare valoare „Casein 3”).

În cazul absorbției de apă, probele încleiate cu „Epoxy” au fost cele mai bune, cu o valoare medie de 40,24 % (Tabelul 3.2.2.5). Epruveta încleiată cu „Casein 1B” (lăsată în repaus timp de 1 h după amestecare) a prezentat cea mai mică absorbție de apă, cu un minim de 45,93 %. Epruvetele încleiate cu o cantitate mai mare de cazeină („Casein 1D”) sau la care s-a folosit o cantitate mai mare de var stins la prepararea adezivului („Casein 3”) au avut rezultate cu doar 5 % mai mari. În cazul în care cazeina cu care a fost încleiată epruveta Casein 1 este hidratată doar timp de 1 h („Casein 1C”), absorbția de apă este cu 9,5 % mai mare în comparație cu cazul în care este hidratată timp de 4 h („Casein 1A”). Cea mai mare absorbție a apei a fost măsurată pentru probele la care s-a aplicat o cantitate mai mică de adeziv („Casein 1E”) și cu o cantitate mai mare de apă („Casein 2”). Rezultatele pentru panourile încleiate cu „PVAc” s-au clasat în valoarea medie a tuturor rezultatelor.

Tabelul 3.2.2.5. Media aritmetică, abaterea standard, minimumul și maximumul absorbției de apă și al umflării în grosime a eșantioanelor după stocarea în apă timp de 24 h, n=8 (a,b,c,d,e valorile cu aceeași literă nu sunt semnificativ diferite: ANOVA, Post-Hoc Tukey HSD, $\alpha = 0,05$).

Tip placaj	Absorbția de apă după 24 h [%]			Umflarea în grosime după 24 h [%]		
	Media arit. (deviația standard)	Minimum	Maximum	Media arit. (deviația standard)	Minimum	Maximum
Casein 1A	56.74 ^{b,c,d} (3.29)	50.68	60.62	6.01 ^a (0.77)	4.59	6.84
Casein 1B	50.71 ^b (2.70)	45.93	54.14	9.06 ^a (1.84)	5.53	10.68
Casein 1C	62.15 ^d (5.62)	51.89	68.94	9.49 ^a (2.49)	5.33	13.00
Casein 1D	53.18 ^{b,c} (1.60)	50.67	55.64	4.66 ^a (3.03)	0.21	8.67
Casein 1E	69.86 ^e (6.20)	61.13	79.72	10.93 ^{a,b} (1.49)	9.37	13.38
Casein 2	74.00 ^e (3.10)	70.25	78.48	4.77 ^a (3.91)	-1.72	9.91
Casein 3	53.50 ^{b,c} (0.85)	52.43	54.93	10.16 ^{a,b} (4.57)	2.98	17.43
Epoxy	40.24 ^a (3.33)	35.06	44.77	10.54 ^{a,b} (1.75)	8.52	13.63
PVAc D4	58.15 ^{c,d} (2.77)	54.74	61.45	16.46 ^b (7.41)	7.03	28.94

În cazul umflării în grosime (Tabelul 2.6), cu excepția probelor „Casein 1E” (cu o cantitate mai mică de adeziv pe bază de cazeină), toate celelalte probe încleiate cu cazeină au conținut cu cel puțin 34 % până la 46 % mai puțină apă decât epruvetele încleiate cu Epoxy și PVAc.

Amestecurile de cazeină trebuie utilizate în mod eficient pentru încleierea furnirelor. Epruvetele pregătite cu o cantitate mai mare de var stins (peste 10 %) au cea mai mare rezistență la forfecare după imersarea în apă timp de 24 h. Rezistența lor la apă este de până la trei ori mai mare în comparație cu probele încleiate cu PVAc clasa D4 testate în aceleași condiții. Atât valorile

rezistenței la încovoiere, cât și cele ale modulului de elasticitate au fost în general mai mari pentru aceste epruvete, în comparație cu alte probe încleiate cu alte cantități de cazeină, apă și var stins. Un alt factor important în ceea ce privește proprietățile mecanice și fizice ale placajului încleiat cu cazeină este cantitatea de adeziv, aplicarea a 600 g/m² dovendindu-se eficientă.

S-au constatat diferențe semnificative între diversele rețete pentru adezivii pe bază de cazeină, ceea ce conduce la concluzia că există o legătură strânsă între raportul dintre componente, cantitatea de adeziv și performanțele fizice și mecanice ale placajului astfel încleiat.

În concluzie, probele încleiate cu „Casein 3” au cea mai mare rezistență la apă și, în principal, cele mai bune proprietăți mecanice dintre toate panourile încleiate cu cazeină. Doar probele încleiate cu rășină epoxidică au o rezistență mai mare la apă datorită acestui tip de duroplast. Furnirele încleiate cu cazeină au fost utilizate pentru construcția de schiuri de tură în sistem sandwich și testate cu succes timp de un sezon pe piste nebatătorite în 2020 în Alpii austrieci. Testarea schiurilor nu a făcut obiectul acestui studiu, dar confirmă practic capacitatea de încleiere a furnirelor cu adeziv pe bază de cazeină.

3.2.3. ⁸Eficiența presării cu curenți de înaltă frecvență a lemnului laminat de molid încleiat cu adezivi pe bază de cazeină (Herzog et al. 2021) ⁹ Tudor E.M. autor corespondent

Cazeina este proteina laptelui degresat obținută prin precipitare (Ebnesajjad & Lanck) și poate fi folosită ca adeziv alternativ pentru UF, PF sau pMDI la încleierea lemnului masiv și furnirelor. Acest polimer proteic natural a fost folosit ca adeziv pentru produsele stratificate din lemn. Placajul folosit pentru avioane în Primul Război Mondial a fost încleiat cu adeziv pe bază de cazeină (Konnerth et al. 2012) datorită rezistenței sale adecvate pentru utilizare în exterior. Ulterior, cazeina a fost eliminată de rășinile formaldehidice, superioare calitativ și ușor de prelucrat. În aplicațiile actuale, adezivii de cazeină sunt folosiți pentru lipirea etichetelor sticlelor sau a hârtiei de țigară, lacuri antistatice de finisare a hârtiei de înaltă calitate din fibre naturale și sintetice, aplicații la interior (Audic, Chaufer & Daufin 2003). La prepararea adezivilor pe bază de cazeină se adaugă apă, var și silicat de sodiu (Schwarzenbrunner et al. 2020). Ureea și amoniacul determină scăderea vâscozității prin reducerea legăturilor de hidrogen (McGann & Fox 1974). Din seria cercetărilor efectuate cu lemn masiv încleiat cu cazeină se pot aminti (Konnerth et al. 2006), studiu în care a fost comparată rezistența lemnului de molid și fag încleiat cu diverși adezivi, printre care s-a numărat și cazeina (nu au fost date informații despre modul de preparare a adezivului pe bază de cazeină). În urma testării

⁸ Herzog Andreas.; Kerschbaumer, Tobias; Schwarzenbrunner Ronald.; Barbu Marius Cătălin; Petutschnigg Alexander; Tudor Eugenia Mariana Efficiency of High-Frequency Pressing of Spruce Laminated Timber Bonded with Casein Adhesives. *Polymers* 2021, 13, 4237. <https://doi.org/10.3390/polym13234237>

îmbinării oblice, rezistența la forfecare a probelor încleiate cu cazeină a fost mai mică decât cea a probelor la care s-au folosit PVAc, MUF, PRF și PUR. (Mitani & Barboutis 2008) au analizat calitatea încleierii lemnului de fag la utilizarea adezivilor PVAc și cazeină. Componentele adezivului pe bază de cazeină au inclus și var, potasă, cretă, borați, carbonați și silicați. Rezistența la încovoiere (MOR) a fost influențată de tipul de adeziv, încleierea cu PVAc dovendindu-se mult superioară celei cu cazeină.

Scopul acestui studiu a fost de a analiza calitatea încleierii lemnului stratificat folosind adeziv pe bază de cazeină, prin utilizarea în premieră a unei prese cu curenți de înaltă frecvență (CIF) și compararea acestui proces cu presarea la rece cu o presă hidraulică. Timpul de presare cu ajutorul CIF se reduce considerabil, durata de întărire a adezivului este scurtată de la ore la minute; fiind un procedeu folosit de mult timp pentru presarea produselor din lemn masiv (de exemplu pentru grinzile stratificate din chereștea – GLT) (Bierwirth & Hoyler 1943). Sistemul de încălzire și presare cu CIF este utilizat și la fabricarea plăcilor groase de placaje sau a grinzilor stratificate din furnire tip LVL (Thelandersson 2003). În timpul presării, lamelele de lemn sunt expuse unui câmp de înaltă frecvență (Paulitsch & Barbu 2015), iar moleculele de apă din zona de încleiere încep să oscileze, având ca efect o creștere a temperaturii. Este important ca suprafața care urmează să fie încleiată să aibă un conținut de umiditate mai mare (fresc după aplicarea adezivului ca soluție apoasă) decât zonele învecinate, astfel că apa se încălzește cu ușurință determinând întărirea mult mai rapidă a adezivului (Paulitsch & Barbu 2015).

Lamelele de molid (*Picea abies*) cu dimensiuni de 120 mm × 1500 mm × 20 mm și un conținut de umiditate de 12 % au fost puse la dispoziție pentru acest studiu de compania Weinberger-Holz (Reichenfels, Austria). Lamelele de molid au fost încleiate sub forma unei grinzi în cinci straturi cu PVAc tip D3, adezivi pe bază de cazeină (cu cazeină acidă și cheag), din care ulterior au fost pregătite epruvetele. Înaintea presării, lamelele au fost depozitate la 18 °C și la o umiditate relativă a aerului de 50 %, minim șapte zile.

Modul de preparare a adezivului pe bază de cazeină a fost similar cu cel aplicat în studiul (Schwarzenbrunner et al. 2020). Au fost utilizate două tipuri de cazeină precipitată cu acid lactic de la companiile Kremer Pigmente (Aichstetten, Germania), Gebrüder Woerle (Salzburg, Austria) și cheag (rennet) furnizat de Gebrüder Woerle, (Salzburg, Austria).

Rețeta pentru adezivul pe bază de cazeină include, de asemenea, apă (pH 7) și var stins (depozitat timp de trei luni și compus din var alb hidratat, conținut de substanțe solide 40%) de la Baumit Co. (Wopfing, Austria). Ulterior, varul a fost adăugat până când s-a format o masă omogenă. Ingredientele au fost amestecate manual, la temperatura camerei și la o umiditate relativă a aerului de 35 % și au fost omogenizate cu un mixer mecanic la o viteză cuprinsă între 700 și 1500 rpm. Un

adeziv tipic pentru lemn (PVAc tip D3) de la Würth Co. (Böheimkirchen, Germania) a fost utilizat ca referință în ambele procese de presare (la rece și CIF).

Probele au fost etichetate după cum urmează: primele litere descriu procesul de producție, de exemplu, „HF” pentru presare de înaltă frecvență cu cazeină și „CP” pentru presare la rece (20 °C) cu presa de furnir OTT (Maschinen-Grup, Nattheim, Germania). Următoarele litere descriu tipul de cazeină utilizat, cum ar fi „AK” pentru cazeină acidă de la Kremer Pigmente Co. sau „RW” pentru cheag uscat (pulbere) de la Woerle Co. În plus, în nomenclatura probelor a fost inclus și numărul corespunzător din procesul de producție. Rețetele pentru adezivul pe bază de cazeină, tipul de presă, timpul de presare și aplicarea adezivului prezentate în acest studiu sunt rezumate în Tabelul 3.2.3.1 Modul de preparare a adezivului pentru CP-AK1 se consideră drept referință, datorită celui mai bun tip de încleiere rezultat din studiile anterioare. Pentru o mai bună aplicare a adezivului, s-a utilizat o rețetă care conține cu 5 % mai multă apă (CP-AK2), cu o consistență similară cu cea a adezivului PVAc.

Tabelul 3.2.3.1. Componentele adezivilor pe bază de cazeină (părți per volum (ppv)) și parametrii de presare pentru lemnul stratificat tip GLT de molid

Tip panou GLT	Sistem de presare	Timp de presare	Cazeină	Cazeină (ppv)	Apă (ppv)	Var stins (ppv)	Cantitate adeziv (g/m ²)
PVAc-D3	CP	24 h	-	-	-	-	200
HFPVAc-D3	HF	4 min	-	-	-	-	200
HF-AK1	HF	2 min	Acid (Kremer)	1.5	3.5	1.0	400
HF-AK2	HF	4 min	Acid (Kremer)	1.5	3.5	1.0	400
HF-AK3	HF	2 min	Acid (Kremer)	1.5	4.5	1.0	400
HF-AK4	HF	4 min	Acid (Kremer)	1.5	4.5	1.0	400
HF-AK5	HF	4 min	Acid (Kremer)	1.5	4.5	1.0	200
HF-RW	HF	4 min	Rennin (Woerle)	1.5	3.5	1.0	400
HF-AW	HF	4 min	Acid (Woerle)	1.5	3.5	1.0	400
CP-AK1	CP	24 h	Acid (Kremer)	1.5	3.5	1.0	400
CP-AK2	CP	24 h	Acid (Kremer)	1.5	4.5	1.0	400
CP-AK3 *	CP	24 h	Acid (Kremer)	1.5	3.5	1.0	400
CP-AK4 **	CP	24 h	Acid (Kremer)	1.5	4.5	1.0	400
CP-AK5 ***	CP	24 h	Acid (Kremer)	1.5	3.5	1.0	400
CP-RW6	CP	24 h	Rennin (Woerle)	1.5	3.5	1.0	400
CP-AW7	CP	24 h	Acid (Woerle)	1.5	3.5	1.0	400
CP-RW8	CP	24 h	Rennin (Woerle)	1.5	6.5	1.0	400
CP-AW9	CP	24 h	Acid (Woerle)	1.0	2.5	1.0	400

* Încălzirea adezivului pe bază de cazeină înainte de amestecare la aproximativ 30 °C.

** Aplicarea adezivului după 90 min și creșterea conținutului de apă.

*** Aplicarea adezivului după 45 min și utilizarea adezivului de referință din cazeină.

Lamelele de molid încleiate în grinzi de 5 straturi (100 × 120 × 750 mm) au fost apoi debitate perpendicular pe fețe, rezultând opt panouri distincte din lemn masiv (100 x 10 750 mm) (Figura 3.2.3.1). Dintr-un panou din lemn masiv cu un singur strat au fost confecționate 9 epruvete.

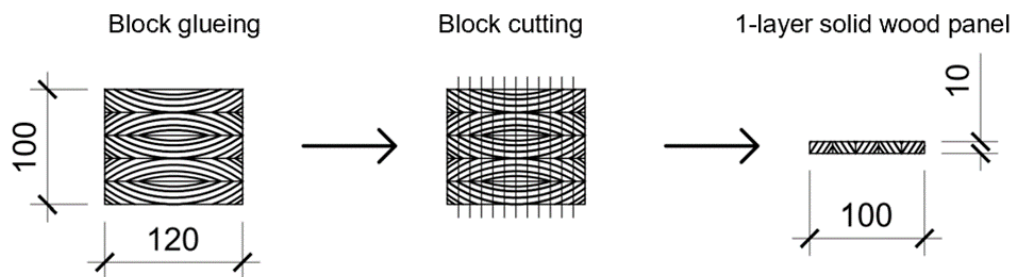


Figura 3.2.3.1 Reprezentarea schematică a producției de panouri din lemn masiv cu un singur strat debitate dintr-o grindă cu cinci straturi de lamele încleiate (Herzog et al. 2021).

Epruvetele (seria HF), realizate cu ajutorul presei de înaltă frecvență (Profipress L2 2500 HF, tip PPL2-2500 de la Weinig Co.; Illertissen, Germania) având un generator de înaltă frecvență de 30 kW (Figura 3.2.3.2) au fost pregătite în centrul de cercetare de la Weinig Dimter Co. din Illertissen (Germania).

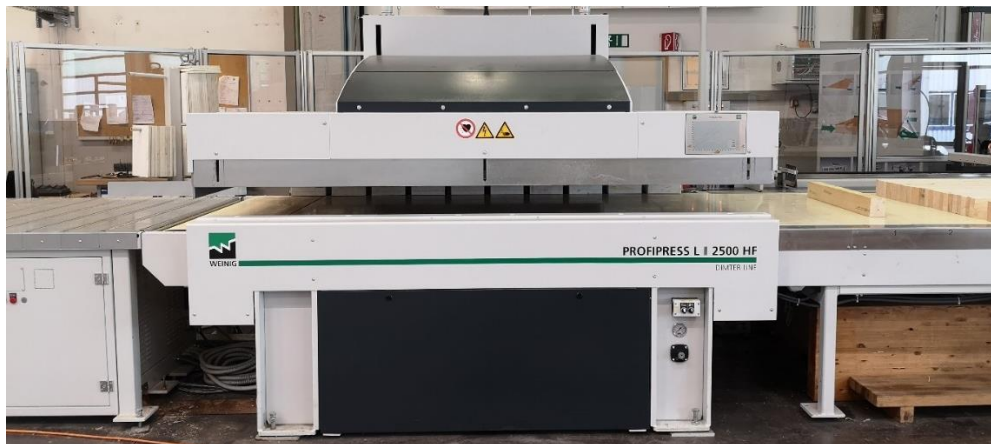


Figura 3.2.3.2. Presă de înaltă frecvență utilizată de Weinig Dimter Co. (Profipress L2 2500 HF, tip PPL2-2500) în centrul de cercetare din Illertissen, Germania (Herzog et al. 2021).

Probele încleiate cu cazeină au fost pregătite șapte grupuri (HF-AK, HF-RW și HF-AW) pentru presarea cu CIF. Proba martor (HF-PVAc-D3) a fost încleiată cu PVAc-D3 (Kleiberit Co., Weingarten, Germania), cu $\text{pH}=3$ și vâscozitate de $12.000 \pm 2000 \text{ mPa} \times \text{s}$.

Grinzile au fost presate în sistem CIF cu o presiune de 1 N/mm^2 . În timpul testelor, s-a ales un timp de presare de 2 sau 4 minute (Tabelul 3.2.3.1) la $19,6 \text{ }^\circ\text{C}$ și 34 % umiditate relativă a aerului. Toate grinzile au fost produse individual păstrând parametrii echipamentului de presare CIF după cum urmează: putere 6 kW, amperaj 2 până la 3 A, tensiune electrică 4000 V și frecvență 3 MHz. În timpul procesului de presare, evoluția temperaturii în linia de încleiere a fost monitorizată cu o cameră de termoviziune Teledyne Flir E8 (Wilsonville, OR, SUA). Curba de temperatură a fost înregistrată la intervale de 15 s. Adezivul pe bază de cazeină a atins în timpul presării CIF o temperatură de $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Altă serie de eşantioane a fost realizată la rece, cu o presă hidraulică de furnir (CP). Grinzile au fost pregătite cu ajutorul unei prese de furnir OTT la tâmplăria Möbel Scheiber Co. (Leogang, Austria). Grinzile stratificate au fost presate timp de 24 de ore la o temperatură de 22 °C și o umiditate relativă a aerului de 40 %. Grinzile de molid au fost asigurate suplimentar împotriva alunecării laterale cu cleme cu șuruburi (Figura 3.2.3.3).



Figura 3.2.3.3. Încleierea la rece grinzilor din lemn stratificat de molid (5 × 20 × 120 × 750 mm) utilizând cu cleme de fixare.

Proprietățile fizico-mecanice ale probelor încleiate cu adezivi pe bază de cazeină și PVAc ca referință au fost testate în conformitate cu normele europene. Înaintea testării, toate epruvetele au fost condiționate la temperatura ambientală (21 °C și 52 % umiditate relativă a aerului). Conținutul de umiditate a probelor a fost de 11 %. Testările proprietăților mecanice au fost efectuate cu ajutorul mașinii de testare Zwick Roell Z250 (Ulm, Germania). Pentru a determina rezistența la forfecare în conformitate cu EN 13354:2009 și rezistența la apă a panourilor din lemn masiv dintr-un singur strat au fost testate zece probe înainte și zece după 24 h de imersie în apă la temperatura camerei.

Din fiecare panou din lemn masiv unitstratificat (Figura 3.2.3.1) au fost tăiate zece epruvete cu 250, 50 și 10 mm, pentru a determina rezistența la încovoiere în 3 puncte (MOR) și modulul de elasticitate (MOE) în conformitate cu EN 310:2005. Toate epruvetele au fost testate în stare uscată.

Determinarea rezistenței la smulgerea șuruburilor conform EN 320:2011 a fost efectuată pentru 20 de epruvete cu dimensiunile de 250 x50 mm. Fiecare epruvetă a fost testată atât în lemn, cât și în zona de încleiere a panoului din lemn masiv unistratificat.

La selectarea epruvetelor de testare, planul de tăiere a fost ales astfel încât probele să fie distribuite uniform în panou, în conformitate cu EN 326-1:2005.

Rezultatele au fost analizate statistic cu ajutorul software-ului IBM SPSS cu ANOVA și post Tukey HSD.

Rezistența la forfecare prin compresiune

Cel mai semnificativ și răspândit mod de testare a unei îmbinări prin încleiere este rezistența la forfecare prin compresiune (CSS) după 24 de ore de imersie în apă (Figura 3.2.3.4). La acest test, proba CP-AK2 a prezentat cea mai mare rezistență la forfecare la compresiune (Tabelul 3.2.3.2). Acest eșantion de testare are cu 5 % mai multă apă în rețeta adezivului pe bază de cazeină decât eșantionul de referință CP-AK1. Acesta are, de asemenea, un avantaj semnificativ pentru procesabilitatea adezivului datorită consistenței sale. În plus, aceste probe au rezistențe la forfecare cu 50 % mai mari decât proba de referință CP-PVAc-D3.



Figura 3.2.3.4 Test de rezistență la forfecare prin compresiune a unei epruvete din lemn de molid

Tabelul 3.2.3.2. Rezistența la forfecare a eșantioanelor de molid (valorile cu aceeași literă (a, b, c, d) nu sunt semnificativ diferite ANOVA, post Tukey HSD, $p = 0,05$, abaterea standard în paranteze).

Tip panou GLT	Rezistența la forfecare (N/mm ²)			<i>p</i>
	Media aritm.	Minimum	Maximum	
PVAc-D3	1.17 a (0.24)	0.84	1.60	
HFPVAc-D3	1.77 c (0.30)	1.38	2.21	.
HF-AK1	1.41 b (0.28)	0.97	1.87	.
HF-AK2	1.53 b (0.46)	0.70	2.19	.
HF-AK3	1.16 a (0.36)	0.65	1.69	
HF-AK4	1.88 c (0.21)	1.60	2.28	.
HF-AK5	2.07 d (0.40)	1.40	2.81	.
HF-RW	1.66 c (0.27)	1.23	2.07	.
HF-AW	1.32 b (0.29)	1.03	1.81	.
CP-AK1	2.18 d (0.18)	1.93	2.41	.
CP-AK2	2.28 d (0.39)	1.25	2.65	.
CP-AK3	1.74 c (0.21)	1.47	2.12	.
CP-AK4	2.10 d (0.16)	1.91	2.33	.
CP-AK5	1.69 c (0.15)	1.45	1.94	.
CP-RW6	1.52 b (0.22)	1.11	1.87	.
CP-AW7	1.54 b (0.25)	1.23	2.06	.
CP-RW8	1.45 b (0.22)	0.92	1.81	.
CP-AW9	1.47 b (0.27)	1.17	2.08	.

.Valorile sunt semnificativ diferite de cele ale controlului (ANOVA, $p < 0,05$).

Cele mai promițătoare rezultate ale acestui studiu au fost obținute la probele produse cu presa CIF. Coeficientul de variație pentru toate probele testate este cuprins între 0,08 % și 0,31 %.

Timpul de presare CIF a fost de 4 min. În plus, adezivul a fost distribuit cu o mașină de aplicare, utilizând în acest caz jumătate din cantitatea de rășină (200 g/m^2). În timpul utilizării presei CIF, blocul stratificat încheiat din lamele de lemn masiv a fost expus unui câmp de tensiuni de înaltă frecvență. Moleculele de apă din acest câmp (în special în zona de încheiere) au început să oscileze, similar cu principiul funcționării unui cuptor cu microunde. Conținutul de umiditate de 12 % (adecvat pentru acest proces) al lamelelor de molid determină o încălzire și evaporare mai rapidă a apei și, ca urmare, o întărire mai rapidă a adezivului.

Cea mai mare valoare a rezistenței la forfecare a fost obținută pentru proba HF-AK5, $1,94 \text{ N/mm}^2$. Pentru HF-AK5, rezistența la forfecare este cu numai 10 % mai mică decât cea a CP-AK2 (consum adeziv: 200 g/m^2 și timp de presare la rece 24 h). Pentru grupul HF-AK5 s-au obținut valori ale rezistenței la forfecare cu 15% mai mari decât pentru HF-PVAc-D3. De asemenea, este surprinzător faptul că pentru grupul HF-AK5 s-au înregistrat valori cu 9 % mai mari decât în cazul HF-AK4, la fabricarea căruia s-a utilizat o cantitate mai mare de adeziv (400 g/m^2). Este interesant modul în care adaosul de apă de 5 % are un efect pozitiv asupra rezistenței la forfecare după 24 de ore de imersie în apă. Acest lucru este evident la compararea grupurilor HF-AK2 și HF-AK4, ambele realizate cu aceiași parametri de presare. Rezistența la forfecare a fost afectată negativ prin reducerea timpului de presare la jumătate (de la 4 la 2 minute) folosind metoda CIF. Având în vedere conținutul ridicat de apă din probă, timpul de presare de 2 minute nu a permis o încălzire și o evaporare completă a apei și, prin urmare, nici întărirea adecvată a adezivului pe bază de cazeină pe durata presării.

Rezultatele rezistenței la forfecare pentru epruveta CP-AK5 nu trebuie neglijate. Pentru acest grup s-a folosit cu 5 % mai multă apă la prepararea adezivului cu cazeină, care a fost aplicat după 90 min.

Utilizarea mașinii de aplicare cu role a adezivului este, de asemenea, interesantă. Prin utilizarea acestei metode, adezivul a putut fi distribuit mai omogen decât în cazul aplicării manuale cu șpaclul. Acest lucru afectează pozitiv rezultatele. În plus, se demonstrează astfel că se poate reduce la jumătate consumul de adeziv.

Includerea cazeinei din cheag (rennet) la pregătirea adezivului s-a dovedit a fi dificilă. Descompunerea amestecului cazeină-apă de către var se produce brusc după adăugarea acestuia. Cu toate că ingredientele au fost mixate constant, nu s-a putut evita formarea de aglomerări în amestec și, prin urmare, adezivul nu a putut fi aplicat uniform pe material. Dispersia mare a valorilor probelor produse cu cazeină-rennet (HF - RW și CP-RW8) poate fi atribuită acestor aspecte legate de pregătire și de aplicare a adezivului.

Deși aceste probe au obținut valori ridicate pentru rezistența la forfecare la compresiune după 24 h de depozitare în apă, se poate concluziona că distribuția neuniformă a adezivului atât în procesul de presare de înaltă frecvență, cât și în cel de presare la rece, nu are niciun efect asupra rezistenței la apă a încheierii.

Grupul CP-AW7, încheiat cu cazeină acidă de la Woerle Co., a fost realizat prin presare la rece. La testul de forfecare după imersia în apă timp de 24 h, acest grup a obținut a doua cea mai mare valoare din seria de rezultate, în timp ce înainte de imersia în apă valoarea CSS a fost cea mai mică. Creșterea cantității de apă cu 5 % în rețeta de adeziv dovedește că se pot obține rezultate satisfăcătoare în ambele domenii atunci când se utilizează o formulare adecvată.

Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate: MOR și MOE

Rezistența la încovoiere (MOR) a epruvetelor nu diferă mult (Tabelul 3.2.3.3), fiind determinat un coeficient redus de variație, de la 0,03% la 0,09%. Procedurile de presare și modificările legate de modul de preparare a adezivului pe bază de cazeină nu au o influență semnificativă asupra rezistenței la încovoiere (Tabelul 3.2.3.3). Cea mai mare valoare a MOR a fost măsurată pentru probele presate cu CIF (HF-RW și CP-RW) (110 N/mm^2). În acest caz, există o diferență nereprezentativă de 4 % între MOR în cazul presării la rece (101 N/mm^2) în comparație cu CIF (97 N/mm^2) pentru valorile MOR medii ale epruvetelor. Cea mai mică valoare a fost obținută în cazul HF-AK5. Epruvetele CP-AK1 și HF-AK4 au o densitate aparentă mică, ceea ce explică valorile scăzute ale MOR.

Tabelul 3.2.3.3. Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate la încovoiere a grinzilor de molid masiv cu un singur strat (valorile cu aceeași literă (a, b, c, d) nu sunt semnificativ diferite ANOVA, post Tukey HSD, $p = 0,05$, abaterea standard în paranteze).

Tip panou GLT	MOR (N/mm ²)				MOE (N/mm ²)			
	Media aritm.	Min.	Max.	p	Media aritm.	Min.	Max.	p
PVAc-D3	98 ^d (7.7)	88	106	.	13,706 ^c (1441)	11,641	15,301	.
HFPVAc-D3	89 ^a (8.3)	80	104	.	12,177 ^b (2214)	10,363	15,302	.
HF-AK1	93 ^b (3.3)	87	97	.	13,265 ^c (369)	12,279	13,607	.
HF-AK2	91 ^b (2.8)	83	93	.	13,244 ^c (336)	12,543	13,732	.
HF-AK3	90 ^b (4.9)	84	100	.	13,187 ^c (790)	12,283	14,149	.
HF-AK4	86 ^a (2.6)	81	90	.	12,484 ^b (423)	11,842	13,205	.
HF-AK5	85 ^a (4.2)	77	91	.	10,614 ^a (1054)	9260	12,260	.
HF-RW	97 ^d (9.0)	83	110	.	13,830 ^c (1025)	12,521	15,121	.
HF-AW	94 ^b (3.9)	89	101	.	12,685 ^b (661)	11,185	13,352	.
CP-AK1	90 ^b (3.2)	86	96	.	12,237 ^b (340)	11,749	12,739	.
CP-AK2	89 ^a (5.6)	81	95	.	12,298 ^b (1180)	10,665	13,411	.
CP-AK3	97 ^d (4.4)	92	105	.	14,342 ^d (560)	13,635	15,293	.
CP-AK4	92 ^b (3.8)	88	101	.	12,961 ^b (520)	11,964	13,681	.
CP-AK5	93 ^b (3.5)	85	97	.	13,866 ^c (392)	13,019	14,341	.
CP-RW6	90 ^b (7.6)	78	104	.	12,131 ^b (1202)	9225	15,469	.
CP-AW7	95 ^c (6.2)	84	106	.	13,753 ^c (901)	11,824	14,905	.
CP-RW8	101 ^d (7.7)	89	110	.	14,238 ^d (1143)	12,338	15,395	.
CP-AW9	96 ^d (5.0)	88	102	.	14,137 ^d (482)	13,323	15,043	.

.Valorile sunt semnificativ diferite de cele ale controlului (ANOVA, $p < 0,05$).

Cea mai mare valoare medie MOE a fost obținută de grupul CP-RW8. Adezivul pe bază de cazeină a fost încălzit la 30 °C înainte de presare, pentru a simula temperaturile mai ridicate din timpul verii din halele de producție industrială. Cea mai mică valoare medie MOE a fost măsurată pentru epruveta HF-AK5. Acest rezultat s-ar putea datora cantității de adeziv de 200 g/m² (Tabelul 3.2.3.1). Creșterea conținutului de apă din rețeta de adeziv, așa cum se observă la grupurile CP-AK1 și CP-AK2, nu are un efect semnificativ asupra elasticității materialului. Acest lucru se reflectă și în MOR a eșantionelor HF-AK2 și HF AK-4, care au fost presate 4 minute în presa CIF.

În ceea ce privește MOE în testul de încovoiere în trei puncte, coeficientul de variație este cuprins între 0,02% și 0,18%. Similar testului de forfecare, epruvetele încheiate cu cazeină-rennet (cheag) au avut valori ridicate atât în procesul de presare la rece (valoare medie de 14.238 N/mm²), cât și cu CIF (valoare medie de 13.830 N/mm²). Doar eșantionul CP-RW6 a prezentat valori MOE semnificativ mai mici, de unde se poate trage concluzia că încheierea cu cazeină pe bază de cheag și presarea la rece necesită o cantitate mai mare de apă la pregătirea adezivului. Pe de altă parte, în procesul de presare în curenți de înaltă frecvență, s-au obținut valori ridicate în ciuda unui conținut mai mic de apă.

Rezistența de smulgere a șurubului

Nu poate fi trasată o tendință clară privind rezistența la smulgerea șurubului (SWR – Screw Withdrawal Resistance) (Tabelul 3.3.3.4). Coeficientul de variație pentru SWR testat în lemn a fost de la 0,005 % la 0,21 %, iar pentru încheiere de la 0,03 % la 0,15 %. Epruvetele încheiate cu adeziv pe bază de cazeină au în medie valori mai mari ale SWR la testarea în lemn și în încheiere. La testarea SWR în lemn, rezultatele maxime au fost măsurate pentru proba HF-AK5 (145 N/mm), urmată de probele HF-RW și CP-AK4, ambele cu 141 N/mm. Cele mai mari valori medii au fost măsurate pentru epruvetele presate la rece (117 N/mm) pentru CP-AK1, urmate de seria presată cu CIF: 115 N/mm pentru HF-AK1 și 114 N/mm pentru HF-AK5. Cele două grupe de încercări cu PVAc prezintă valori maxime când sunt testate în linia de încheiere, dar sunt comparabile cu SWR ale probelor presate cu CIF timp de 2 (HF-AK1) și, respectiv, 4 minute (HF-AK2). Cea mai mare valoare medie a SWR, de 118 N/mm, a fost măsurată pentru proba HF- AK1, urmată de 114 N/mm pentru PVAc-D3 de referință. Pentru probele CP-AK1 și CP-AK3, presate la rece, SWR în încheiere a fost de 112 N/mm. O mică scădere a SWR a fost înregistrată pentru proba încheiată cu PVAc (109 N/mm), în cazul presării cu CIF, urmată de probele HF-AK2 și HF-AK5 (108 N/mm). Nu există diferențe semnificative între SWR testat la suprafața lemnului și în linia de încheiere. Valorile medii măsurate în lemn au variat între 90 și 117 N/mm, în timp ce în încheiere s-a înregistrat un interval similar de

91-118 N/mm. SWR pentru probele de control (PVAc-D3 și HFPVAc-D3) a fost 98 N/mm și, respectiv 102 N/mm.

Tabelul 3.2.3.4. Rezistența la smulgere a șuruburilor (în lemn și încleiere) a grinzilor de molid masiv (valorile cu aceeași literă (a, b, c, d) nu sunt semnificativ diferite ANOVA, post Tukey HSD, $p = 0,05$, abaterea standard în paranteze).

Tip panou GLT	Rezistența la extragere a șuruburilor (N/mm)							
	În lemn				În linia de încleiere			
	Media aritm.	Min.	Max.	p	Media aritm.	Min.	Max.	p
PVAc-D3	98 ^b (8.7)	9127	117	.	114 ^d (13.4)	92	132	.
HFPVAc-D3	102 ^b (5)	93	108	.	109 ^c (9.5)	99	125	.
HF-AK1	115 ^d (10.5)	97	130	.	118 ^d (9)	104	128	.
HF-AK2	99 ^b (14)	90	133	.	108 ^c (17)	83	131	.
HF-AK3	92 ^a (5.3)	86	101	.	91 ^a (5)	85	99	.
HF-AK4	95 ^a (3.8)	87	100	.	103 ^b (9.4)	89	123	.
HF-AK5	114 ^d (23)	81	145	.	108 ^c (7)	98	122	.
HF-RW	108 ^c (23.4)	78	141	.	106 ^c (12)	86	121	.
HF-AW	101 ^b (8.1)	85	108	.	103 ^b (10)	90	117	.
CP-AK1	117 ^d (13.1)	103	141	.	112 ^d (5.3)	104	120	.
CP-AK2	104 ^b (2.7)	98	108	.	104 ^b (6)	98	114	.
CP-AK3	97 ^b (10.5)	85	110	.	112 ^d (6)	100	121	.
CP-AK4	110 ^c (16.3)	93	141	.	103 ^b (8.6)	96	125	.
CP-AK5	91 ^a (5.5)	80	100	.	99 ^b (3)	96	106	.
CP-RW6	94 ^a (6.4)	85	107	.	103 ^b (15)	84	129	.
CP-AW7	95 ^a (7.3)	83	107	.	96 ^a (6)	87	104	.
CP-RW8	90 ^a (9)	75	102	.	95 ^a (8.3)	84	108	.
CP-AW9	108 ^c (8.3)	98	120	.	96 ^a (11.2)	82	116	.

.Valorile sunt semnificativ diferite de cele ale controlului (ANOVA, $p < 0,05$).

În acest studiu a fost analizată influența metodei de presare (presare la rece și CIF) asupra lemnului stratificat de molid încleiat cu adeziv de cazeină (utilizând diverse rețete) și PVAc tip D3, ca probe martor. Consecința încălzirii volumetrică cu CIF a dus la polimerizarea uniformă a rășinii, scoțând în evidență avantajele acestui tip de presare la cald. Timpul de presare a fost redus semnificativ, de la 24 h la 2 și 4 min, ceea ce reprezintă o scădere cu 99%, dar și a consumului de energie și optimizarea timpului de producție.

Adăugarea de 5 % apă la prepararea adezivului pe bază de cazeină are ca efect reducerea vâscozității. Procesabilitatea acestuia se îmbunătățește, fără a afecta însă proprietățile mecanice ale încleierii. Astfel, adezivul din cazeină are o consistență similară cu cea a PVAc, ceea ce reprezintă un criteriu important pentru o bună distribuție a adezivului cu echipamente industriale specializate. În plus, timpul de aplicare a adezivului pe bază de cazeină ar trebui să fie extins la mai mult de două ore. S-a dovedit, de asemenea, că modalitatea de preparare a adezivului cu cazeină trebuie monitorizată cu strictețe, deoarece proprietățile mecanice se pot înrăutăți odată cu creșterea cantității de apă.

Prin combinarea rezultatelor, poate fi prefigurată încheierea industrială cu adeziv pe bază de cazeină a lamelelor. Aplicarea mecanizată a adezivului îmbunătățește calitatea încheierii, datorită unei distribuții uniforme în condițiile unui consum redus. Prin utilizarea CIF, timpul de presare se reduce considerabil, la mai puțin de cinci minute. Așadar, există un potențial ridicat de optimizare a timpului de presare și a cantității de adeziv.

Cercetările ulterioare vor avea în vedere îmbunătățirea rezistenței la apă și termorezistența încheierilor atât cu adezivi pe bază de cazeină, cât și cu PVAc. În plus, influența conținutului de umiditate a suprafeței de încheiat fac obiectul unui studiu ulterior. De asemenea, sunt în curs de desfășurare cercetări privind îmbunătățirea modalității de preparare a adezivului pe bază de cazeină, pentru a prelungi timpul de aplicare a adezivului. Pe viitor, ar fi interesant de studiat umiditatea la suprafața plăcilor, pentru îmbunătățirea transferului de căldură în timpul presării.

Lemnul stratificat de molid încheiat cu cazeină și presat în curenți de înaltă frecvență reprezintă un produs realizat în premieră, durabil și reciclabil, fără emisii de formaldehidă, ușor de integrat în soluțiile de construcții ecologice.

4. Proprietățile fizico-mecanice ale lemnului de Paulownia din plantații

Originar din Asia, Paulownia este un arbore cu creștere rapidă, din categoria foioaselor (Koman & Feher 2020). În Europa, în ultimele decenii a crescut interesul pentru plantațiile agro-forestiere pentru uz industrial (Jensen 2016). Paulownia a fost introdus în America de Nord, Australia și Japonia, fiind cultivat la nivel mondial în peste 40 de țări (Akyildiz & Kol 2010). Plantațiile de Paulownia ajută la reducerea eroziunii solului prin intercalarea culturilor de arbori în terenurile agricole (Jakubowski 2022), protejarea sistemelor împotriva inundațiilor sau a pagubelor produse de vânt (Feng et al. 2020), reducerea poluării aerului (Abbasi, Pishvae & Bairamzadeh 2020).

Arborii din specia Paulownia au un sistem radicular excepțional și se pot adapta cu ușurință unor condiții variate de sol (Lucas-Borja et al. 2011). Paulownia are o toleranță ridicată la secetă și salinitate, contribuind la conservarea solului (Cao et al. 2021). Cu toate acestea, condițiile optime de sol și climă și cele mai potrivite locuri de plantare nu au fost încă pe deplin identificate, iar în prezent nu există un ghid de bune practici privind administrarea și managementul plantațiilor de Paulownia (Tu et al. 2017).

Alte denumiri ale arborelui de Paulownia sunt: arbore miraculos, arbore împărătesc sau arbore-prințesă. Paulownia are o rată crescută de absorbție a carbonului și fotosinteză C4 (Świechowski et al. 2019), este ușor de prelucrat și prezintă rezistență bună la foc (Yorgun, Yıldız & Şimşek 2016).

Înălțimea unui arbore adult de Paulownia este cuprinsă între 10 și 20 m, cu o rată de creștere de până la 3 m într-un an (în condiții ideale). Diametrul unui arbore de 10 ani măsoară 30-40 cm, cu un volum de lemn de 0,3-0,5 m³ pe buștean (Akyildiz & Kol 2010). Lemnul de Paulownia este semiporos până la poros inelar, moale, fără noduri, cu o densitate medie sub 300 kg/m³ (Kalaycioglu, Deniz & Hiziroglu 2005). Lemnul este de culoare deschisă, foarte moale și ușor de prelucrat (Dogu et al. 2017).

În cazul recoltării timpurii (după 5-7 ani) lemnul este de categorie inferioară. Din arborii cu vârste de minim 15 ani se poate obține cherestea de calitate. Lemnul de Paulownia este utilizat la confecționarea pieselor de mobilier, ambalajelor și placajelor, sau pentru compozite termoplastice tip WPC (Wood Plastic Composites) (Ayrilmis & Kaymakci 2013). Paulownia se mai utilizează pentru producția de celuloză sau hârtii fine.

Produsele fabricate din lemn de Paulownia nu se deformează și nu se deteriorează ușor, fiind oarecum rezistente la putrezire. Conductivitatea termică este scăzută, iar punctul de aprindere ridicat (Kalaycioglu, Deniz & Hiziroglu 2005). Trunchiurile mai puțin valoroase pot fi mărunțite pentru a

produce biocombustibili, biomasă, energie electrică (Snow 2015) sau pot fi folosite ca materie primă pentru producția de plăci aglomerate, OSB și MDF (Lee et al. 2022).

4.1. Proprietățile fizice și mecanice ale lemnului de *Paulownia tomentosa x elongata* provenit din plantații din Spania, Bulgaria și Bulgaria (Barbu et al. 2022)

*¹⁰ Tudor E.M. autor corespondent

Dintre cele nouă specii de *Paulownia*, *Paulownia tomentosa* (Thunb.), *Paulownia elongata* (S. Y. Hu) și *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl. sunt printre cele mai intens folosite (Pasicznik 2022). Hibrizii de *Paulownia* pot combina, de exemplu, speciile *Paulownia tomentosa x elongata* sau *Paulownia elongata x fortunei*. În Europa, cele mai studiate clone sunt *Paulownia* in vitro 112-Oxytree (Pasicznik 2022), BIO 125 (Barbu et al. 2022), sau Cotevisa 2 (Esteves et al. 2022).

Amprenta ecologică a lemnului de *Paulownia* din plantațiile europene este diminuată datorită eliminării costurilor de transport peste ocean. Plantațiile de *Paulownia* contribuie la reducerea excesului de apă în sol prin intercalarea arborilor în terenurile agricole (Jakubowski 2022). Se recomandă intercalarea *Paulownia* în culturi de iarnă sau de legume, având în vedere că, în perioada de repaus, arborii nu vor concura cu culturile de plante pentru substanțe nutritive (Kadlec, Novosadová & Pokorný 2022).

Lemnul de *Paulownia* se prelucrează necojit, coaja fiind subțire, dificil de îndepărtat, reprezentând sub 1% din volumul total al arborelui (Magar et al. 2018).

De regulă, lemnul juvenil are o densitate scăzută. Această proprietate poate fi atribuită traheidelor mai scurte (pentru lemnul de esență moale) și fibrelor (pentru lemnul de esență tare) cu pereți celulari mai subțiri. Contragerea transversală este mai mică în marea majoritate a speciilor de lemn. Lemnul juvenil are o rezistență la încovoiere și un modul de elasticitate semnificativ mai mici, precum și o rezistență redusă la compresiune și la tracțiune (Snow 2015).

Această specie a ajuns în Europa cu peste un secol în urmă ca arbore decorativ. *Paulownia* și hibrizii săi au fost naturalizați în Europa după un proces de adaptare dependent de zonele climatice și de soluri. Literatura de specialitate referitoare la proprietățile lemnului de *Paulownia* provenit din plantațiile europene este în continuă dezvoltare, dar încă insuficient reprezentată (Jakubowski 2022).

Acest arbore este renumit datorită creșterii ultra rapide și densității reduse, de 260 până la 300 kg/m³ (Huber et al. 2023), fiind considerat „Balsa europeană” sau aluminiul lemnului.

Densitatea este direct corelată cu alte proprietăți fizice și mecanice și influențează procesele de prelucrare și uscarea a lemnului. Conținutul maxim de umiditate al acestei specii de lemn măsoară

¹⁰ Barbu Marius Cătălin; Buresova Katharina.; Tudor Eugenia Mariana; Petutschnigg Alexander. Physical and Mechanical Properties of *Paulownia tomentosa x elongata* Sawn Wood from Spanish, Bulgarian and Serbian Plantations. *Forests* 2022, 13, 1543. <https://doi.org/10.3390/f13101543>

350 %; prin urmare, programele de uscare a cherestelei trebuie selectate și controlate cu atenție. Lemnul de Paulownia uscat în aer liber nu prezintă de regulă defecte de uscare, dar se colorează, respectiv poate avea defecte (mucegai, dăunători etc.).

În cazul speciei *Paulownia fortunei* punctul de saturație a fibrelor este de 31,15%, iar pentru *Paulownia tomentosa* este 29%.

Compoziția chimică a peretelui celular este următoarea: 51% celuloză, 30% hemiceluloză, 23,5% lignină și 11,8% substanțe extractive (Feng et al. 2020). În funcție de specie, porozitatea Paulowniei variază între 75 și 88% (López et al. 2012). Conținutul crescut de holoceluloză (81%) determină la un randament mai mare al celulozei (Feng et al. 2020).

De la sfârșitul secolului trecut, mai multe țări, dintre care Austria, Italia, Franța, Serbia, Spania, România, Bulgaria, Ungaria, Israel și Ucraina, au plantații experimentale de Paulownia. Paulownia a fost introdusă treptat în America de Sud (Argentina, Brazilia, Paraguay) și Australia și este folosită pentru producția de lemn (Pasiiecznik 2022). Paulownia se prelucrează ușor, are rezistență acceptabilă la foc și prezintă o rată ridicată de absorbție a carbonului (Lachowicz & Giedrowicz 2020). (Magar et al. 2018) au calculat în plantațiile de Paulownia o rată de stocare a CO₂ de 33 t /ha/an. Potențialul său de stocare a carbonului este de aproximativ 50 de ori, 30 de ori și 20 de ori mai mare în comparație cu stejarul, fagul și, respectiv, teiul, și de cel puțin 10 ori mai mare decât orice altă specie de arbori. Intercalată în sisteme agroforestiere, această specie poate contribui la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră în orașe și în vecinătatea gospodăriilor agricole (Moreno et al. 2017).

Lemnul de Paulownia este interesant și pentru că nu se fisurează, deformează și nu putrezește cu ușurință. Este de culoare deschisă, este moale, ușor de sculptat, stabil dimensional, fără noduri, cu fibră dreaptă și textură uniformă (Barbu et al. 2022). Absența nodurilor și fibrele longitudinale paralele sunt datorate creșterii controlate a hibridilor de Paulownia într-un sistem adecvat de management forestier al plantației de Paulownia. Solul trebuie bine drenat (valoarea pH de 5-8), expunerea plantației este la sud, cu protecție împotriva vântului. Arborele trebuie irigat până când sistemul radicular este suficient dezvoltat (Ab Latib, H. et al. 2020). Paulownia este un arbore iubitor de lumină, de aceea trebuie ținut cont că până și expunerea în umbră ușoară poate provoca deformări puieților. La un procent de 70% umbră, arborii mai tineri pot fi complet deteriorați. Puieții se taie după primul an până la nivelul solului, pentru a stimula formarea unui nou lăstar în timpul celui de-al doilea an de viață. Este vorba despre o tăiere tehnică, menținând 2 cm de plantă (Yadav et al. 2013). Cei mai buni muguri vor fi selectați pentru formarea viitorilor arbori. După doi sau trei ani, lăstarii trebuie tăiați în timpul sezonului de creștere, când se dezvoltă ramuri noi. Scopul tăierii este de ca tulpina să fie fără noduri, pentru a se putea recolta lemn rotund de calitate superioară. Ramurile

laterale inutile trebuie înlăturate; ramurile coroanei nu trebuie tăiate în anul apariției lor, deoarece acestea vor constitui ramificațiile trunchiului (Ab Latib, H. et al. 2020). Condiția este de a păstra primii 6-7 m ai trunchiului drept și fără ramuri (75%) până la o înălțime a trunchiului de 7-8 m. După această înălțime, coronamentul poate să ajungă la forma sa naturală (Yadav et al. 2013).

Trunchiurile de *Paulownia* de calitate inferioară se pot folosi ca materie primă pentru biomasă și biocombustibili (Huber et al. 2023), sau pentru producția de bioetanol de a doua generație (Ayrilmis & Kaymakci 2013) sau pentru tocătură pentru celuloză și plăci aglomerate. Compușii fenolici din *Paulownia* au proprietăți antioxidante; prin urmare, pot fi utilizați în scopuri medicale. În Asia, frunzele, florile, fructele și coaja de *Paulownia* au fost folosite timp de secole la prepararea medicamentelor tradiționale (Ayrilmis & Kaymakci 2013).

Paulownia tomentosa poate fi considerată o specie invazivă, astfel încât răspândirea sa viitoare ar trebui să fie monitorizată cu atenție (Snow 2015). Speciile de arbori invazive sunt capabile să supraviețuiască, să se reproducă și să se răspândească uneori la cote deranjante, concurând agresiv cu plantele native. După (Rodríguez-Seoane et al. 2020) această specie are o răspândire mare sau foarte mare inclusiv în spațiul urban, de aceea trebuie ținută sub control. Deocamdată, *Paulownia* nu este inclusă în lista actualizată a speciilor străine invazive din Uniunea Europeană.

Proprietățile *Paulownia* din plantațiile cu rotație scurtă pot fi controlate prin management forestier. În general, cu cât perioada de rotație este mai mare, cu atât se recoltează mai mult lemn matur; prin urmare, se îmbunătățesc și proprietățile mecanice. (Esteves et al. 2022) au estimat o perioadă minimă de 5 ani pentru tăierea *Paulownia* în vederea utilizării sale pentru combustibil solid (peleți) și ca lemn masiv.

În cadrul studiului prezent au fost analizate proprietățile fizice și mecanice ale lemnului de *Paulownia tomentosa x elongata* și ulterior comparate cu cele ale lemnului de *Paulownia* din alte plantații din Europa, dar și cu alte specii de lemn ușor, precum Balsa și plop.

Lemnul de *Paulownia (Paulownia tomentosa x elongata)* a fost furnizat de Glendor Holding Co. (Kilb, Austria) și provine din plantații din Spania, Bulgaria și Serbia. La testări s-au folosit epruvete provenind din arbori tineri de 5-7 ani. Lemnul de plantație a fost livrat sub formă de cherestea, având dimensiunile o lungime de 150 x 20-30 x 2-2,5 cm.

În Tabelul 4.1.1 sunt listate testele utilizate pentru determinarea proprietăților fizice și mecanice ale lemnului de *Paulownia* din Spania, Bulgaria și Serbia.

Tabelul 4.1.1. Teste, norme, dimensiuni ale probei și numărul de epruvete de testare pentru lemnul de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia.

Tipul testării	Norma	număr de epruvete	Dimensiuni epruvetă [mm]
Umflare și contragere	DIN 52184:1979-05	12	20 × 20 × 10
Densitatea aparentă (kg/m ³)	ISO 3131:1996	12	
Duritatea Brinell (N/mm ²)	EN 1534:2011-01	10	-
Rezistența la încovoiere în 3-puncte (MOR) (N/mm ²)	DIN 52186:1978-06	12	20 × 20 × 360
Modulul de elasticitate în 3 puncte (MOE) (N/mm ²)	DIN 52186:1978-06		
Rezistența la compresiune (N/mm ²)	DIN 52185:1976-09	12	20 × 20 × 50
Rezistența la forfecare (N/mm ²)	DIN 52188:1979-05	15	20 × 6
Rezistența la smulgerea șuruburilor (N/mm)	EN 320:2011-07	9	50 × 50

Proprietățile fizico-mecanice ale epruvetelor de Paulownia au fost evaluate în conformitate cu normele EN și DIN, specifice testării lemnului masiv. Lățimea inelelor anuale a fost calculată ca valoare medie de la două raze opuse. Testarea durității Brinell a fost realizată cu aparatura Emco Test Automatic (Kuchl, Austria). Testările proprietăților mecanice - rezistența la încovoiere, rezistența la compresiune, rezistența la tracțiune și rezistența la retragerea șurubului - au fost efectuate cu ajutorul unei mașini universale de testare Zwick Roell Z 250 (Ulm, Germania).

Densitatea (ISO 3131:1996)

Proprietățile fizice ale lemnului, în special densitatea și stabilitatea dimensională reprezintă factori importanți care afectează calitatea lemnului și utilizarea sa ulterioară (Sedlar et al. 2020). În Tabelul 4.1.2 sunt prezentate valorile densității pentru lemnul de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia, măsurate conform ISO 3131:1996. Spre comparație sunt listate și valori ale densității preluate din literatura tehnică de specialitate referitoare la Paulownia și alte specii ușoare (balsa, plop, molid).

Tabelul 4.1.2. Densitatea aparentă a lemnului de plantație de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia și a altor specii de Paulownia; n = 12 (abaterea standard în paranteze)

Specia/Proveniența lemnului	Densitate aparentă medie (kg/m ³)	Min/Max (kg/m ³)	Sursa
<i>Paulownia tomentosa x elongata</i> (Spania)	266 (22)	238/297	(Barbu et al. 2022)
<i>Paulownia tomentosa x elongata</i> (Bulgaria)	250 (26)	198/307	(Barbu et al. 2022)
<i>Paulownia tomentosa x elongata</i> (Serbia)	259 (31)	201/313	(Barbu et al. 2022)
<i>Paulownia tomentosa</i> (Ungaria)*	246		Koman and Feher (Koman & Feher 2020)
<i>Paulownia tomentosa</i> (Ungaria)*	300 (26.59)		Koman and Vityi (2017)
<i>Paulownia tomentosa</i> (Turcia)*	272		(Akyildiz & Kol 2010)
<i>Paulownia tomentosa</i> (Portugalia)*	460		(Esteves et al. 2022)
<i>Paulownia</i> COTE-2 (Spania)*	216		(Lachowicz & Giedrowicz 2020)
<i>Paulownia</i> Sp. Siebold and Zucc. (Bulgaria)*	220		(Bardarov & Popovska 2017)
Balsa	160		(Wiepking & Doyle 1960)
Plop	440		(Grosser 2007)
Molid	430		(Grosser 2007)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de Paulownia din plantații preluate din literatura de specialitate

Densitatea medie a lemnului din cele trei surse Spania, Bulgaria și Serbia a fost 258 kg/m³. Lemnul de proveniență din Spania a avut cea mai mare densitate medie, 266 kg/m³, urmat de lemnul din Serbia (259 kg/m³), iar cea mai mică valoare medie a densității a fost măsurată pentru lemnul din Bulgaria (250 kg/m³) (Tabelul 3.2).

În studiul condus de (Akyildiz & Kol 2010) a fost calculată densitatea medie de 272 kg/m³ pentru *Paulownia tomentosa* din Turcia. În cazul lemnului din Ungaria, densitatea este mai mică și anume 246 kg/m³ (Koman & Feher 2020), iar pentru *Paulownia* din Spania poate ajunge la 215 kg/m³ (Lachowicz & Giedrowicz 2020). (Esteves et al. 2022) au calculat o densitate medie de 460 kg/m³ pentru lemnul de *Paulownia* din Portugalia, cu 30 kg/m³ mai mare decât densitatea medie a molidului (Grosser 2007) și asemănătoare cu densitatea plopului (440 kg/m³) (Grosser 2007). Valori asemănătoare ale densității, de aproximativ 400 kg/m³, au fost determinate pentru *Paulownia tomentosa* (Akyildiz & Kol 2010) și pentru *Paulownia Siebold* și *Zucc.* (Bulgaria) (Bardarov & Popovska 2017).

Pentru un conținut de umiditate de 12 %, densitatea lemnului de *Paulownia* variază între 220 și 350 kg/m³, cu o medie de 270 kg/m³ (Jakubowski 2022). Această variabilitate a densității este determinată de condițiile de creștere. Comparativ cu *Paulownia*, lemnul de balsa are o densitate cu 100 kg/m³ mai scăzută (Byrne & Nagle 1997) și (Borrega & Gibson 2015).

Contragerea lemnului (DIN 52184:1979)

Determinarea contragerii pentru lemnul de *Paulownia* din Spania, Bulgaria și Serbia a fost efectuată în conformitate cu DIN 52184:1979, iar valorile sunt prezentate în Tabelul 4.1.3, în care sunt enumerate rezultatele comparative ale contragerii altor tipuri de *Paulownia* din plantațiile din Ungaria, Turcia, Spania și Croația, valori preluate din literatura de specialitate.

Tabelul 4.1.3. Contragerea lemnului de *Paulownia* provenit din Spania, Bulgaria și Serbia în cele trei direcții principale, în comparație cu alte specii de *Paulownia*; n (Spania) = 12; n (Bulgaria) = 12; n (Serbia) = 12 (abaterea standard în paranteză) (%).

Specia/Proveniența lemnului	Contragere medie axială (%)	Contragere medie radială (%)	Contragere medie tangențială (%)	Sursa
<i>Paulownia</i> (Spania)	0.375 (0.048)	0.504 (0.077)	1.58 (0.234)	(Barbu et al. 2022)
<i>Paulownia</i> (Bulgaria)	0.157 (0.057)	0.52 (0.17)	0.978 (0.181)	(Barbu et al. 2022)
<i>Paulownia</i> (Serbia)	0.199 (0.050)	0.456 (0.087)	1.266 (0.277)	(Barbu et al. 2022)
<i>Paulownia</i> (Ungaria)*	0.69	3.2	5	(Koman & Feher 2020)
<i>Paulownia</i> (Turcia)*		0.07	0.17	(Akyildiz & Kol 2010)
<i>Paulownia</i> (Spania)*	0.172 (0.118)	1.99 (0.44)	5.19 (0.62)	(Lachowicz & Giedrowicz 2020)
<i>Paulownia</i> (Croatia)*	0.35 (0.332)	2.47 (0.631)	5.3 (0.969)	(Sedlar et al. 2020)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de *Paulownia* din plantații preluate din literatura de specialitate

Lemnul de proveniență spaniolă a avut o contragere pe direcție axială de 0,375%, iar în direcție radială de 0,50%. În direcția tangențială a fost măsurată cea mai mare contragere, și anume 1,58%. Lemnul de Paulownia din Bulgaria prezintă o contragere axială de 0,157%, în direcția radială de 0,52%, iar în direcția tangențială de 0,978%. Pentru lemnul de Paulownia provenit din Serbia, contragerea axială este de 0,199%, contragerea radială este de 0,456%, iar contragerea tangențială este de 1,266%.

Se poate observa contragerea scăzută în toate direcțiile de tăiere a lemnului de Paulownia provenit din Bulgaria, față de lemnul de plantație din Spania și Serbia. Contragerea relativ scăzută a lemnului de Paulownia poate fi atribuită razelor medulare înguste. Razele sunt dispuse pe un singur rând până la 0,5 mm, însă lemnul de Paulownia poate avea și raze multiseriate (Jakubowski 2022). Razele medulare influențează umflarea lemnului în direcție radială (Sedlar et al. 2020), așa cum se întâmplă la majoritatea speciilor (la această densitate).

Lemnul de balsa prezintă contragere mai redusă. În direcția tangențială, contragerea este de 3,4-7%. Contragerea radială este de 1,4-2,1%, iar contragerea în volum este de 5,1-9,3% (Wiepking & Doyle 1960).

Lățimea inelelor anuale

Dimensiunile inelelor anuale pentru lemnul de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia sunt prezentate în Tabelul 4.1.4.

Tabelul 4.1.4 Lățimea inelelor anuale ale lemnului de Paulownia provenit din Spania, Bulgaria și Serbia. n (Spania) = 59; n (Bulgaria) = 7; n (Serbia) = 18 (abaterea standard în paranteze) (cm)

Specia/Proveniența lemnului	Lățime medie inele anuale (cm)	Min./Max. (cm)
Paulownia (Spania)	2,8 (1,08)	1,2/7,5
Paulownia (Bulgaria)	4,6 (0,62)	3,7/5,7
Paulownia (Serbia)	1,7 (6,77)	0,6/3,1

În primii cinci ani de creștere a arborelui, există fluctuații foarte mari ale lățimii inelelelor anuale (până la 30 %) (de la 1 la 3,5 cm). Ulterior, lățimea inelului anual se stabilizează. Lățimea medie a inelelor anuale din lotul provenit din Serbia a fost de 1,7 cm. În cazul eşantioanelor din Spania, inelele anuale au avut lățimea de 2,83 cm. Cea mai mare dimensiune a inelului anual a fost determinată pentru Paulownia de plantație din Bulgaria (4,6 cm). Paulownia din Serbia a avut cea mai mică dimensiune a inelului anual, de 1,7 cm, valoare influențată în primul rând de condițiile pedoclimatice din această zonă.

Duritatea Brinell (DIN 1534:2022)

Testarea durității Brinell (HB) pentru cele trei tipuri de lemn de plantație a fost efectuată în conformitate cu DIN 1534:2022 (Tabelul 4.1.5, în care sunt enumerate și rezultate comparative din literatura de specialitate).

Tabelul 4.1.5. Duritatea Brinell-în direcție axială, radială și tangențială pentru lemnul de Paulownia spaniol, bulgar și sârbesc în comparație cu alte specii de lemn. n (Spania) = 10; n (Bulgaria) = 10; n (Serbia) = 10 (abaterea standard în paranteze) (N/mm²).

Specia/proveniența lemnului	Duritatea Brinell valori medii (N/mm ²)			Sursa
	Axial	Radial	Tangențial	
Paulownia (Spania)	20,6 (5,56)	5,6 (1,53)	4,8 (1,19)	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Bulgaria)	18,7 (3,1)	5,6 (1,35)	5,3 (1,35)	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Serbia)*	21,22 (7,64)	6,1 (3,23)		(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Ungaria)*	26,74 (3,22)	9,51 (2,17)		(Komán & Vityi 2017)
Paulownia (Bulgaria)*	20		5,81 (2,13)	(Bardarov & Popovska 2017)
Paulownia (Turcia)*	19,7 (0,37)	8,23 (0,09)	9,13 (2,16)	(Akyildiz & Kol 2010)
Balsa	7		9,016 (0,23)	(Finger 2023)
Plop negru	25–33	10–15		(Richter & Ehmcke 2017)
Molid	32	12		(Richter & Ehmcke 2017)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de Paulownia din plantații preluate din literatura de specialitate

Pentru lemnul Paulownia de proveniență din Bulgaria, duritatea Brinell în direcție axială a fost 18,7 N/mm², 5,6 N/mm² în direcție radială și 5,3 N/mm² în direcție tangențială. Pentru lotul din Spania a fost determinată o duritate Brinell în direcție axială de 21,22 N/mm², 6,1 N/mm² în direcție radială și 5,81 N/mm² în direcție tangențială. Pentru lotul din Serbia au fost măsurate cele mai mari valori HB, și anume 21,22 N/mm² în direcție axială, 6,1 N/mm² în direcție radială și 5,8 N/mm² în direcție tangențială. Rezultatele acestui studiu în cazul HB în direcție axială sunt în concordanță cu valorile determinate de (Bardarov & Popovska 2017) și (Komán & Vityi 2017). În comparație cu lemnul de balsa, cu o duritate Brinell de 7 N/mm² [45], Paulownia are o duritate semnificativ mai mare. HB pentru lemnul de plop se încadrează între 25 și 33 N/mm².

Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate (DIN 52186:1978)

În Tabelul 4.1.6. sunt prezentate valorile măsurate în urma testelor de încovoiere în trei puncte (MOR) pentru lemnul de Paulownia provenit din Spania, Bulgaria și Serbia, măsurate în conformitate cu DIN 52186:1978.

Tabelul 4.1.6. Rezistența la încovoiere în 3 puncte (MOR) a lemnului de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia în comparație cu alte specii de lemn. n (Spania) = 12; n (Bulgaria) = 12; n (Serbia) = 12 (abaterea standard în paranteze) (N/mm²).

Specia/proveniența lemnului	MOR, valori medii [N/mm ²]	Min./Max. [N/mm ²]	Sursa
Paulownia (Spania)	39,77 (6,98)	28,96/50,5	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Bulgaria)	35,53 (5,53)	24,57/43,99	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Serbia)	37,54 (8,54)	24,84/59,48	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Bulgaria)	35		(Bardarov & Popovska 2017)
Paulownia (Turcia)	43,56 (7,00)	33,36/60,37	(Akyildiz & Kol 2010)
Paulownia (Ungaria)	32,3 (4,68)	28,65/48,65	(Komán & Vityi 2017)
Paulownia (Portugalia)	53,5 (6)	-	(Esteves et al. 2022)
Paulownia (Spania)	38,63	23,89/53,17	(Lachowicz & Giedrowicz 2020)
Balsa	16,63 (1,72)		(Kotlarewski et al. 2016)
Molid	80		(Richter & Ehmcke 2017)
Stejar	95		(Richter & Ehmcke 2017)
Plop negru	55–65		(Richter & Ehmcke 2017)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de Paulownia din plantații preluate din literatura de specialitate

Pentru lemnul de proveniență din Spania s-au calculat cel mai mare modul de elasticitate la încovoiere de 4866,49 N/mm² și cea mai mare rezistență la încovoiere de 39,77 N/mm² (Tabelul 4.1.6 și 4.1.7). Lemnul de Paulownia din Bulgaria a avut cel mai mic MOR de 35,53 N/mm². Lemnul de Paulownia din Serbia se situează în o valoare MOR medie de 37,54 N/mm² (Tabelul 6).

(Jakubowski 2022) a analizat într-un articol de sinteză proprietățile mecanice ale lemnului de Paulownia, din care rezultă că rezistența la încovoiere statică este cuprinsă între 23,98 și 43,56 N/mm². (Lachowicz & Giedrowicz 2020) au măsurat o rezistență la încovoiere similară, cuprinsă între 23,89 N/mm² și 53,17 N/mm², cu o valoare medie de 38,63 N/mm², iar (Esteves et al. 2022) au determinat o valoare medie mai mare, 53,5 N/mm² pentru Paulownia de proveniență din Portugalia. Toate aceste valori sunt de cel puțin două ori mai mari în comparație cu MOR pentru lemnul de balsa, care este de aproximativ 17 N/mm² (Richter & Ehmcke 2017). Valoarea MOR mai mare (43,56 N/mm²) pentru lemnul de Paulownia din Turcia (Akyildiz & Kol 2010) se datorează densității mari pentru această specie și a fost numai 20% mai mică decât cea pentru plop negru (*Populus nigra*) (Richter & Ehmcke 2017).

Valorile MOE pentru Paulownia variază între 2700 și 6000 N/mm² (Jakubowski 2022) și sunt prezentate în Tabelul 4.1.7.

Tabelul 4.1.7. Modulul de elasticitate la flexiune (MOE) a lemnului de Paulownia spaniol, bulgar și sârbesc în comparație cu alte specii de lemn (N/mm²).

Specia/proveniența lemnului	Valoare medie MOE [N/mm ²]	Min./Max. [N/mm ²]	Sursa
Paulownia (Spania)	4866,49 (797,84)	3580/5941	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Bulgaria)	3714,14 (588,51)	2685/4899	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Serbia)	4532,49 (900,92)	2733/6492	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Spania)*	1898,75	1167/2690	(Lachowicz & Giedrowicz 2020)
Balsa*	2900	-	(Wiepking & Doyle 1960)
Plop negru*	8800	-	(Grosser 2007)
Molid	11000	-	(Richter & Ehmcke 2017)
Larice	13800	-	(Grosser 2007)
Stejar	13000	-	(Grosser 2007)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de Paulownia din plantații preluate din literatura de specialitate

(Lachowicz & Giedrowicz 2020) au măsurat o valoare scăzută a modului de elasticitate a lemnului de Paulownia de 1899 N/mm². La utilizarea metodelor de testare nedistructive, în studiul condus de (Jakubowski 2022) a rezultat un modul de elasticitate superior pentru arborii cu diametre mai mari.

În comparație, molidul are un MOE de 11.000 N/mm² și un MOR de 80 N/mm² (Richter & Ehmcke 2017). MOE al lemnului de balsa este mai mic, cu o valoare medie de 2900 N/mm² (Kotlarewski et al. 2016), dar totuși mai mare decât valorile rezultate din studiul condus de (Lachowicz & Giedrowicz 2020), și anume 1900 N/mm².

Rezistența la compresiune (DIN 52185:1976)

Valorile rezultate în urma testării la compresiune a lemnului de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia, măsurate conform DIN 52188:1979, sunt prezentate în Tabelul 4.1.8, în care sunt listate comparativ și alte specii de Paulownia din Ungaria, Spania și Turcia, precum și speciile Balsa, molid și plop negru.

Tabelul 4.1.8. Rezistența la compresiune a lemnului de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia în comparație cu alte specii de lemn. n= 12, (abaterea standard în paranteze) (N/mm²)

Specia/proveniența lemnului	Rezistența la compresiune [N/mm ²]	Min./Max. [N/mm ²]	Sursa
Paulownia (Spania)	22,53 (3,17)	18,7/28,12	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Bulgaria)	18,77 (1,5)	16,25/21,71	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Serbia)	21,41 (4,55)	14,39/32,01	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Ungaria)	19,9 (1,78)	19,63/25,24	(Komán & Vityi 2017)
Paulownia (Spania)*	14,24 (1,52)		(Lachowicz & Giedrowicz 2020)
Paulownia (Turcia)*	35,56 (6,95)	10,45/18,29	(Kaymakci, Bektas & Bal)
Paulownia (Turcia)*	25,55 (2,25)		(Akyildiz & Kol 2010)
Balsa	10	20,35/29,42	(Wiepking & Doyle 1960)
Molid	45		(Richter & Ehmcke 2017)
Plop negru	30		(Grosser 2007)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de Paulownia din plantații preluate din literatura de specialitate

Lemnul de Paulownia din Spania are o rezistență la compresiune de 22,53 N/mm², cel din Bulgaria are o rezistență la compresiune de 18,77 N/mm², iar cel din Serbia are o rezistență la compresiune de 21,41 N/mm². Alte valori ale rezistenței la compresiune pentru Paulownia din alte plantații sunt cuprinse între 25,55 N/mm² (Akyildiz & Kol 2010) și 35,56 N/mm² (tot datorită densității atipic de mari) pentru Paulownia din Turcia și semnificativ mai mici, de 14,24 N/mm², după cum au determinat (Lachowicz & Giedrowicz 2020).

În comparație, molidul prezintă o rezistență la compresiune de 45 N/mm², care este de două ori mai mare decât rezistența la compresiune calculată pentru lemnul de Paulownia (Richter & Ehmcke 2017). Valoarea este similară pentru lemnul de plop negru, care are o valoare minimă de 30 N/mm² (Grosser 2007). Lemnul de balsa are cea mai mică valoare medie pentru rezistența la compresiune, de 10 N/mm² (Wiepking & Doyle 1960).

Rezistența la tracțiune (DIN 52188:1979-05)

În Tabelul 4.1.9 sunt listate valorile măsurate în urma testelor de rezistență la tracțiune pentru lemnul de Paulownia spaniol, bulgar și sârbesc în conformitate cu DIN 52188:1979.

Tabelul 4.1.9. Rezistența la tracțiune a lemnului de Paulownia spaniol, bulgar și sârbesc în comparație cu alte specii de lemn. n = 15 (abatere standard în paranteze) (N/mm²).

Specia/proveniența lemnului	Rezistența la tracțiune [N/mm ²]	Min./Max. [N/mm ²]	Sursa
Paulownia (Spania)	44,12 (10,66)	28,1/64,59	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Bulgaria)	36,17 (6,69)	27,60/51,08	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Serbia)	40,14 (9,11)	25,62/62,27	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Ungaria)*	33,25 (8,9)		(Komán & Vityi 2017)
Balsa	14		(Forest Products Laboratory 1999)
Molid	95	21,86/52,96	(Richter & Ehmcke 2017)
Stejar	110		(Richter & Ehmcke 2017)
Plop negru	77		(Richter & Ehmcke 2017)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de Paulownia din plantații preluate din literatura de specialitate

Lemnul de Paulownia de proveniență spaniolă are o rezistență la tracțiune de 44,12 N/mm². Rezistența la tracțiune a lemnului de Paulownia din Bulgaria a fost de 36,17 N/mm², iar rezistența la tracțiune pentru lemnul din Serbia este de 40,14 N/mm². Pentru lemnul de Paulownia provenit din Ungaria, (Komán & Vityi 2017) au determinat o rezistență la tracțiune de 33,25 N/mm², asemănătoare cu valorile prezentate în acest studiu. Rezistența la tracțiune a lemnului de balsa este considerabil mai mică, și anume 14 N/mm² (Kaymakci, Bektas & Bal).

Rezistența la tracțiune a plopului negru este cu aproximativ 40% mai mare decât cea a Paulowniei, iar pentru molid este de două ori mai mare.

Rezistența la smulgere a șuruburilor (EN 320:2011)

În Tabelul 4.1.10 sunt listate rezultatele măsurătorilor rezistenței de retragere a șuruburilor (SWR) determinate în conformitate cu EN 320:2011-07.

Tabelul 4.1.10. Rezistența de retragere a șuruburilor a lemnului de Paulownia din Spania, Bulgaria și Serbia în comparație cu alte specii de lemn. n (Spania) = 9; n (Bulgaria) = 10; n (Serbia) = 9 (abaterea standard în paranteze) (N/mm).

Specia/proveniența lemnului	Rezistența la retragerea șuruburilor (N/mm)	Min./Max. (N/mm)	Sursa
Paulownia (Spania)	55,56 (6,6)	41,48/63,47	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Bulgaria)	51,95 (13,66)	31,4/87,74	(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Serbia)	56,55		(Barbu et al. 2022)
Paulownia (Turcia)	50,5 (7,87)		(Akyildiz 2014)
Pin negru	152	34,24/91,72	(Aytekin 2008)
Brad	108		(Aytekin 2008)
Stejar	170		(Aytekin 2008)

* - rezultatele comparative ale altor tipuri de Paulownia din plantații preluate din literatura de specialitate

Lemnul de Paulownia din Spania a măsurat o rezistență la retragerea șurubului de 55,56 N/mm, cel din Bulgaria 51,95 N/mm, iar cel din Serbia 56,55 N/mm. Rezultatele pentru SWR pentru Paulownia din Bulgaria sunt în concordanță cu rezultatele prezentate de (Forest Products Laboratory 1999), în care lemnul de plantație a fost de proveniență din Turcia, prin urmare se poate presupune că Paulownia din regiunea Mării Negre prezintă proprietăți similare. În comparație cu SWR al speciilor de lemn de esență tare, pentru Paulownia valorile sunt de cel puțin două sau trei ori mai mici (Akyildiz 2014).

Concluzii

Amplasamentul plantațiilor de Paulownia prezentate în acest studiu (Peninsula Iberică și Balcani), tipul de sol și condițiile de mediu influențează puternic proprietățile lemnului. Proprietățile mecanice sunt direct corelate cu densitatea. Densitatea scăzută a tuturor eșantioanelor testate face ca porii lemnului să conțină mult aer și, prin urmare, să aibă proprietăți superioare de izolare termică și bineînțeles greutate redusă.

Așa cum era de așteptat, pentru lemnul de Paulownia au fost determinate valori semnificativ mai mici ale proprietățile fizico-mecanice în comparație cu cele ale molidului, stejarului sau plopului, dar net superioare lemnului de balsa. Lemnul de Paulownia prezintă valori relativ reduse pentru rezistența la încovoiere, modulul de elasticitate și rezistența la compresiune. Lemnul de Paulownia nu este recomandat în aplicații structurale, unde sunt necesare rezistență mecanică și rigiditate ridicată.

Având în vedere aceste rezultate, se poate trage concluzia că lemnul de Paulownia are un potențial ridicat pentru aplicații speciale în care se dorește o densitate redusă a materialului, în

modelism și pentru izolare termică. Paulownia se poate utiliza cu succes în structurile neportante și poate înlocui alte specii de lemn tropical (balsa), mai scumpe și mai rare, cum ar fi lemnul de balsa în structurile sandwich ușoare.

B-ii. Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

Absolvirea primului studiu, în domeniul ingineriei mecanice, mi-a conferit o înțelegere a principiilor de bază privind mecanica, dinamica, termodinamica, termotehnica, electrotehnica, metrologia și mecatronica. Acestea au constituit prerechizitele cu care am demarat cel de-al doilea studiu, tehnologia și economia lemnului, în care m-am instruit, pe de o parte, în domeniul produselor și proceselor de producție ale compozitelor pe bază de lemn, analiza și controlul proceselor în industria lemnului și pe de altă parte în următoarele domenii: guvernanta corporativă durabilă, leadership, lean management, tehnici de negociere, controlling, management strategic și comunicare interculturală.

Competențele dobândite pe plan didactic și în domeniul cercetării științifice au fost valorificate în cadrul Departamentului de Tehnologia Lemnului și Construcții din Lemn din cadrul Universității de Științe Aplicate din Salzburg. Cele două tipuri de studii universitare clasice și de științe aplicate mi-au conferit posibilitatea îmbinării armonioase a teoriei științifice cu practica industrială, pe care le pot pune în aplicare în activitățile academice curente pe care le desfășor actualmente în Kuchl.

Planul de evoluție și dezvoltare a carierei profesionale are drept obiectiv principal desfășurarea de activități didactice și de cercetare în domeniul tehnologiei lemnului și a dezvoltării produselor sustenabile pe bază de materiale lignocelulozice.

Deoarece standardele minimale pentru obținerea atestatului de abilitare au în vedere activitatea științifică și didactică evaluate după ultima promovare sau în ultimii cinci ani, teza de abilitare și prezentarea activității mele didactice și de cercetare se referă la perioada de după august 2018, când am susținut cu succes examenul de doctorat la Universitatea Tehnică din Zvolen, Facultatea de Știința și Tehnologia Lemnului, sub îndrumarea Prof. Dr. Ing. Roman Réh, CSc.

În această perioadă am participat la specializări profesionale prin cursuri specifice organizate de FH Salzburg în domeniul sortării lemnului, mașini de prelucrare a lemnului, lean management.

După 2019 am luat cu preponderență parte la instruirii în domeniul e-learning și hybrid-learning: „Moodle pentru avansați”, „Îndrumare smart a lucrărilor științifice”, „Cursuri online eficiente cu MsTeams”, „Predarea în sistem hibrid”, „Sisteme interactive in Moodle” și „Conștientizarea securității cibernetice” (Fast-Track Cyber Security Training, Mobile Security, Data privacy, Internet & Online Tools, Office Security, Email Security, Malicious Software).

Experiența didactică

În perioada 2018-2023 am susținut activități didactice de curs și aplicative, la programele de studii de licență HTB (Tehnologia lemnului și construcții din lemn) și master HTW (Tehnologia și economia lemnului) din cadrul FH Salzburg în Campusul Kuchl.

Activitățile didactice complementare s-au concretizat în îndrumarea proiectelor de an, a lucrărilor de licență și de master, precum și coordonarea studenților la publicarea articolelor științifice în reviste de specialitate tip open access sau indexate în baze de date internaționale. Am fost membră (din 2014 minimum de două ori pe an) a comisiilor pentru susținerea examenelor de licență și master în calitate de examinator sau președinte de comisie.

În sprijinul activităților didactice am elaborat suporturi de curs în limba germană și engleză pentru următoarele discipline (fiecare timp de un semestru cu câte 2 ore/săptămână):

- Știința materialelor;
- Scriere academică și metode de cercetare;
- Ecologie și protecția mediului înconjurător;
- Ecologia materialelor de construcție – Certificate;
- Principii de bază ale tehnologiei produselor forestiere;
- Ingineria proceselor și materiale bio-compozite;
- Metode de cercetare calitative și cantitative;
- Finanțare și achiziție de proiecte.

Am realizat și un îndrumar de laborator privind modul de lucru și protecția muncii în laboratorul de tehnologia lemnului din campusul universitar.

Cursurile susținute la FH Salzburg și forma de învățământ asociată sunt prezentate în Tabelul B-ii 1:

Tabelul B-ii 1: Lista cursurilor susținute la FH Salzburg, Campus Kuchl în perioada 2018-2023

Forma de învățământ	Curs (timp de un semestru, cu câte 2 h/săpt.)
Licență	Ecologie și mediul înconjurător
Licență	Scriere academică
Licență	Ecologia materialelor - Certificate
Licență	Studiul materialelor
Master	Ingineria proceselor și materiale bio-compozite
Master	Designul cercetării și metode de cercetare
Master	Scrierea proiectelor de finanțare
Master	Bazele tehnologiei produselor din lemn

Am publicat două capitole de carte în calitate de prim autor în „Bauphysik” (2022, <https://doi.org/10.1002/9783433611081.ch4>), în editura Ernst&Sohn (Germania) și ca unic autor în „Annual Plant: Sources of Fibres, Nanocellulose and Cellulosic Derivatives”, în Springer Nature Singapore Pte Ltd. (2023, https://doi.org/10.1007/978-981-99-2473-8_9).

Lucrările științifice la care am fost îndrumătoare principală sunt prezentate în Tabelul Bii-2 și se referă la lucrări științifice tip BAC 1 (lucrare științifică pe baza proiectului de an din anul II de studii), BAC2 (lucrare Bachelor/Licență) și MA (Master).

Tabel Bii-2: Îndrumare de lucrări științifice la FH Salzburg, Campus Kuchl în perioada 2018-2023*

Tip lucrare științifică	Nr. îndrumări	Titlu lucrare științifică
BAC1	1	Cotainer transport lemn rotund
BAC1, 2	14	Panouri termoizolante pe bază de material lignocelulozic
BAC1, 2	9	Plăci decorative din reziduuri lignocelulozice
BAC1,2	5	Panouri rezistente la foc pe bază de scoarță și argilă
BAC1	1	Optimizarea rezistenței îmbinărilor pe bază de adezivi
BAC2	1	Optimizarea procesului de carbonizarea a lemnului prin metoda Yakisugi
BAC1	1	Reutilizarea lemnului vechi în produse decorative
BAC2	1	Granulat din plută de stejar pentru gazon artificial
BAC1	1	Plăci de surf din <i>Paulownia tomentosa</i> încleiate cu adeziv pe bază de cazeină
BAC1	1	Panouri izolante cu <i>Possidonia oceanica</i>
BAC1	1	Panouri termoizolante din lână de lemn
BAC1	1	Plăci aglomerate din deșeuri tip rumeguș
BAC2	1	Strat de egalizare pentru dușurile din compozit pe bază de scoarță
BAC2	1	Panouri termoizolante pe bază de fibre de scoarță obținute prin procedeu hidromecanic
BAC2	1	Caracterizarea proprietăților fizice și mecanice ale lemnului <i>Paulownia</i> din plantațiile europene
BAC1	2	Plăci termoizolante din <i>Miscanthus</i>
BAC2	1	Sustenabilitatea construcțiilor din lemn
BAC2	1	Optimizarea <i>keycard pure</i> cu materiale alternative
Master	1	Placaje din <i>Paulownia</i>
Master	1	Panouri ecologice pe bază de ace de molid
Master	1	Efectul recoltării și depozitării materiei prime asupra panourilor din fibre din scoarță de molid
Master	1	Presarea cu CIF a lamelelor de foioase și conifere pentru elemente structurale GLT
Master	1	Panouri aglomerate încleiate cu cazeină

*-numele autorilor au fost voit omise, din considerente de protecție a datelor

Experiența didactică a fost lărgită prin mobilitățile Erasmus, prin care am avut ocazia să vizitez și/sau să predau la Universitatea Mendel din Brno (Cehia), Universitatea Zagreb (Croatia), Universitatea de Științe Aplicate din Biel (Elvetia), Universitatea de Științe Aplicate din Lahti (Finlanda), Universitatea Tehnică din München (Germania), Universitatea de Științe Aplicate din Rosenheim (Germania), Universitatea de Științe Agricole din Shiyuoka (Japonia), Universitatea din Hamburg (Germania), Universitatea Ljubljana (Slovenia), Universitatea Tehnică din Zvolen (Slovacia), Universitatea Ungariei de Vest (Sopron) și Universitatea Walailak din Nakhon Si Thammarat (Thailanda).

Activitatea de cercetare

Activitatea unei universități de științe aplicate este legată intrinsec de cercetarea industrială. Studenții sunt implicați încă din semestrele inferioare (1 și 2) alături de colegii din anii mai mari în proiecte anuale (pe durata a două semestre) cu aplicabilitate practică imediată, conduse de cadrele didactice, de cele mai multe în colaborare cu partenerii industriali.

În ultimii ani am fost director de proiect unde am condus cercetări susținute de Agenția austriacă de finanțare pentru cercetare, dezvoltare și inovare în domeniul afacerilor (FFG):

- InnoCheck 879193 „Dezvoltarea unui panou acustic durabil pentru amenajări interioare”, FH-Salzburg (Kuchl) & Isolith (Straßwalchen), 2019-2020 (12500 €); [Abgeschlossene Projekte | Holz- und biogene Technologien | FH Salzburg \(fh-salzburg.ac.at\)](#)
- InnoCheck 881893 „Specii alternative: Paulownia”, „Enjoy lifestyle city glieder”, FH-Salzburg (Kuchl) & Glendor Holding (Kilb), 2020-2021 (12500 €), [Leichtbau-Alternative: Paulownia-Holz | FH Salzburg \(fh-salzburg.ac.at\)](#)

În calitate de membru în proiectele de cercetare, am contribuit la:

- „Potențialul de optimizare a procesului de impregnare a hârtiilor decorative, inclusiv a depozitării”, FH-Salzburg (Kuchl), 2016-2018, Partener: Egger (St.Johann im Pongau);
- „Investigarea încleierii și acoperirii diferitelor decorații pe panouri subțiri”, FH-Salzburg (Kuchl), 2017-2018, Partner: Organo-id Technologies (Fließ), Kaindl (Wals);
- „Dezvoltarea de articole sportive biodegradabile durabile folosind lemn și adeziv pe bază de cazeină”, FH-Salzburg (Kuchl), 2017-2018, Partner: FH-Salzburg (Kuchl);
- „Investigarea și optimizarea proprietăților mecanice și fizice ale betonului din aşchii de lemn obținut din diferite specii autohtone de lemn în producția industrială”, FH-Salzburg (Kuchl), 2017-2018, Partner: Delta Bloc (Sollenau), Thermospan (St. Johann im Pongau), Bautechnisches Institut (Linz), Schur konstruktiv (Salzburg);
- „Dezvoltarea de cuie din lemn din furnir densificat cu adezivi alternativi, FH-Salzburg (Kuchl), 2019-2022, Beck, Pagholz;
- „Efectul depozitării și al perioadei recoltării asupra proprietăților plăcilor din fibre de coajă”, 2019-2022”, FH Salzburg;
- „Presarea cu CIF a panourilor din lemn masiv încleiate cu adeziv pe bază de cazeină, 2020-2022, FH Salzburgm Woerle, Weining;
- „Plăci aglomerate ușoare din Paulownia realizate cu tehnologia de presare CIF, 2021-2021, FH Salzburg, IH Dresden, Glendor Holding GmbH;

- „Dezvoltarea și caracterizarea unui compozit ecologic din ace de molid pentru panouri decorative de interior, 2020-2023, FH Salzburg

Conform Web of Science și Scopus, indicatorii mei scientometrici la data de 01.09.2023 erau: Hirsch-Index=12 (WOS) și 13 (Scopus), citări: 384 (WOS) și 416 (Scopus), din 28 (WOS) și 31 (Scopus) articole publicate în reviste cu factor de impact preponderent >3 (Figura B-ii 1). Publicația tip open acces cu factorul de impact cel mai mare a apărut în revista Journal of Cleaner Production (IF=9,297 la data publicării în 2020), urmată de peste 12 articole în Polymers (IF=4,967 în 2022), 3 în Forests (IF=2,9 în 2022) etc.

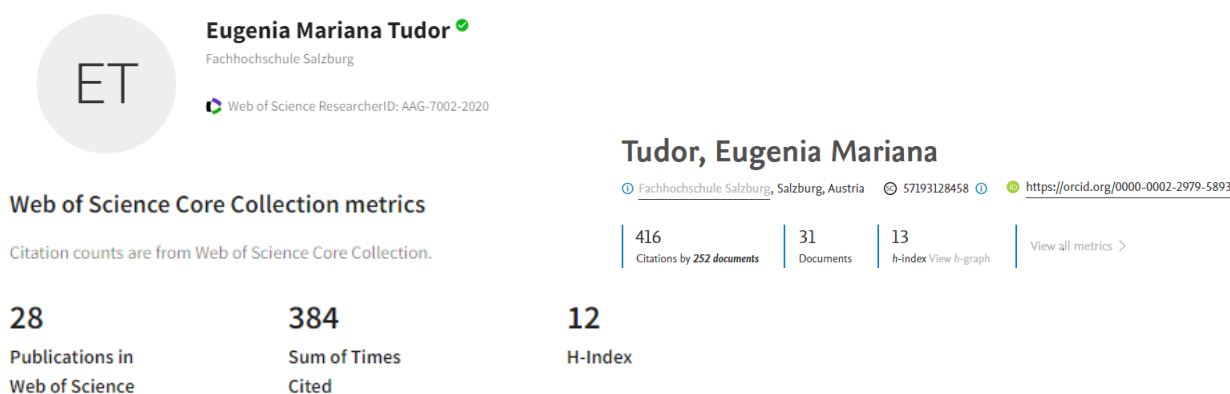


Figura B-ii 1: Indicatori scientometrici Web of Science (stânga) și Scopus (dreapta) ai autoarei

În 30 iunie 2021 am devenit FH-Professor (FH-Prof) la FH Salzburg, ca urmare a îndeplinirii criteriilor impuse de respectiva instituție pentru conferirea acestui titlu: susținerea examenului de doctorat; calificarea didactică (conform rezultatelor analizate de Departamentul de evaluare a calității), experiență în afara sistemului academic, activități de cercetare și dezvoltare legate de disciplinele predate, publicații științifice, experiență internațională și/sau rețele de colaborare academică internațională.

Am făcut parte din comitetele de organizare pentru următoarele manifestări științifice (Tabelul B-ii 3) și în comitete științifice ale conferințelor din Trabzon, St. Simon’s Island, Freising și Brașov (Tabelul B-ii 4)

Tabel Bii-3: Activitate în comitetele de organizare pentru conferințe internaționale și naționale

Luna/An	Conferința
2012	COST FP 1006 – Bringing new functions to wood through surface modification, Seminar, Kuchl, Austria
2014	PTFBPI International Conference in Kuchl, Austria, ediția 3
2016	PTFBPI International Conference in St. Simmons Isl, USA, ediția 4
2018	PTFBPI International Conference in Freising, Germania, ediția 5

Tabel Bii-4 Activitate în comitetele științifice ale conferințelor internaționale și naționale

Anul	Conferința
2016	PTFBPI International Conference in St. Simmons Isl, USA, ediția 4
2020	VI International Furniture Congress -Trabzon, Turkey
2023	International Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millennium", ediția 13

Din martie 2022 fac parte din comitetul editorial al revistei open acces Drvna Industrija (Croatia), condusă de Prof. Emerit Ružica Beljo Lučić PhD.

De asemenea, particip la recenzia articolelor tip inter-pares pentru revistele științifice Journal of Cleaner Production (Elsevier), Industrial Crops and Products (Elsevier), Polymers (MDPI), Forests (MDPI), Applied Sciences (MDPI), Journal of Composite Science (MDPI), Materials (MDPI), Coatings (MDPI), BioResources (NC State University), European Journal of Wood and Wood Products (Springer), Journal of Physical Sciences (USM Press), Materials Today Sustainability (Elsevier), Madeira, Advances in Materials Science and Engineering (Hindawi) (Figura B-ii 2).



Figura B-ii 2: Certificate de confirmare a revizuirii articolelor științifice pentru Journal of Cleaner Production (stânga) și MDPI (dreapta) până în 2023

Planuri de dezvoltare a activității didactice

Cu experiența acumulată la Universitatea Transilvania, la Departamentul de Învățământ la Distanță și Învățământ cu Frecvență Redusă am reușit ca, din anul 2014, să implementez în Campusul Kuchl sistemul de învățare mixtă și de testare online pentru disciplinele din cadrul specializării Tehnologia Lemnului. Activitățile de tip test (examene online) includ întrebări cu răspunsuri simple sau multiple, întrebări deschise, asocieri între elemente etc. Deoarece testarea este una din cele mai bune metode de învățare, în afară de examenul propriu-zis, studenții au la dispoziție teste aferente fiecărui curs (facultative), care ajută la fixarea cunoștințelor și evaluarea într-un cadru mai relaxat a noțiunilor acumulate.

În ultimii patru ani, activitatea didactică a cunoscut radicale transformări cauzate de pandemia Covid, care a dat peste cap multe structuri, inclusiv cele din sistemul de învățământ, la toate nivelurile. Sistemele de predare online și hibrid au fost implementate ad-hoc. Învățarea mixtă este o abordare holistică a învățării care combină componentele online și cele din sala de curs. De aceea, învățarea și predarea au trebuit să fie regândite aproape peste noapte. Pe lângă trecerea la predarea online, conceptul de învățare mixtă s-a impus tot mai mult în ultima vreme.

E-learning este o metodă de predare și învățare sincron sau asincron, fiind susținută de tehnologiile informației și comunicațiilor. Pentru a elimina parțial anumite puncte slabe ale e-learning-ului, învățarea mixtă poate fi considerată o soluție mai flexibilă, prin faptul că avantajele e-learning-ului sunt combinate cu avantajele cursurilor față în față.

Posibilitățile tehnice ale învățământului la distanță au trebuit însușite și profesionalizate. Tipul de predare în perioada pandemiei Covid-19 a fost axat în principal pe modul online, prin aplicațiile dedicate, cum ar fi MsTeams, sau prin intermediul instrumentelor platformei MOODLE. În anii 2022 și 2023 sistemele de învățare online au fost interconectate între ele, creând posibilitatea organizării mai efective a suporturilor de curs, a întâlnirilor online (MsTeams) direct prin intermediul platformei MOODLE, de exemplu. Moodle este un instrument excelent și complex, dar o platformă relativ complicată. În schimb, MsTeams este un instrument nou, cu un design modern și relativ simplu. Acesta oferă simplitate, comunicare în timp real și integrare cu Office 365. Moodle și MsTeams pot fi integrate pentru a obține beneficii duble: un curs foarte bine structurat și administrat (Moodle) plus posibilități extinse de colaborare și comunicare (MS Teams).

Începând cu 2020, sistemul de predare online a deschis și parțial a obligat calea pentru o schimbare de gândire și regândire a metodelor de predare coroborate cu obținerea în timp real a feedback-ului din partea studenților, mai ales în activitățile de tip seminar sau proiect. În orice caz, învățarea mixtă are un potențial enorm de a deschide o ușă în sectorul învățării moderne.

De asemenea, prin intermediul acestor platforme este facilitată comunicarea la distanță între tutore/îndrumător/coordonator și student/doctorand. Astfel, experții sunt solicitați și acceptă să îmbunătățească orele de curs cu noutăți tehnologice, dezvoltări de produse și evoluții ale piețelor, pot să „întâlnească” și disemina facil acest tip de informații în rândul studenților, cu un real câștig de timp și efort financiar redus pentru ambele părți. În acest fel, modul în care decurge procesul de învățământ superior, inclusiv cercetarea științifică, poate fi discutat, îmbunătățit și monitorizat în timp real și de către experții internaționali cu mare atenție. De exemplu, întâlnirile de proiect pot decurge la distanță, mai ales cu studenții care își realizează proiectele de an și lucrările de licență/master în colaborare cu și la sediul firmelor partenerilor industriali, ceea ce salvează timp și alte resurse.

Avantajele învățării mixte

Implementarea inițială a activităților de tip test, a activităților interactive, a chestionarelor etc. necesită mult timp, deoarece este nevoie de o bună planificare pentru a stabili un concept didactic solid. Cu toate acestea, odată implementate, aceste instrumente permit ulterior multe avantaje. De exemplu, cursul configurat poate fi arhivat de către instructor și oricând ulterior activat și utilizat din nou, actualizat sau îmbunătățit prin adăugarea de noi elemente (dicționar, teste interactive cu bară de progres, conținut video cu testare tip alegere multiplă, răspuns scurt/răspuns numeric etc.). În special în cazul educației și formării orientate spre practică industrială, se poate utiliza în prealabil o fază online, în care cursanții dobândesc cunoștințe de bază care sunt aplicate într-o fază ulterioară de prezență. La fel de bine, studenții FDMIL sau cei din Campusul Kuchl pot vizualiza virtual procesele tehnologice în fabricile de profil și asculta/discuta cu specialiștii din industrie exact în momentul în care li se va preda teoria acestui flux din producție. În plus, această abordare este atractivă pentru cursanții noștri, deoarece nu este doar o predare frontală de tip prelegere. Acest tip de transfer de cunoștințe se va impune pe deplin în viitor.

Conceptul învățării mixte

Pentru a pune în aplicare un concept atunci când se utilizează învățarea mixtă, am gândit structura, forma de transfer de cunoștințe și, astfel, am stabilit în mod clar un curs de învățare mixtă. În general, diferite elemente din cadrul cursului online sunt interconectate între ele, astfel încât să fie posibilă o absorbție eficientă a cunoștințelor. De asemenea, am structurat cursurile online astfel încât studenții să aibă acces, pe lângă literatura de specialitate, la videoclipuri, dicționar online, activități cu caracter interactiv sau teste.

Un prim obstacol poate fi întâmpinat atunci când se trece de la formele anterioare clasice de transfer de cunoștințe - cum ar fi prelegerea frontală, fără implicarea cursanților - la tehnologiile de informare și comunicare online. Aceasta de fapt nu este învățare mixtă, pentru că nu este schimbat nimic din punct de vedere didactic - dimpotrivă, prin utilizarea aceleiași forme de învățare și a tehnologiei de comunicare online, cursanții pot fi dezinteresați și nemotivați. Prin urmare, câteva schimbări în modul de predare și de combinare a acestor metode sunt esențiale. Am aplicat aceste principii mai ales din luna martie 2020, când s-a trecut la tipul de predare online, combinat (din fericire) și cu prelegeri frontale (când restricțiile au devenit mai permissive în perioada pandemiei Cov19). Am aplicat sistemele sincrone de predare (MsTeams) și testare (Moodle).

Internaționalizarea la nivel academic

Trecând acum de la instrumentele moderne de predare (mixtă, online sau frontală) la alte aspecte ale activității didactice, conceptul de internaționalizare a universităților în special de la trecerea la sistemul Bologna are un impact esențial asupra predării, cercetării și serviciilor oferite studenților, dar și cadrelor didactice.

Internaționalizarea reprezintă procesul de integrare a unei dimensiuni internaționale, interculturale sau globale pentru sprijinirea și furnizarea educației postsecundare. În acest scop, se presupune colaborarea dintre instituțiile de învățământ superior în special din UE27 și a țărilor „asimilate” Uniunii, pentru a pune în aplicare obiectivele descrise în planurile strategice de internaționalizare. Acestea includ internaționalizarea curriculumului, dezvoltarea competențelor interculturale pentru facultate/personal/studenti și oferirea de sprijin pentru activitățile de internaționalizare (exemplu Erasmus+).

Activitățile de internaționalizare, schimburile de cadre didactice și de studenți, acordurile de cercetare, acorduri pentru diplome duble (double degree), semestre de schimb, colocvii și ateliere de creație/invenție (workshop), clasamentele (ranking-urile) internaționale au devenit din ce în ce mai importante pentru multe instituții de învățământ superior din întreaga lume, inclusiv din Austria sau România. Internaționalizarea are mai multe dimensiuni: parteneriate internaționale, finanțarea cercetării, clasamente și programe de schimburi academice. Pentru multe țări, unul dintre aspectele cheie a fost creșterea numărului de înscrieri ale studenților internaționali.

În contextul dezvoltării academice, documentele strategice sau de planificare pe termen lung ale universităților fac sau vor face referiri explicite la internaționalizare. Internaționalizarea este una dintre prioritățile principale (devenită o realitate cotidiană neașteptat de repede) la nivelul oricărei universități central-europene, ceea ce indică faptul că aceste strategii reprezintă un aspect important al planurilor strategice ale UE, țărilor, regiunilor, marilor orașe, instituțiilor de învățământ superior (în cazul de față FH Salzburg și Universitatea Transilvania din Brașov).

Acestor aspecte li se adaugă creșterea metrificării transnaționale a învățământului superior. Importanța care se acordă tot mai mult clasamentelor universitare (rankings), de exemplu, adaugă o nouă competiție dură și neașteptat de transparentă și promptă pentru ca o unitate de învățământ superior să fie considerată „cu un înalt nivel de internaționalizare”. La realizarea acestor clasamente unele din criteriile esențiale sunt legate de colaborarea internațională la nivelul cercetării. Studiile științifice efectuate între mai multe colective din țări diferite și publicate în reviste de specialitate tip open access, cu factor de impact semnificativ sau prezentate la conferințe cu proceeding ISI sunt definitorii.

Aici trebuie menționat un exemplu de succes de colaborare internațională dintre FH Salzburg, specializările Tehnologia lemnului și construcții din lemn (program studii Bachelor) și Tehnologia și economia lemnului (Master) pe de o parte, și Universitatea de Științe Aplicate din Lahti (LAMS) (Finlanda), specializarea Tehnologia Lemnului, prin care este prevăzută obținerea unei diplome duble (double-degree). Similar cu FMIL, studenții din Lahti studiază Licența timp de patru ani. Ultimul an de Bachelor pot studia în Kuchl și susține teza de licență la ambele universități, putând continua cu studiul de Master. Reciproc, absolvenții de Bachelor din Kuchl (cu durata de studii de trei ani) pot fi înscriși în ultimul an de licență în Lahti și obține a doua diplomă de licență din partea LAMS. Acest an de studii reprezintă însă și primul an de Master în Kuchl. Modelul prezentat poate fi propus spre analiză și FMIL, iar autoarea, prin experiența dobândită, își poate aduce contribuția la demararea și implementarea cu succes a acestei noi posibilități de colaborare, datorită faptului că am făcut parte din colectivul care a inițiat programul descris mai sus.

În acest context, în activitatea didactică, îmi propun să mă implic în următoarele acțiuni:

- modernizarea și actualizarea constantă a suporturilor de curs, completarea lucrărilor de laborator și a prelegerilor frontale, dar și la distanță, prin intermediul tehnologiilor e-learning;

- atragerea de studenți pentru programul de studii de master de tehnologia și economia lemnului (HTW – Holztechnologie und Holzwirtschaft), desfășurat în semestrul III preponderent în limba engleză, cu profesori invitați din SUA, fie prin schimburile facilitate de Erasmus (+) și stimularea studenților Facultății de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului din cadrul Universității Transilvania să ia parte la acest tip de mobilități organizate în colaborare cu instituția parteneră FH Salzburg, Campus Kuchl, în cadrul noului Departament Green Engineering and Circular Design, Campus Kuchl;

- angrenarea prin programele UE (Erasmus) a mai multor cadre didactice aflate la început de activitate din cadrul FH Salzburg și Facultății de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului la stagii de pregătire didactică din alte universități, dar și la schimburi de experiență de tip „short term scientific mission” (STSM) prin programe tip COST (de cooperare europeană în domeniile științei și tehnologiei) în centre universitare și de cercetare de specialitate din străinătate pentru a cunoaște îndeaproape specificul vieții universitare din diferite regiuni și țări ale UE. Acestea reprezintă vizite de schimb, care au ca scop sprijinirea mobilității individuale a cercetătorilor, consolidarea rețelelor existente și încurajarea colaborării internaționale și interdisciplinare, având ca scop organizarea de cursuri comune, programe de studii comune, inclusiv diplome duble.

Planuri de dezvoltare a activității de cercetare științifică

Pentru a finaliza cu succes un proiect de cercetare, domeniul de aplicare al acestuia trebuie să fie clar definit. Întrebarea de cercetare și scopurile sau obiectivele specifice ar trebui să ghideze studiul. Ideea de cercetare ar trebui să fie realistă și relevantă pentru interesele cercetătorilor și ale instituției. Odată ce investigatorul principal a dezvoltat o idee de cercetare, ar trebui să se efectueze o analiză cuprinzătoare a literaturii de specialitate. Obiectivele proiectului ar trebui să fie noi, relevante, concise și fezabile. Trebuie să se aloce un buget de timp adecvat pentru a analiza cu atenție, a dezvolta și a solicita contribuții cu privire la întrebarea și obiectivele cercetării, utilizând principii de gestionare a proiectelor. Împărțirea sarcinilor de lucru poate ușura volumul de muncă pentru membrii echipei de cercetare. Elaborarea unui calendar care să ajute la ghidarea executării planului proiectului de cercetare este esențială.

Dezvoltarea activității de cercetare se bazează în primul rând intensificarea colaborării instituționale. Cele mai importante chestiuni științifice sau tehnologiile inovatoare pot fi adesea rezolvate prin colaborarea unei echipe de cercetători din medii diferite. Îmbinarea unor domenii diverse poate face posibilă atingerea obiectivelor tip SMART. Cercetarea colaborativă poate aduce expertiză de valoare în cadrul unui proiect. Un studiu internațional sau interinstituțional riguros poate aduce multe beneficii unui anumit domeniu de cercetare, inclusiv un impact mai semnificativ și o aplicabilitate mai largă. Astfel de colaborări internaționale creează o sinergie, în cazul în care lucrând împreună se pot atinge mai rapid obiective mai mari decât lucrând separat. Trebuie avute în vedere și extinderea și diversificarea sferei de cercetare, modernizarea metodelor, actualizarea constantă a cunoștințelor în raport cu stadiul tehnicii și a cerințelor pieții. În acest sens, trebuie continuate cercetările interdisciplinare din domeniul economiei circulare din sectorul forestier, al agriculturii, materialelor de construcție, celulozei și hârtiei, alimentar etc., consolidarea direcțiilor abordate și diseminarea rezultatelor. Unul dintre obiectivele principale ale cercetării este de a împărtăși cunoștințele dobândite prin prezentări la conferințe naționale și internaționale și prin publicații în reviste de specialitate.

Printre etapele care pot consuma deosebit de mult timp în activitatea de cercetare se numără obținerea sprijinului financiar și susținerii din partea principalelor părți interesate și obținerea consimțământului consiliului de evaluare instituțională sau al instituțiilor care finanțează sau în care urmează să se desfășoare proiectele de cercetare. Aici pot fi enumerate, la scară națională și internațională, „Die österreichische Förderagentur für wirtschaftsnahe Forschung, Entwicklung und Innovation”, FFG, sau „Slovak Research and Development Agency” (prin Universitatea Tehnică din Zvolen, Slovacia), „Progressive Research of Performance Properties of Wood-Based Materials and Products (LignoPro)”, ITMS 313011T720 sprijinit de Operational Programme Integrated

Infrastructura (OPII) finanțat de ERDF și de Comunitatea Europeană în cadrul proiectului No. 26220220180: Building the Research Centre AgroBioTech, și proiectul No. HÈC-Á-1002/03.2019 “Exploitation Properties and Possibilities for Utilisation of Eco-friendly Bio-composite Materials” (prin Universitatea de Silvicultură din Sofia, Bulgaria), prin care s-au obținut finanțări pentru cercetări științifice în colaborare cu parteneri industriali sau proiecte în cadrul instituțiilor de învățământ superior.

Alt model interesant în sfera cercetării îl reprezintă o categorie de proiect susținută de Agenția federală austriacă pentru cercetare, dezvoltare și inovație (FFG), intitulat „Tineri talente în practică”, cu scopul atragerii de elevi de liceu în anii terminali (din domeniul tehnic, dar și cu profil real și comercial) spre învățământul superior în domeniul ingineriei lemnului (de exemplu). Elevii de liceu sunt încurajați să efectueze un stagiul de practică (minim patru săptămâni) la firme sau la instituții de învățământ superior, urmând să fie alocați într-un proiect, să fie activi în diverse laboratoare, să ia parte la testări și la evaluarea rezultatelor, activitatea finalizându-se cu întocmirea unui scurt raport de practică. În decursul anilor, în Campusul din Kuchl am condus mai multe astfel de stagii de practică. Un exemplu recent este descris pe pagina de web a departamentului ([Mit Kakaoschalen zur Kreislaufwirtschaft – Schülerpraktikum am Campus Kuchl | FH Salzburg \(fh-salzburg.ac.at\)](https://www.fh-salzburg.ac.at/en/department-of-circular-economy-and-wood-technology/schuelerpraktikum-am-campus-kuchl)). Cu experiența acumulată derulând astfel de proiecte (de la stadiul de scriere de proiect în vederea finanțării până la coordonarea activității) pot veni în sprijinul FMIL pentru inițierea unor proiecte asemănătoare.

Există numeroase teme de cercetare similare (care se desfășoară în paralel) la Facultatea de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului și Departamentul „Green Engineering and Circular Design”. O colaborare mai strânsă între aceste instituții ar duce la creșterea ritmului și calității cercetării, prin implicarea unor echipe multidisciplinare, prin utilizarea resurselor din laboratoarele ambelor organizații, prin accesarea de fonduri destinate proiectelor internaționale și valorificarea rezultatelor de către mediul de afaceri, dar și diseminarea cu mai mare impact în publicațiile de specialitate, expoziții, ateliere etc.

Trebuie avut în vedere și faptul că industria cherestelei și a plăcilor în lemn din Europa este în foarte mare proporție în proprietatea firmelor din Austria, fiind una dintre cele mai importante ramuri industriale din lume. Acesta este al doilea cel mai mare generator de valută după turism și, prin urmare, al doilea cel mai important sector economic din Austria. Cu o rată de export de 70 %, industria austriacă a lemnului se află în topul țărilor producătoare de lemn la nivel mondial. Produsele austriece din lemn sunt deosebit de apreciate și populare în țările UE, în special în Italia, Anglia și Germania, dar și în străinătate, cum ar fi în SUA, Coreea de Sud și Japonia. În cadrul lanțului valoric al lemnului, industria lemnului din Austria este un sector cheie. Industria lemnului este punctul de

plecare pentru multe alte utilizări ale lemnului. Peste 300.000 de persoane sunt angajate în cadrul lanțului valoric al industriei forestiere și al industriei lemnului, în special în regiunile rurale. Fiecare al 15-lea loc de muncă din Austria poate fi atribuit industriei forestiere și a lemnului. Industria lemnului este o parte indispensabilă a economiei austriece de profil. Tocmai de aceea, pentru studenții, doctoranzii și tinerii cercetători/cadre didactice ale Universității Transilvania există numeroase teme de cercetare și modalități de a experimenta partea aplicativă în cadrul companiilor austriece. Astfel, poate fi creată o rețea puternică de colaborare între departamentele de inginerie a lemnului, departamentele de cercetare-dezvoltare din firme și grupurile de cercetare din domeniul științei materialelor cu un accent deosebit pe proiectarea, sinteza, prelucrarea și aplicațiile materialelor lignocelulozice, hibride sau materiale cu schimbare de fază.

Interesant ar fi, după modelul nord-american (ex. Forest Products Society – 75 ani sau Society for Wood Science and Technology – 65 ani), să se creeze în Europa Centrală și de Est o platformă de colaborare în domeniul ingineriei lemnului, al materialelor biocompozite lignocelulozice, al economiei circulare în sectorul forestier. În acest fel se poate facilita schimbul de informații prin intermediul platformelor dedicate, abordarea/dezvoltarea de noi teme de cercetare, crearea de parteneriate. Mai mult, se pot identifica resursele materiale (dotări de laborator, aparatură), care să faciliteze accesul la tehnica ultimă generație și la efectuarea măsurătorilor de precizie în cazul în care nu este posibil ca o instituție să dețină toate dispozitivele, aparatura și specialiștii necesari determinării proprietăților complexe ale materialelor care fac obiectul cercetărilor, în acest caz apelându-se la alte laboratoare din cadrul platformei. Astfel se pot asocia și facilita publicarea rezultatelor cercetării în revistele de specialitate europene de mare prestigiu, ca *Drevna* (Slovenia), *Drvna Industrija* (Croatia), *Holzforschung*, *Holztechnologie*, *European Journal of Wood and Wood Products* (Germania), *Wood Material Science and Engineering* (Suedia), dar și organizarea conferințelor europene, de exemplu având ca teme principale prelucrarea lemnului de foioase, plăcilor compozite, modificarea lemnului, știința și tehnologia lemnului, în alt format.

Soarta institutelor naționale de cercetare a lemnului, inclusiv reînființarea grabnică a celor dispărute din delăsarea factorilor decizionali de atunci și lipsa de interes politico-economic, în special în estul Europei (fosta Iugoslavie, fosta Cehoslovacie, România, GIS, Turcia etc.) poate fi regândită. Numai o colaborare permanentă intereuropeană a industriei de profil, a agenților economici din domeniu (hypermarket) și instituțiilor de învățământ (și de cercetare specializate existente în special în spațiul de limbă germană și în vecinătate) ar putea reînclina balanța în situația favorabilă existentă acum mai bine de trei decenii.

În final, obiectivele mele legate de activitatea de cercetare sunt distribuite după cum urmează:

- Continuarea activității de recenzare voluntară a articolelor științifice, pentru a susține diseminarea rezultatelor cercetării prin publicarea în reviste de specialitate (naționale și internaționale);
- Recenzarea articolelor în cadrul publicației Drvna Industrija (fac parte din comitetul științific);
- Publicarea în continuare de articole științifice în revista de specialitate ProLigno a Facultății de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului, sprijinind în acest fel indicatorii scientometrici ai publicației (recent, am fost cooptată să recenzez articole din Buletinul Universității Transilvania (BUT), voi continua și această activitate);
- Publicarea de articole științifice în reviste de specialitate europene și internaționale (Chile, SUA, China, Japonia), tip open access, cu factor de impact cu mult peste 3, în care menționez de fiecare dată afilierea mea la Universitatea Transilvania din Brașov;
- Editarea de proceeding-uri ale conferințelor naționale sau internaționale, dar și a edițiilor speciale în revistele de profil;
- Organizarea de conferințe și manifestări științifice în care FDMIL și FH Salzburg să fie parteneri științifici;
- Susținerea în continuare a tinerilor specialiști să formeze echipe de cercetare cu expertiză necesară, în timp util, utilizând în acest sens instrumentele moderne de comunicare online;
- Încurajarea studenților/doctoranzilor în activitatea de cercetare, pentru valorificarea unor studii inovatoare în brevete sau mărci naționale/internaționale, cu posibilitatea aplicării lor în producție;
- Atragerea de fonduri de cercetare din partea mediului de afaceri, agențiilor naționale și regionale pentru finanțarea cercetării, dar și proiectelor finanțate de UE prin filiera proiectelor interregionale, dunărene, zonelor cu cerințe speciale pentru proiecte comune FDMIL și FH Salzburg;
- Promovarea bilaterală a stagiilor de practică în fabricile de prelucrare a lemnului din Austria și România (minim 6 săptămâni) dotate cu tehnologie conform stadiului actual al tehnicii și finanțate sub formă de burse de asociațiile de profil, parteneriatele cu industria, dar și prin fonduri europene tip Erasmus+.

Prin intermediul activității de cercetare studenții și doctoranzii pot obține performanțe în momentul în care încep să exercite profesia de inginer. Cunoștințele teoretice acumulate în timpul facultății sunt completate armonios cu experiența dobândită în timpul stagiilor de practică mai ales în industrie și, astfel, tinerii absolvenți intră în viața profesională cu o anumită experiență, pot interacționa mai ușor la locul de muncă, sunt mai flexibili și au altă viziune de ansamblu asupra

mediului de lucru. Studenții și absolvenții sunt încurajați, de asemenea, să pună în practică rezultatele cercetării prin demararea de start-up-uri, unele dintre ele fiind chiar de mare succes, rezistând în timp (de exemplu <https://www.barkinsulation.at/> sau <https://edelzweig.at/> în cazul absolvenților FH Salzburg). Pe baza modelelor deja experimentate la FH Salzburg, studenții FDMIL vor putea să compare și să propună proiecte sau start-up-uri inovatoare și în pas cu stadiul actual al tehnicii.

Proiectele colaborative pot oferi numeroase beneficii. Iată doar câteva dintre modalitățile prin care colaborările duc la creșterea calității cercetării transnaționale:

- Maximizarea rezultatelor. Prin combinarea expertizei și a resurselor se poate răspunde la întrebări științifice mai mari și mai complexe și se poate extinde sfera de cuprindere a cercetării interdisciplinare pe o durată controlabilă;

- Maximizarea impactului. Există o corelație pozitivă între lucrările realizate în colaborare și un nivel ridicat de citări. De exemplu, lucrarea Réh et al, 2021, la care sunt co-autor (din partea Universității Transilvania și a FH Salzburg), alături de alți 9 colegi de la Universitatea Tehnică din Zvolen, Facultatea de Inginerie, Universitatea Slovacă de Agricultură din Nitra, Slovacia; Universitatea de Silvicultură din Sofia, Bulgaria, Departamentul de compozite pe bază de lemn, celuloză și hârtie, Universitatea Națională Forestieră din Ucraina are 53 de citări WOS numai din anul 2021 incoace).

- Atragerea finanțării. Generarea de rezultate care au un impact pozitiv în contextul economiei circulare și bioeconomiei poate crește șansele de a obține finanțare nerambursabilă atât la nivel local, regional și național, cât și european (UE). Unele organisme de finanțare acordă în prezent prioritate colaborărilor internaționale și între industrie și universități.

- Extinderea rețelei. Colaborarea între instituțiile de învățământ superior poate ajuta la cunoașterea potențialilor viitori angajatori, mentori și colaboratori.

- Deschiderea spre nou. Colaborările sunt oportunități de a dobândi noi competențe, de a obține o nouă perspectivă și de a participa la discuții stimulative și cu experți din domeniul de activitate sau din domenii complementare.

Acestor propuneri de dezvoltare li se conferă o probabilitate foarte ridicată de realizare și, astfel se mai adaugă o alternativă la dezvoltarea susținută și stabilă a colaborării între FDMIL din Brașov și FH Salzburg.

B-iii Bibliografie

- Ab Latib, H., Choon Liat, L, Ratnasingam, J, Law, EL, Abdul Azim, AA, Mariapan, M & Natkuncaran, J 2020, 'Suitability of paulownia wood from Malaysia for furniture application', *Bioresources* 2020, pp. 4727–4737.
- Abbasi, M, Pishvae, MS & Bairamzadeh, S 2020, 'Land suitability assessment for Paulownia cultivation using combined GIS and Z-number DEA: A case study', *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 176, p. 105666.
- Abilleira, F, Varela, P, Cancela, Á, Álvarez, X, Sánchez, Á & Valero, E 2021, 'Tannins extraction from Pinus pinaster and Acacia dealbata bark with applications in the industry', *Industrial Crops and Products*, vol. 164, p. 113394.
- Aditya, L, Mahlia, T, Rismanchi, B, Ng, HM, Hasan, MH, Metselaar, H, Muraza, O & Aditiya, HB 2017, 'A review on insulation materials for energy conservation in buildings', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 73, pp. 1352–1365.
- Akay, A 2002, 'Acoustics of friction', *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 111, no. 4, pp. 1525–1548.
- Akyildiz, MH 2014, 'Screw-nail withdrawal and bonding strength of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood', *Journal of Wood Science*, vol. 60, no. 3, pp. 201–206.
- Akyildiz, MH & Kol, HS 2010, 'Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood', *J. Environ. Biol* 2010, pp. 351–355.
- Aliyu S. & Muntari B. 2011, 'Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications', *African Journal of Biotechnology* 2011, pp. 324–331.
- Amares, S, Sujatmika, E, Hong, TW, Durairaj, R & Hamid, HSHB 2017, 'A Review: Characteristics of Noise Absorption Material', *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 908, p. 12005.
- Ansell, MP 2015, *Wood composites*, Elsevier, Amsterdam.
- Arenas, JP & Asdrubali, F 2017, 'Eco-Materials with Noise Reduction Properties' in *Handbook of Ecomaterials*, eds LMT Martínez, OV Kharissova & BI Kharisov, Springer International Publishing, Cham, pp. 1–26.
- Asdrubali, F, Ferracuti, B, Lombardi, L, Guattari, C, Evangelisti, L & Grazieschi, G 2017, 'A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications', *Building and Environment*, vol. 114, pp. 307–332.
- Asdrubali, F, Schiavoni, S & Horoshenkov, KV 2012, 'A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications', *Building Acoustics*, vol. 19, no. 4, pp. 283–311.
- Audic, J-L, Chaufer, B & Daufin, G 2003, 'Non-food applications of milk components and dairy co-products: A review', *Le Lait*, vol. 83, no. 6, pp. 417–438.
- Ayrimis, N, Buyuksari, U, Avci, E & Koc, E 2009, 'Utilization of pine (*Pinus pinea* L.) cone in manufacture of wood based composite', *Forest Ecology and Management*, vol. 259, no. 1, pp. 65–70.
- Ayrimis, N & Kaymakci, A 2013, 'Fast growing biomass as reinforcing filler in thermoplastic composites: Paulownia elongata wood', *Industrial Crops and Products*, vol. 43, pp. 457–464.
- Aytekin, A 2008, 'Determination of screw and nail withdrawal resistance of some important wood species', *International journal of molecular sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 626–637.

- Azkorra, Z, Pérez, G, Coma, J, Cabeza, LF, Bures, S, Álvaro, JE, Erkoreka, A & Urrestarazu, M 2015, 'Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings', *Applied Acoustics*, vol. 89, pp. 46–56.
- Barbu, MC, Buresova, K, Tudor, EM & Petutschnigg, A 2022, 'Physical and Mechanical Properties of Paulownia tomentosa x elongata Sawn Wood from Spanish, Bulgarian and Serbian Plantations', *Forests*, vol. 13, no. 10, p. 1543.
- Barbu, MC, Lohninger, Y, Hofmann, S, Kain, G, Petutschnigg, A & Tudor, EM 2020, 'Larch Bark as a Formaldehyde Scavenger in Thermal Insulation Panels', *Polymers*, vol. 12, no. 11.
- Barbu, MC, Montecuccoli, Z, Förg, J, Barbeck, U, Klímek, P, Petutschnigg, A & Tudor, EM 2021, 'Potential of Brewer's Spent Grain as a Potential Replacement of Wood in pMDI, UF or MUF Bonded Particleboard', *Polymers*, vol. 13, no. 3.
- Bardarov, N & Popovska, T 2017, 'Examination of the properties of local origin Paulownia wood. (Paulownia sp. Siebold & Zucc.)', *Manag. Sustain. Dev.* 2017.
- Bekhta, P, Sedliačik, J, Kačík, F, Noshchenko, G & Kleinová, A 2019, 'Lignocellulosic waste fibers and their application as a component of urea-formaldehyde adhesive composition in the manufacture of plywood', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 77, no. 4, pp. 495–508.
- Belachew, H, Assefa, Y, Guyasa, G, Azanaw, J, Adane, T, Dagne, H & Gizaw, Z 2018, 'Sick building syndrome and associated risk factors among the population of Gondar town, northwest Ethiopia', *Environmental health and preventive medicine*, vol. 23, no. 1, p. 54.
- Berk, Z 2018, 'Size reduction' in *Food Process Engineering and Technology*, Elsevier, pp. 165–191.
- Bierwirth, RA & Hoyler, CN 1943, 'Radio-Frequency Heating Applied to Wood Gluing', *Proceedings of the IRE*, vol. 31, no. 10, pp. 529–537.
- Blanchet, P, Cloutier, A & Riedl, B 2000a, 'Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues', *Wood Science and Technology* 2000, pp. 11–19.
- Blanchet, P, Cloutier, A & Riedl, B 2000b, 'Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues', *Wood Science and Technology*, vol. 34, no. 1, pp. 11–19.
- Bohatkiewicz, J 2016, 'Noise Control Plans in Cities – Selected Issues and Necessary Changes in Approach to Measures and Methods of Protection', *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 2744–2753.
- Böhm, P, Wolterbeek, H, Verburg, T & Musílek, L 1998, 'The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic', *Environmental Pollution*, vol. 102, 2-3, pp. 243–250.
- Boran, S, Usta, M, Ondaral, S & Gümüşkaya, E 2012, 'The efficiency of tannin as a formaldehyde scavenger chemical in medium density fiberboard', *Composites Part B: Engineering*, vol. 43, no. 5, pp. 2487–2491.
- Borrega, M & Gibson, LJ 2015, 'Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood', *Mechanics of Materials*, vol. 84, pp. 75–90.
- Botterman, B, La Doudart de Grée, G, Hornikx, M, Yu, QL & Brouwers, H 2018, 'Modelling and optimization of the sound absorption of wood-wool cement boards', *Applied Acoustics*, vol. 129, pp. 144–154.
- Boubel, A, Garoum, M, Bousshine, S & Bybi, A 2021, 'Investigation of loose wood chips and sawdust as alternative sustainable sound absorber materials', *Applied Acoustics*, vol. 172, p. 107639.
- Bradshaw, RH & Sykes, MT 2014, *Ecosystem dynamics: From the past to the future*, Wiley-Blackwell.

- Brombacher, V, Michel, F, Niemz, P & Volkmer, T 2012, 'Untersuchungen zu Wärmeleitfähigkeit und Feuchteverhalten von Holzfaserverplatten und Materialkombinationen', *Bauphysik*, vol. 34, no. 4, pp. 157–169.
- Buyuksari, U, Ayrilmis, N, Avci, E & Koc, E 2010, 'Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (*Pinus pinea* L.) cones', *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 1, pp. 255–259.
- Byrne, CE & Nagle, DC 1997, 'Carbonization of wood for advanced materials applications', *Carbon*, vol. 35, no. 2, pp. 259–266.
- Camara, T, Kamsu-Foguem, B, Diourte, B, Faye, JP & Hamadoun, O 2018, 'Management of acoustic risks for buildings near airports', *Ecological Informatics*, vol. 44, pp. 43–56.
- Cao, Y, Sun, G, Zhai, X, Xu, P, Ma, L, Deng, M, Zhao, Z, Yang, H, Dong, Y, Shang, Z, Lv, Y, Yan, L, Liu, H, Cao, X, Li, B, Wang, Z, Zhao, X, Yu, H, Wang, F, Ma, W, Huang, J & Fan, G 2021, 'Genomic insights into the fast growth of paulownias and the formation of Paulownia witches' broom', *Molecular plant*, vol. 14, no. 10, pp. 1668–1682.
- Carson, JK, Lovatt, SJ, Tanner, DJ & Cleland, AC 2005, 'Thermal conductivity bounds for isotropic, porous materials', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 48, no. 11, pp. 2150–2158.
- Chen, H, Sun, G & Zhang, S 2006, 'Harmful effects of formaldehyde and measures for reducing formaldehyde emission from wood-based panels', *China Wood Ind* 2006, pp. 32–33.
- Chiarini, A, Micucci, M, Malaguti, M, Budriesi, R, Ioan, P, Lenzi, M, Fimognari, C, Gallina Toschi, T, Comandini, P & Hrelia, S 2013, 'Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) bark extract: cardiovascular activity and myocyte protection against oxidative damage', *Oxidative medicine and cellular longevity*, vol. 2013, p. 471790.
- Crawshaw, R 2003, 'Co-product feeds: animal feeds from the food and drinks industries R Crawshaw Nottingham University Press, Nottingham, 2001 pp 285, price £30.00 (paperback) ISBN 1-897676-35-2', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 83, no. 4, p. 362.
- Dance, S & Herwin, P 2013, 'Straw bale sound insulation: Blowing away the chaff', *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 133, no. 5, p. 3226.
- Danihelová, A, Němec, M, Gergel, T, Gejdoš, M, Gordanová, J & Ščensný, P 2019, 'Usage of Recycled Technical Textiles as Thermal Insulation and an Acoustic Absorber', *Sustainability*, vol. 11, no. 10, p. 2968.
- Dela Justina, M, Rodrigues Bagnolin Muniz, B, Mattge Bröring, M, Costa, VJ & Skoronski, E 2018, 'Using vegetable tannin and polyaluminium chloride as coagulants for dairy wastewater treatment: A comparative study', *Journal of Water Process Engineering*, vol. 25, pp. 173–181.
- Deverell, R, Goodhew, S, Griffiths, R & Wilde, P de 2009, 'The noise insulation properties of non-food-crop walling for schools and colleges: A case study', *Journal of Building Appraisal*, vol. 5, no. 1, pp. 29–40.
- Dhir, RK, Ghataora, GS & Lynn, CJ 2017, *Sustainable construction materials. Sewage sludge ash*, Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier, Duxford, Cambridge, MA.
- Dogu, D, Tuncer, FD, Bakir, D & Candan, Z 2017, 'Characterizing Microscopic Changes of Paulownia Wood under Thermal Compression', *Bioresources* 2017, pp. 5279–5295.
- Dooley, JH, Lanning, DN & Lanning, CJ 2013, 'Woody biomass size reduction with selective material orientation', *Biofuels*, vol. 4, no. 1, pp. 35–43.

- Dukarska, D, Pędzik, M, Rogozińska, W, Rogoziński, T & Czarnecki, R 2021, 'Characteristics of straw particles of selected grain species purposed for the production of lignocellulose particleboards', *Particulate Science and Technology*, vol. 39, no. 2, pp. 213–222.
- Dumont, E, Andrès, Y, Le Cloirec, P & Gaudin, F 2008, 'Evaluation of a new packing material for H₂S removed by biofiltration', *Biochemical Engineering Journal*, vol. 42, no. 2, pp. 120–127.
- Dunky, M & Niemz, P 2002, *Holzwerkstoffe und Leime*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, s.l. Available from: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/hsfurtwangen/detail.action?docID=6296128>.
- Ebnesajjad, S & Lanck, AH, *Adhesives Technology Handbook (Third Edition)*, William Andrew Publishing.
- Echard, J-P, Bertrand, L, Bohlen, A von, Le Hô, A-S, Paris, C, Bellot-Gurlet, L, Soulier, B, Lattuati-Derieux, A, Thao, S, Robinet, L, Lavédrine, B & Vaiedelich, S 2010, 'The nature of the extraordinary finish of Stradivari's instruments', *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, vol. 49, no. 1, pp. 197–201.
- Einspahr, DW & Harder, M 1976, 'Hardwood bark properties important to the manufacture of fiber products', *Forest Products Journal* 1976, pp. 28–31.
- Esteves, B, Cruz-Lopes, L, Viana, H, Ferreira, J, Domingos, I & Nunes, LJR 2022, 'The Influence of Age on the Wood Properties of Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud', *Forests*, vol. 13, no. 5, p. 700.
- Eusebio, D, Yamauchi, H, Sasaki, H. & Kawai, S (eds.) 1996, *Bark cement composites*.
- Feng, S, Cheng, S, Yuan, Z, Leitch, M & Xu, C 2013, 'Valorization of bark for chemicals and materials: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 560–578.
- Feng, Y, Cui, L, Zhao, Y, Qiao, J, Wang, B, Yang, C, Zhou, H & Chang, D 2020, 'Comprehensive Selection of the Wood Properties of Paulownia Clones Grown in the Hilly Region of Southern China', *Bioresources* 2020, pp. 1098–1111.
- Ferreira, AM, Martins, J, Carvalho, LH & Magalhães, FD 2019, 'Biosourced Disposable Trays Made of Brewer's Spent Grain and Potato Starch', *Polymers*, vol. 11, no. 5.
- Filbakk, T, Jirjis, R, Nurmi, J & Høibø, O 2011, 'The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets', *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 8, pp. 3342–3349.
- Fillaudeau, L, Blanpain-Avet, P & Daufin, G 2006, 'Water, wastewater and waste management in brewing industries', *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, no. 5, pp. 463–471.
- Finger, M 2023, *Balsaholz (Ochroma pyramidale)*. Available from: <http://www.holzwurm-page.de/holzarten/holzart/balsaholz.htm> [07 April 2023].
- Fiorelli, J, Ramos, RD, Sayama, JT, Barrero, NG & Palone, EDJA 2014, 'Particleboards with waste wood from reforestation', *Acta Scientiarum. Technology*, vol. 36, no. 2, p. 251.
- Forest Products Laboratory 1999, *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*, Madison, WI, USA.
- Fraga-Corral, M, García-Oliveira, P, Pereira, AG, Lourenço-Lopes, C, Jimenez-Lopez, C, Prieto, MA & Simal-Gandara, J 2020, 'Technological Application of Tannin-Based Extracts', *Molecules (Basel, Switzerland)*, vol. 25, no. 3.
- Frihart, CR, Wescott, JM, Chaffee, TL & Gonner, KM 2012, 'Formaldehyde Emissions from Urea-Formaldehyde- and No-Added-Formaldehyde-Bonded Particleboard as Influenced by Temperature and Relative Humidity', *Forest Products Journal*, vol. 62, 7-8, pp. 551–558.

- Frybort, S, Mauritz, R, Teischinger, A & Müller, U 2008, 'Cement bonded composites - A mechanical review', *Bioresources* 2008, pp. 602–626.
- Gao, Z, Wang, X, Wan, H & Brunette, G 2011, 'Binderless panels made with black spruce bark', *Bioresources* 2011, pp. 3960–3972.
- Garcez, MR, Garcez, EO, Machado, AO & Gatto, DA 2016, 'Cement-Wood Composites: Effects of Wood Species, Particle Treatments and Mix Proportion', *International Journal of Composite Materials*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8.
- Ghaffarianhoseini, A, AlWaer, H, Omrany, H, Ghaffarianhoseini, A, Alalouch, C, Clements-Croome, D & Tookey, J 2018, 'Sick building syndrome: are we doing enough?', *Architectural Science Review*, vol. 61, no. 3, pp. 99–121.
- Giannotas, G, Kamperidou, V & Barboutis, I 2021, 'Tree bark utilization in insulating bio-aggregates: a review', *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, vol. 15, no. 6, pp. 1989–1999.
- Gibson, LJ & Ashby, MF 2001, *Cellular solids. Structure and properties*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Gong, D, Nadolski, S, Sun, C, Klein, B & Kou, J 2018, 'The effect of strain rate on particle breakage characteristics', *Powder Technology*, vol. 339, pp. 595–605.
- Gößwald, J, Barbu, M-C, Petutschnigg, A & Tudor, EM 2021, 'Binderless Thermal Insulation Panels Made of Spruce Bark Fibres', *Polymers*, vol. 13, no. 11.
- Grohe, B 2004, 'Heat conductivities of insulation mats based on water glass bonded non-textile hemp or flax fibres', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 62, no. 5, pp. 352–357.
- Grosser, D 2007, *Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas*, Kessel, Remagen.
- Guo, M & Wang, G 2016, 'Milk Protein Polymer and Its Application in Environmentally Safe Adhesives', *Polymers*, vol. 8, no. 9.
- Gupta, G, Yan, N & Feng, MW 2011, 'Effects of Pressing Temperature and Particle Size on Bark Board Properties Made from Beetle-Infested Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) Barks', *Forest Products Journal*, vol. 61, no. 6, pp. 478–488.
- Gupta, M, Yang, J & Roy, C 2003, 'Specific heat and thermal conductivity of softwood bark and softwood char particles☆', *Fuel*, vol. 82, no. 8, pp. 919–927.
- Harrison, M 2004, 'Exterior noise: assessment and control' in *Vehicle Refinement*, Elsevier, pp. 74–144.
- Hassani, P, Soltani, P, Ghane, M & Zarrebini, M 2021, 'Porous resin-bonded recycled denim composite as an efficient sound-absorbing material', *Applied Acoustics*, vol. 173, p. 107710.
- HATHWAY, DE 1962, 'The Condensed Tannins' in *Wood Extractives and their Significance to the Pulp and Paper Industries*, Elsevier, pp. 191–228.
- Heinzmann, B & Barbu, MC 2013, 'Untersuchungen zur Steigerung der Wertschöpfung von Rinde durch Verpressen zu Plattenklotzen', *Holztechnologie* 2013, pp. 25–32.
- Herzog, A, Kerschbaumer, T, Schwarzenbrunner, R, Barbu, M-C, Petutschnigg, A & Tudor, EM 2021, 'Efficiency of High-Frequency Pressing of Spruce Laminated Timber Bonded with Casein Adhesives', *Polymers*, vol. 13, no. 23.

- Hofstrand, AD, Moslemi, A, Garcia, J & Curing, F 1984, 'characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement', *Forest Products Journal* 1984, pp. 57–61.
- Hoong, YB, Paridah, MT, Loh, YF, Koh, MP, Luqman, CA & Zaidon, A 2010, 'Acacia mangium Tannin as Formaldehyde Scavenger for Low Molecular Weight Phenol-Formaldehyde Resin in Bonding Tropical Plywood', *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 24, 8-10, pp. 1653–1664.
- Hosseini Fouladi, M, Ayub, M & Jailani Mohd Nor, M 2011, 'Analysis of coir fiber acoustical characteristics', *Applied Acoustics*, vol. 72, no. 1, pp. 35–42.
- Huber, C, Moog, D, Stingl, R, Pramreiter, M, Stadlmann, A, Baumann, G, Praxmarer, G, Gutmann, R, Eisler, H & Müller, U 2023, 'Paulownia (*Paulownia elongata* S.Y.Hu) – importance for forestry and a general screening of technological and material properties', *Wood Material Science & Engineering*, pp. 1–13.
- Igaz, R, Krišťák, L, Ružiak, I, Gajtanska, M & Kučerka, M 2017, 'Thermophysical properties of OSB boards versus equilibrium moisture content', *Bioresources* 2017, pp. 8106–8118.
- Isolith 2023, *Wood-Wool Cement Bonded Boards*. Available from: <http://www.isolith.com/> [02 August 2023].
- Izawa, K, Amino, Y, Kohmura, M, Ueda, Y & Kuroda, M 2010, 'Human–Environment Interactions – Taste' in *Comprehensive Natural Products II*, Elsevier, pp. 631–671.
- Jakubowski, M 2022, 'Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review', *Forests*, vol. 13, no. 5, p. 668.
- Jensen, JB 2016, *An Investigation into the Suitability of Paulownia as an Agroforestry Species for UK & NW European Farming Systems. Master's Dissertation.*, Coventry, UK.
- Jensen, MS & Alfieri, PV 2021, 'Design and manufacture of insulation panels based on recycled lignocellulosic waste', *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 3, p. 100111.
- Jiang, W, Adamopoulos, S, Hosseinpourpia, R, Žigon, J, Petrič, M, Šernek, M & Medved, S 2020, 'Utilization of Partially Liquefied Bark for Production of Particleboards', *Applied Sciences*, vol. 10, no. 15, p. 5253.
- Jonsson, R 2010, *Jonsson, R. 2010: Econometric modelling. pp 33-45 in: Mantau, U. et al. 2010: EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology report. Hamburg/Germany, June 2010. 165 p, Unpublished.*
- Joščák, M, Sonderegger, W, Niemz, P, Schnider, T, Oppikofer, R & Lammar, L 2012, 'Einfluss von Hohlräumen auf die Wärmeleitfähigkeit von ausgewählten Holzwerkstoffen für den Baueinsatz', *Bauphysik*, vol. 34, no. 1, pp. 32–37.
- Kadlec, J, Novosadová, K & Pokorný, R 2022, 'Impact of Different Pruning Practices on Height Growth of Paulownia Clon in Vitro 112®', *Forests*, vol. 13, no. 2, p. 317.
- Kain, G, Barbu, M-C, Teischinger, A, Musso, M & Petutschnigg, A 2012, 'Substantial Bark Use as Insulation Material', *Forest Products Journal*, vol. 62, no. 6, pp. 480–487.
- 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', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 72, no. 4, pp. 417–424.

- Kain, G, Lienbacher, B, Barbu, M-C, Senck, S & Petutschnigg, A 2018, 'Water vapour diffusion resistance of larch (*Larix decidua*) bark insulation panels and application considerations based on numeric modelling', *Construction and Building Materials*, vol. 164, pp. 308–316.
- Kain, G, Tudor, E, Dettendorfer, A & Barbu, M-C 2020, 'Potenzial von Baumrinde für den Einsatz als Schallabsorptionsmaterial', *Bauphysik*, vol. 42, no. 3, pp. 124–130.
- Kain, G, Tudor, EM & Barbu, M-C 2020, 'Bark Thermal Insulation Panels: An Explorative Study on the Effects of Bark Species', *Polymers*, vol. 12, no. 9.
- Kairyte, A, Kremensas, A, Balčiūnas, G, Matulaitienė, I, Członka, S & Sienkiewicz, N 2020, 'Evaluation of self-thermally treated wood plastic composites from wood bark and rapeseed oil-based binder', *Construction and Building Materials*, vol. 250, p. 118842.
- Kalaycioglu, H, Deniz, I & Hiziroglu, S 2005, 'Some of the properties of particleboard made from paulownia', *Journal of Wood Science*, vol. 51, no. 4, pp. 410–414.
- Kamke, FA (ed.) 2004, *Solid Wood Products / Wood-based Composites and Panel Products*, Elsevier, London, UK.
- Karade, SR 2015, 'Potential of Cork Cement Composite as a Thermal Insulation Material', *Key Engineering Materials*, vol. 666, pp. 17–29.
- Karade, SR, Irle, M & Maher, K 2006, 'Influence of granule properties and concentration on cork-cement compatibility', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 64, no. 4, pp. 281–286.
- Karlinasari, L, Hermawan, D, Maddu, A, Martiandi, B & Hadi, YS 2012, 'Development of particleboard from tropical fast-growing species for acoustic panel', *Journal of Tropical Forest Science* 2012, pp. 64–69.
- Kawasaki, T & Kawai, S 2006, 'Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors', *Journal of Wood Science*, vol. 52, no. 1, pp. 75–83.
- Kaymakci, A, Bektas, I & Bal, BC, 'Some mechanical properties of Paulownia (*Paulownia elongata*) wood. International Caucasian Symposium' in , pp. 917–920.
- Kindermann, G, McCallum, I, Fritz, S & Obersteiner, M 2008, 'A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics', *Silva Fennica*, vol. 42, no. 3.
- Klímek, P, Wimmer, R, Kumar Mishra, P & Kúdela, J 2017, 'Utilizing brewer's-spent-grain in wood-based particleboard manufacturing', *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, pp. 812–817.
- Koleckar, V, Kubikova, K, Rehakova, Z, Kuca, K, Jun, D, Jahodar, L & Opletal, L 2008, 'Condensed and hydrolysable tannins as antioxidants influencing the health', *Mini reviews in medicinal chemistry*, vol. 8, no. 5, pp. 436–447.
- Koljo, B 1950, 'Einiges über die Wärmephänomene der Hölzer und Bäume', *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, vol. 69, no. 9, pp. 538–551.
- Koman, S & Feher, S 2020, 'Physical and mechanical properties of Paulownia clone in vitro 112', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 78, no. 2, pp. 421–423.
- Komán, S & Vityi, A 2017, 'Physical and mechanical properties of paulownia tomentosa wood planted in Hungaria', *Wood Res.* 2017, pp. 335–340.
- Konnerth, J, Gindl, W, Harm, M & Müller, U 2006, 'Comparing dry bond strength of spruce and beech wood glued with different adhesives by means of scarf- and lap joint testing method', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 64, no. 4, pp. 269–271.
- Konnerth, J, Müller, U, Gindl, W & Buksnowitz, C 2012, 'Reliability of wood adhesive bonds in a 50 year old glider construction', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 70, 1-3, pp. 381–384.

- Kotlarewski, NJ, Belleville, B, Gusamo, BK & Ozarska, B 2016, 'Mechanical properties of Papua New Guinea balsa wood', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 74, no. 1, pp. 83–89.
- Kristak, L, Ruziak, I, Tudor, EM, Barbu, MC, Kain, G & Reh, R 2021, 'Thermophysical Properties of Larch Bark Composite Panels', *Polymers*, vol. 13, no. 14.
- Krišťák, L, Igaz, R & Ružiak, I 2019, 'Applying the EDPS Method to the Research into Thermophysical Properties of Solid Wood of Coniferous Trees', *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2019, pp. 1–9.
- Krzyzowska, M, Tomaszewska, E, Ranoszek-Soliwoda, K, Bien, K, Orłowski, P, Celichowski, G & Grobelny, J 2017, 'Tannic acid modification of metal nanoparticles: possibility for new antiviral applications' in *Nanostructures for Oral Medicine*, Elsevier, pp. 335–363.
- Kusmierek, E & Chrzescijanska, E 2015, 'Tannic acid as corrosion inhibitor for metals and alloys', *Materials and Corrosion*, vol. 66, no. 2, pp. 169–174.
- Lachowicz, H & Giedrowicz, A 2020, 'Charakterystyka jakości technicznej drewna paulowni COTE–2'. *Sylwan* 164 (5): 414–423.
- Lee, SH, Lum, WC, Boon, JG, Kristak, L, Antov, P, Pędzik, M, Rogoziński, T, Taghiyari, HR, Lubis, MAR, Fatriasari, W, Yadav, SM, Chotikhun, A & Pizzi, A 2022, 'Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: a review', *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 20, pp. 4630–4658.
- Li, M, Khelifa, M & El Ganaoui, M 2017, 'Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates', *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 6, no. 2, pp. 587–596.
- Liao, J, Brosse, N, Pizzi, A, Hoppe, S, Zhou, X & Du, G 2020, 'Characterization and 3D printability of poly (lactic acid)/acetylated tannin composites', *Industrial Crops and Products*, vol. 149, p. 112320.
- Liiri, O, Sairanen, H, Kilpeläinen, H & Kivistö, A 1982, 'Bark extractives from spruce as constituents of plywood bonding agents', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 40, no. 2, pp. 51–60.
- Lin, X, Silsbee, MR, Roy, DM, Kessler, K & Blankenhorn, PR 1994, 'Approaches to improve the properties of wood fiber reinforced cementitious composites', *Cement and Concrete Research*, vol. 24, no. 8, pp. 1558–1566.
- López, F, Pérez, A, Zamudio, MA, Alva, HE de & García, JC 2012, 'Paulownia as raw material for solid biofuel and cellulose pulp', *Biomass and Bioenergy*, vol. 45, pp. 77–86.
- Lu, Y & Shi, Q 1995, 'Larch tannin adhesive for particleboard', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 53, no. 1, pp. 17–19.
- Lucas-Borja, ME, Wic-Baena, C, Moreno, JL, Dadi, T, García, C & Andrés-Abellán, M 2011, 'Microbial activity in soils under fast-growing Paulownia (*Paulownia elongata* x *fortunei*) plantations in Mediterranean areas', *Applied Soil Ecology*, vol. 51, pp. 42–51.
- Lynch, KM, Steffen, EJ & Arendt, EK 2016, 'Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health', *Journal of the Institute of Brewing*, vol. 122, no. 4, pp. 553–568.
- Madurwar, MV, Ralegaonkar, RV & Mandavgane, SA 2013, 'Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review', *Construction and Building Materials*, vol. 38, pp. 872–878.
- Magar, LB, Khadka, S, Joshi, JRR, Pokharel, U, Rana, N, Thapa, P, Sharma, KRSR, Khadka, U, Marasini, BP & Parajuli, N 2018, 'Total Biomass Carbon Sequestration Ability Under the Changing

- Climatic Condition by Paulownia tomentosa Steud', *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, vol. 6, no. 3, pp. 220–226.
- Mair, C & Stern, T 2017, 'Cascading Utilization of Wood: a Matter of Circular Economy?', *Current Forestry Reports*, vol. 3, no. 4, pp. 281–295.
- Maloney, TM 1993, *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*, Miller Freeman, San Francisco.
- Mansilla, C, Pradena, M, Fuentealba, C & César, A 2020, 'Evaluation of Mechanical Properties of Concrete Reinforced with Eucalyptus globulus Bark Fibres', *Sustainability*, vol. 12, no. 23, p. 10026.
- McGann, TCA & Fox, PF 1974, 'Physico-chemical properties of casein micelles reformed from urea-treated milk', *Journal of Dairy Research*, vol. 41, no. 1, pp. 45–53.
- Medved, S, Tudor, EM, Barbu, MC, Jambrekočić, V & Španić, N 2019, 'Effect of Pine (Pinus Sylvestris) Bark Dust on Particleboard Thickness Swelling and Internal Bond', *Drvna industrija*, vol. 70, no. 2, pp. 141–147.
- Meng, M & Hong, W 2017, 'Mathematical Model for the Formaldehyde Emission from Wood Composites', *Forest Products Journal*, vol. 67, 1-2, pp. 126–134.
- Merabti, S, Kenai, S, Belarbi, R & Khatib, J 2021, 'Thermo-mechanical and physical properties of waste granular cork composite with slag cement', *Construction and Building Materials*, vol. 272, p. 121923.
- Mitani, A & Barboutis, I 2008, 'Bonding strength of polyvinyl acetate (PVAc) and casein adhesives in small diameter beech wood', *Biological Diversity and Conservation* 2008, pp. 36–40.
- Molnár, Z, Magoss, E, Fuchs, I & Csiha, C 2018, 'Stability of thermosmoothed and precision planed solid wood surfaces', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 76, no. 1, pp. 243–249.
- Montes González, D, Barrigón Morillas, JM, Godinho, L & Amado-Mendes, P 2018, 'Acoustic screening effect on building façades due to parking lines in urban environments. Effects in noise mapping', *Applied Acoustics*, vol. 130, pp. 1–14.
- Moreno, JL, Bastida, F, Ondoño, S, García, C, Andrés-Abellán, M & López-Serrano, FR 2017, 'Agro-forestry management of Paulownia plantations and their impact on soil biological quality: The effects of fertilization and irrigation treatments', *Applied Soil Ecology*, 117-118, pp. 46–56.
- Morris, H & Jansen, S 2016, *Bark, its anatomy, function and diversity*.
- Moslemi, AA & Lim, YT 1984, 'Compatibility of southern hardwoods with Portland cement', *Forest Products Journal* 1984, pp. 22–26.
- Mueller, N, Rojas-Rueda, D, Khreis, H, Cirach, M, Andrés, D, Ballester, J, Bartoll, X, Daher, C, Deluca, A, Echave, C, Milà, C, Márquez, S, Palou, J, Pérez, K, Tonne, C, Stevenson, M, Rueda, S & Nieuwenhuijsen, M 2020, 'Changing the urban design of cities for health: The superblock model', *Environment international*, vol. 134, p. 105132.
- Mussatto, SI & Roberto, IC 2005, 'Acid hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain to produce xylitol', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 85, no. 14, pp. 2453–2460.
- Nemli, G, Gezer, ED, Yildiz, S, Temiz, A & Aydin, A 2006, 'Evaluation of the mechanical, physical properties and decay resistance of particleboard made from particles impregnated with Pinus brutia bark extractives', *Bioresource Technology*, vol. 97, no. 16, pp. 2059–2064.
- Nopens, M, Sazama, U, Krause, A & Fröba, M 2021, 'Specific heat capacity of wood between –140 and 50 °C in dry and wet state', *Holzforschung*, vol. 75, no. 9, pp. 779–785.

- Özgenç, Ö, Durmaz, S & Kuştaş, S 2017, 'Chemical analysis of the tree bark using ATR-FTIR spectroscopy and conventional techniques', *Bioresources* 2017, pp. 9143–9151.
- Özvural, EB, Vural, H, Gökbulut, İ & Özboy-Özbaş, Ö 2009, 'Utilization of brewer's spent grain in the production of Frankfurters', *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 44, no. 6, pp. 1093–1099.
- Pacher, T, Barbu, MC, Urstöger, J, Petutschnigg, A & Tudor, EM 2022, 'Fire Retardancy of Cementitious Panels with Larch and Spruce Bark as Bio-Admixtures', *Polymers*, vol. 14, no. 7.
- Papadopoulos, AM 2005, 'State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments', *Energy and Buildings*, vol. 37, no. 1, pp. 77–86.
- Papadopoulos, AN 2006, 'Experimental Particleboard Made from Wood-Bark Mixtures and Bonded with EMDI Resin', *Journal of the Institute of Wood Science*, vol. 17, no. 4, pp. 223–224.
- Pasiecznik, N 2022, 'Paulownia tomentosa (paulownia)', *CABI Compendium*, CABI Compendium.
- Pasztory, Z, Ronyecz-Mohacsine, I, Gorbacheva, G & Börcsök, Z 2016, 'The utilization of tree bark', *Bioresources* 2016, pp. 7859–7888.
- Pásztory, Z, Halász, K & Börcsök, Z 2019, 'Formaldehyde Adsorption-Desorption of Poplar Bark', *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, vol. 103, no. 5, pp. 745–749.
- Pásztory, Z, Ronyecz Mohácsiné, I & Börcsök, Z 2017, 'Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark', *Construction and Building Materials*, vol. 147, pp. 733–735.
- Paulitsch, M & Barbu, MC 2015, *Holzwerkstoffe der Moderne*, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- Pedieu, R, Riedl, B & Pichette, A 2009, 'Properties of mixed particleboards based on white birch (*Betula papyrifera*) inner bark particles and reinforced with wood fibres', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 67, no. 1, pp. 95–101.
- Pedroso, M, Brito, J de & Silvestre, JD 2017, 'Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative)', *Construction and Building Materials*, vol. 140, pp. 221–228.
- Pellegrini, AFA, Anderegg, WRL, Paine, CET, Hoffmann, WA, Kartzinel, T, Rabin, SS, Sheil, D, Franco, AC & Pacala, SW 2017, 'Convergence of bark investment according to fire and climate structures ecosystem vulnerability to future change', *Ecology letters*, vol. 20, no. 3, pp. 307–316.
- Pelz, S 2002, *Eigenschaften und Verwendung des Holzes der Europäischen Lärche (Larix decidua MILL.) unter besonderer Berücksichtigung des Reaktionsholzes*.
- Peng, L 2017, 'Sound absorption and insulation functional composites' in *Advanced high strength natural fibre composites in construction*, eds M Fan & F Fu, Elsevier/Woodhead Publishing, Amsterdam, pp. 333–373.
- Pereira, C, Caldeira Jorge, F, Irle, M & Ferreira, JM 2006, 'Characterizing the setting of cement when mixed with cork, blue gum, or maritime pine, grown in Portugal I: temperature profiles and compatibility indices', *Journal of Wood Science*, vol. 52, no. 4, pp. 311–317.
- Pereira, H 2007, *Cork. Biology, production and uses*, Elsevier, Amsterdam, Heidelberg.
- Pereira, H 2015, 'The Rationale behind Cork Properties: A Review of Structure and Chemistry', *Bioresources*, vol. 10, no. 3.
- Petrović, EK, Vale, B & Pedersen Zari, M 2017, *Materials for a healthy, ecological and sustainable built environment. Principles for evaluation*, WP Woodhead Publishing an imprint of Elsevier, Duxford, Cambridge, Kidlington.

- Pizzi, A 2008, 'Tannins: Major Sources, Properties and Applications' in *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, Elsevier, pp. 179–199.
- Pizzi, A 2014, 'Types, processing and properties of bioadhesives for wood and fibers' in *Advances in Biorefineries*, Elsevier, pp. 736–770.
- Pizzi, A 2018, *Wood Adhesives*, CRC Press.
- Potkány, M, Gejdoš, M & Debnár, M 2018, 'Sustainable Innovation Approach for Wood Quality Evaluation in Green Business', *Sustainability*, vol. 10, no. 9, p. 2984.
- Prasad, RK, Chatterjee, S, Mazumder, PB, Gupta, SK, Sharma, S, Vairale, MG, Datta, S, Dwivedi, SK & Gupta, DK 2019, 'Bioethanol production from waste lignocelluloses: A review on microbial degradation potential', *Chemosphere*, vol. 231, pp. 588–606.
- Raak, N & Corredig, M 2022, 'Caseins, Caseinates and Micellar Casein' in *Encyclopedia of Dairy Sciences*, Elsevier, pp. 8–17.
- Ragland, KW, Aerts, DJ & Baker, AJ 1991, 'Properties of wood for combustion analysis', *Bioresource Technology*, vol. 37, no. 2, pp. 161–168.
- Rebolledo, P, Cloutier, A & Yemele, M-C 2018, 'Effect of Density and Fiber Size on Porosity and Thermal Conductivity of Fiberboard Mats', *Fibers*, vol. 6, no. 4, p. 81.
- Réh, R, Igaz, R, Krišťák, Ľ, Ružiak, I, Gajtanska, M, Božíková, M & Kučerka, M 2019, 'Functionality of Beech Bark in Adhesive Mixtures Used in Plywood and Its Effect on the Stability Associated with Material Systems', *Materials (Basel, Switzerland)*, vol. 12, no. 8.
- Reifsnyder, WE, Herrington, LP & Splat, KW 1967, 'Thermophysical Properties of Bark of Shortleaf, Longleaf, and Red Pine', *Yale School of Forestry & Environmental Studies Bulletin Series* 1967.
- Richter, K & Ehmcke, G 2017, 'Das Holz der Fichte-Eigenschaften und Verwendung', *LWF Wissen* 2017, pp. 117–124.
- Rodríguez-Seoane, P, Díaz-Reinoso, B, Moure, A & Domínguez, H 2020, 'Potential of Paulownia sp. for biorefinery', *Industrial Crops and Products*, vol. 155, p. 112739.
- Rosell, JA 2016, 'Bark thickness across the angiosperms: more than just fire', *The New phytologist*, vol. 211, no. 1, pp. 90–102.
- Rudolphi, A & Gellert, Roland 2008, *Insulating Materials. Principles, Materials, Applications*, De Gruyter, Basel. Available from:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=642009>.
- Saal, U, Weimar, H & Mantau, U 2019, 'Wood Processing Residues', *Advances in biochemical engineering/biotechnology*, vol. 166, pp. 27–41.
- Saha, P, Manna, S, Chowdhury, SR, Sen, R, Roy, D & Adhikari, B 2010, 'Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment', *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 9, pp. 3182–3187.
- Salem, M, Böhm, M & Nasser, R 2017, 'Measuring the Formaldehyde Content from Different Types of Oriented Strand Board Manufactured with Different Thicknesses and Glued with Different Resins', *Drvna industrija*, vol. 68, no. 2, pp. 173–178.
- Salem, MZ, Böhm, M, Srba, J & Beránková, J 2012, 'Evaluation of formaldehyde emission from different types of wood-based panels and flooring materials using different standard test methods', *Building and Environment*, vol. 49, pp. 86–96.

- Salit, MS 2014, 'Tropical Natural Fibres and Their Properties' in *Tropical Natural Fibre Composites. Properties, Manufacture and Applications*, ed MS Salit, Springer Singapore, Singapore, s.l., pp. 15–38.
- Salthammer, T, Mentese, S & Marutzky, R 2010, 'Formaldehyde in the indoor environment', *Chemical reviews*, vol. 110, no. 4, pp. 2536–2572.
- Sandermann, W & Brendel, M 1956, 'Studien über mineralgebundene Holzwerkstoffe—Zweite Mitteilung: Die „zementvergiftende“ Wirkung von Holzinhaltsstoffen und ihre Abhängigkeit von der chemischen Konstitution', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 14, no. 8, pp. 307–313.
- Sari, NH, Wardana, ING, Irawan, YS & Siswanto, E 2016, 'Physical and Acoustical Properties of Corn Husk Fiber Panels', *Advances in Acoustics and Vibration*, vol. 2016, pp. 1–8.
- Sarode, AR, Sawale, PD, Khedkar, CD, Kalyankar, SD & Pawshe, RD 2016, 'Casein and Caseinate: Methods of Manufacture' in *Encyclopedia of Food and Health*, Elsevier, pp. 676–682.
- Schiavoni, S, D'Alessandro, F, Bianchi, F & Asdrubali, F 2016, 'Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, pp. 988–1011.
- Schnabel, T, Barbu, MC, Tudor, EM & Petutschnigg, A 2021, 'Changing in Larch Sapwood Extractives Due to Distinct Ionizing Radiation Sources', *Materials (Basel, Switzerland)*, vol. 14, no. 7.
- Schunk, C, Treml, S & Tröger, F 2009, 'Lose Dämmstoffe aus Holz – Wärmeleitfähigkeit von speziell hergestellten Frässpänen ausgewählter Holzarten', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 67, no. 4.
- Schwarzenbrunner, R, Barbu, MC, Petutschnigg, A & Tudor, EM 2020, 'Water-Resistant Casein-Based Adhesives for Veneer Bonding in Biodegradable Ski Cores', *Polymers*, vol. 12, no. 8.
- Sedlar, T, Šefc, B, Drvodelić, D, Jambrekočić, B, Kućinić, M & Ištók, I 2020, 'Physical Properties of Juvenile Wood of Two Pau-lownia Hybrids', *Drv. Ind.* 2020, pp. 179–184.
- Shahab, F & Mohanty, AR 2011, 'Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials', *Applied Acoustics*, vol. 72, 2-3, pp. 108–114.
- Shield, B, Conetta, R, Dockrell, J, Connolly, D, Cox, T & Mydlarz, C 2015, 'A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England', *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 137, no. 1, pp. 177–188.
- Sieniawska, E & Baj, T 2017, 'Tannins' in *Pharmacognosy*, Elsevier, pp. 199–232.
- Skeist, I (ed.) 1990, *Handbook of Adhesives*, Springer US, Boston, MA.
- Snow, WA 2015, 'Ornamental, crop, or invasive? The history of the Empress tree (Paulownia) in the USA', *Forests, Trees and Livelihoods*, vol. 24, no. 2, pp. 85–96.
- Soltani, P & Zerrebini, M 2012, 'The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics', *Textile Research Journal*, vol. 82, no. 9, pp. 875–882.
- Sonderegger, W & Niemz, P 2012, 'Thermal and moisture flux in soft fibreboards', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 70, 1-3, pp. 25–35.
- Sonntag, F 2003, *Wandbauten mit Schalungssteinen aus Holzspanbeton*, Leipzig, Germany 2003.
- Statista 2023, *Worldwide beer production*. Available from: www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production [02 August 2023].

- Stojceska, V, Ainsworth, P, Plunkett, A & İbanog˘lu, S 2008, 'The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology', *Journal of Cereal Science*, vol. 47, no. 3, pp. 469–479.
- Stokke, DD, Wu, Q & Han, G 2014, *Introduction to wood and natural fiber composites*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Świechowski, K, Stegenta-Dąbrowska, S, Liszewski, M, Bąbelewski, P, Koziel, JA & Białowiec, A 2019, 'Oxytree Pruned Biomass Torrefaction: Process Kinetics', *Materials (Basel, Switzerland)*, vol. 12, no. 20.
- Taghiyari, HR, Miltz, H, Antov, P & Papadopoulos, AN 2021, 'Effects of Wollastonite on Fire Properties of Particleboard Made from Wood and Chicken Feather Fibers', *Coatings*, vol. 11, no. 5, p. 518.
- Takano, T, Murakami, T, Kamitakahara, H & Nakatsubo, F 2008, 'Formaldehyde adsorption by karamatsu (*Larix leptolepis*) bark', *Journal of Wood Science*, vol. 54, no. 4, pp. 332–336.
- Thelandersson, S (ed.) 2003, *Timber engineering*, Wiley, Chichester. Available from: <http://www.loc.gov/catdir/description/wiley0310/2002027217.html>.
- Thermo-Span 2023, *Thermo-Span Baustoffwerk*. Available from: <http://thermo-span.com/> [02 August 2023].
- Thiago, RdSM, Pedro, PMdM & Eliana, FCS 2014, 'Solid wastes in brewing process: A review', *Journal of Brewing and Distilling*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9.
- Tsalagkas, D, Börcsök, Z & Pásztor, Z 2019, 'Thermal, physical and mechanical properties of surface overlaid bark-based insulation panels', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 77, no. 5, pp. 721–730.
- Tu, J, Wang, B, McGrouther, K, Wang, H, Ma, T, Qiao, J & Wu, L 2017, 'Soil quality assessment under different *Paulownia fortunei* plantations in mid-subtropical China', *Journal of Soils and Sediments*, vol. 17, no. 9, pp. 2371–2382.
- Tudor, EM, Barbu, MC, Petutschnigg, A & Réh, R 2018, 'Added-value for wood bark as a coating layer for flooring tiles', *Journal of Cleaner Production*, vol. 170, pp. 1354–1360.
- Tudor, EM, Barbu, MC, Petutschnigg, A, Réh, R & Krišťák, Ľ 2020a, 'Analysis of Larch-Bark Capacity for Formaldehyde Removal in Wood Adhesives', *International journal of environmental research and public health*, vol. 17, no. 3.
- Tudor, EM, Dettendorfer, A, Kain, G, Barbu, MC, Réh, R & Krišťák, Ľ 2020b, 'Sound-Absorption Coefficient of Bark-Based Insulation Panels', *Polymers*, vol. 12, no. 5.
- Tudor, EM, Kristak, L, Barbu, MC, Gergel', T, Němec, M, Kain, G & Réh, R 2021, 'Acoustic Properties of Larch Bark Panels', *Forests*, vol. 12, no. 7, p. 887.
- Tudor, EM, Scheriau, C, Barbu, MC, Réh, R, Krišťák, Ľ & Schnabel, T 2020c, 'Enhanced Resistance to Fire of the Bark-Based Panels Bonded with Clay', *Applied Sciences*, vol. 10, no. 16, p. 5594.
- Tudor, EM, Zwickl, C, Eichinger, C, Petutschnigg, A & Barbu, MC 2020d, 'Performance of softwood bark comminution technologies for determination of targeted particle size in further upcycling applications', *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, p. 122412.
- Urstöger, J, Barbu, MC, Pacher, T, Petutschnigg, A, Jorda, J & Tudor, EM 2021, 'Selected Properties of Cement Bound Spruce and Larch Bark Bio-Aggregates', *Polymers*, vol. 13, no. 24.

- Vaickelionis, G & Vaickelioniene, R 2006, *Cement hydration in the presence of wood extractives and pozzolan mineral additives*, *Ceramics Silikaty*. Available from: Z:/Downloads/Cement_hydration_in_the_presence_of_wood_extractiv.pdf.
- Valentín, L, Kluczek-Turpeinen, B, Willför, S, Hemming, J, Hatakka, A, Steffen, K & Tuomela, M 2010, 'Scots pine (*Pinus sylvestris*) bark composition and degradation by fungi: potential substrate for bioremediation', *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 7, pp. 2203–2209.
- van Fan, Y, Klemeš, JJ, Perry, S & Lee, CT 2019, 'Anaerobic digestion of lignocellulosic waste: Environmental impact and economic assessment', *Journal of environmental management*, vol. 231, pp. 352–363.
- Vaucher, H 1990, *Baumrinden*, Enke, Stuttgart.
- Vázquez, G, Antorrena, G, González, J & Doval, MD 1994, 'Adsorption of heavy metal ions by chemically modified *Pinus pinaster* bark', *Bioresource Technology*, vol. 48, no. 3, pp. 251–255.
- Vázquez, G, González-Alvarez, J, Santos, J, Freire, MS & Antorrena, G 2009, 'Evaluation of potential applications for chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts', *Industrial Crops and Products*, vol. 29, 2-3, pp. 364–370.
- Wallerstein, I 2011, *The Modern World-System I. Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century*, University of California Press, Berkeley. Available from: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=714452>.
- Wang, X-M, Fang, H, Feng, M, Zhang, Y & Yan, N 2015, 'Manufacturing Medium-Density Particleboards from Wood–Bark Mixture and Different Adhesive Systems*', *Forest Products Journal*, vol. 65, 1-2, pp. 20–25.
- Wassilieff, C 1996, 'Sound absorption of wood-based materials', *Applied Acoustics*, vol. 48, no. 4, pp. 339–356.
- Wei, YM, Guang Zhou, Y & Tomita, B 2000, 'Hydration behavior of wood cement-based composite I: evaluation of wood species effects on compatibility and strength with ordinary portland cement', *Journal of Wood Science*, vol. 46, no. 4, pp. 296–302.
- Wiepking, CA & Doyle, DV 1960, *Strength and related properties of balsa and quipo woods*, Madison, USA. Available from: <https://ir.library.oregonstate.edu/concern/defaults/sx61dq95c?locale=en> [07 April 2023].
- Windeisen, E & Wegener, G 2003, 'Chemische Untersuchungen von Hochzucht-Lrchen', *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 61, no. 5, pp. 394–398.
- Wollenberg, R & Warnecke, C 2004, *Neue Einsatzgebiete für Rinden durch Produktentwicklung*. Available from: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A509903347/?msckid=be4c56bebbf811ec8ddb22a24ce5379c>.
- Worldometer 2022, *Weltpopulation*. Available from: <https://www.worldometers.info/de/?msckid=6d9a8013bbf711ec85788e3374154108> [14 April 2022].
- Xing, C, Deng, J & Zhang, SY 2007, 'Effect of thermo-mechanical refining on properties of MDF made from black spruce bark', *Wood Science and Technology*, vol. 41, no. 4, pp. 329–338.
- Xing, C, Deng, J, Zhang, SY, Riedl, B & Cloutier, A 2006a, 'Impact of bark content on the properties of medium density fibreboard (MDF) in four species grown in eastern Canada', *Forest Products Journal* 2006, pp. 64–69.

- Xing, C, Deng, J, Zhang, SY, Riedl, B & Cloutier, A 2006b, 'Impact of bark content on the properties of medium density fibreboard (MDF) in four species grown in eastern Canada', *Forest Products Journal* 2006, pp. 64–69.
- Xing, C, Deng, J, Zhang, SY, Riedl, B & Cloutier, A 2006c, 'Impact of bark content on the properties of medium density fibreboards from wood-bark mixture and different adhesive systems', *Forest Products Journal* 2006, pp. 64–69.
- Yadav, NK, Vaidya, BN, Henderson, K, Lee, JF, Stewart, WM, Dhekney, SA & Joshee, N 2013, 'A Review of Paulownia Biotechnology: A Short Rotation, Fast Growing Multipurpose Bioenergy Tree', *American Journal of Plant Sciences*, vol. 04, no. 11, pp. 2070–2082.
- Yamaguchi, N 2011, 'Screw Resistance' in *In Situ Assessment of Structural Timber*, eds B Kasal & T Tannert, Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 81–86.
- Yorgun, S, Yıldız, D & Şimşek, YE 2016, 'Activated carbon from paulownia wood: Yields of chemical activation stages', *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 38, no. 14, pp. 2035–2042.
- Zeppenfeld, G & Grunwald, D 2005, *Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie*, DRW-Verl., Leinfelden-Echterdingen.
- Zhang, J, Song, F, Tao, J, Zhang, Z & Shi, SQ 2018, 'Research Progress on Formaldehyde Emission of Wood-Based Panel', *International Journal of Polymer Science*, vol. 2018, pp. 1–8.