



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea Ingineria Lemnului

Ing. Karoly LENGYEL

Contribuții aduse tehnologiei de fabricare a plăcilor din aşchii de lemn (PAL) în vederea îmbunătățirii unor proprietăți ale acestora

Contributions to the manufacturing technology of wooden particleboards (PB) with a view to improving some of their properties

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Mihaela CÂMPEAN

BRAŞOV, 2019

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov
Nr. 9658 din 10.12.2018

- PREȘEDINTE: - Prof.dr. Mihai ISPAS
Decan Facultatea de Ingineria Lemnului
Universitatea Transilvania din Brașov
- CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: - Prof.dr. Mihaela CÂMPEAN
Universitatea Transilvania din Brașov
- REFERENȚI: - Prof.dr. Marius-Cătălin BARBU
Universitatea Transilvania din Brașov
- Conf.dr. Csilla CSIHA
Universitatea din Sopron (Ungaria)
- Cercet. șt. I Ionel POPA
Institutul de Cercetare-Dezvoltare în
Silvicultură "Marin Drăcea", București

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:

Data 12.02.2019 ora 11:00, sala L II 4

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa: campean@unitbv.ro

Totodată vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

MULȚUMIRI

Finalizarea prezentei teme reprezintă încununarea experienței profesionale acumulate în ultimii 30 de ani de la prima angajare în industria lemnului în 1988 la IPL Timișoara și până în prezent. Este rezultatul unei munci de echipă susținută în ultimii ani de niște oameni speciali.

În primul rând aș dori să mulțumesc conducătorului de doctorat, Prof.dr.ing. Mihaela Câmpean, cea care a fost un mentor științific de un profesionalism deosebit și sub îndrumarea căreia s-a elaborat prezenta lucrare.

Totodată pe această cale doresc să mulțumesc și conducerii firmei Kastamonu România pentru posibilitatea de a efectua cercetările pe platforma din Reghin, folosind liniile de producție respectiv echipamentele de laborator din incinta fabricii, și pentru suportul material acordat finalizării acestor cercetări industriale. Mulțumesc mult colegilor din producție și din laboratoarele fabricii pentru ajutorul maxim acordat în timpul efectuării testelor .

Doresc să mulțumesc colectivului de la Facultatea de Ingineria Lemnului din Brașov pentru îndrumările și implicarea pozitivă, din toți acești ani de studiu.

Nu în ultimul rând mulțumesc familiei mele pentru răbdarea și înțelegerea de care au dat dovadă în ultimii trei ani în care timpul liber și atenția care le reveneau de drept de multe ori au fost folosite în scopul finalizării acestui proiect.

Drd. Ing. Lengyel Karoly

Brașov, octombrie 2018

CUPRINS (Ib. română)

	Pg teză	Pg rezumat
LISTA DE NOTAȚII ȘI LISTA DE ABREVIERI	1	1
INDEX FIGURI	3	-
INDEX TABELE	7	-
INTRODUCERE	11	3
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘI TENDINȚE ÎN FABRICAREA PLĂCILOR DIN AȘCHII DE LEMN	16	4
1.1 Stadiul actual și tendințe în industria producătoare de plăci din așchii de lemn	16	4
1.1.1 Scurt istoric	17	4
1.1.2 Importanța economică în România	18	5
1.1.3 Industria fabricării PAL – prezent și tendințe	20	5
1.1.4 Direcții prioritare de dezvoltare	45	6
1.2 Cercetări recente privind posibilități de îmbunătățire a unor proprietăți ale plăcilor din așchii de lemn	46	7
1.2.1 Reducerea densității	48	7
1.2.2 Reducerea emisiei de formaldehidă	56	8
1.2.3 Îmbunătățirea proprietăților mecanice	60	10
1.2.4 Reducerea umflării în grosime și a absorbției de apă	60	11
1.3 Concluzii privind stadiul actual al cercetărilor. Oportunitatea alegerii temei	61	11
CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE TEZEI	62	12
CAPITOLUL 3. DEZVOLTAREA UNEI SOLUȚII TEHNOLOGICE PENTRU ÎNLOCUIREA EMULSIEI INDUSTRIALE DE PARAFINĂ DIN REȚETA PAL	65	14

3.1 Prezentarea situației actuale și a soluției de optimizare propuse	65	14
3.2 Implementarea soluției tehnologice propuse și evaluarea efectelor acesteia asupra proprietăților fizico-mecanice și asupra costului de fabricație al plăcilor	67	15
3.3 Concluzii	76	21
CAPITOLUL 4. CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE LA ÎMBUNĂȚĂȚIREA UNOR PROPRIETĂȚI ALE PLĂCILOR DIN AȘCHII DIN LEMN	78	23
4.1 Obiectiv	78	23
4.2 Planul experimental	78	23
4.3 Material, metodă, echipament	82	28
4.4 Rezultate experimentale privind proprietățile plăcilor cu densitate normală	91	29
4.4.1 Umiditatea și densitatea	91	29
4.4.2 Emisia și conținutul de formaldehidă	91	29
4.4.3 Umflarea în grosime după imersie în apă	93	31
4.4.4 Absorbția pe suprafață	95	32
4.4.5 Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate	96	33
4.4.6 Coeziunea internă	97	33
4.4.7 Rezistența la smulgerea suprafeței	99	-
4.4.8 Interpretarea rezultatelor. Discuții	99	34
4.4.8.1 Influența rețetei de materie primă lemnoasă	99	34
4.4.8.2 Influența grosimii plăcii	102	37
4.5 Rezultate experimentale privind proprietățile plăcilor cu densitate redusă, fără aditiv	103	39
4.5.1 Umiditatea și densitatea	103	-
4.5.2 Emisia și conținutul de formaldehidă	103	-
4.5.3 Umflarea în grosime după imersie în apă	104	-
4.5.4 Absorbția pe suprafață	105	-
4.5.5 Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate	105	-

4.5.6 Coeziunea internă	105	-
4.5.7 Rezistența la smulgerea suprafeței	106	-
4.5.8 Interpretarea rezultatelor. Discuții	106	39
4.6 Rezultate experimentale privind proprietățile plăcilor cu densitate redusă, cu aditiv	115	41
4.6.1 Umiditatea și densitatea	115	-
4.6.2 Emisia și conținutul de formaldehidă	116	-
4.6.3 Umflarea în grosime după imersie în apă	118	-
4.6.4 Absorbția pe suprafață	119	-
4.6.5 Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate	122	-
4.6.6 Coeziunea internă	125	-
4.6.7 Rezistența la smulgerea suprafeței	126	-
4.6.8 Interpretarea rezultatelor. Discuții	128	41
4.7 Elaborarea unui program de analiză comparativă a datelor experimentale obținute	131	44
4.8 Concluzii și recomandări pentru practica industrială	135	44
CAPITOLUL 5. CONSIDERAȚII ECONOMICE	136	46
CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	143	50
6.1 Concluzii generale	143	50
6.2 Contribuții originale	147	52
6.3 Diseminarea rezultatelor	147	53
6.4 Direcții viitoare de cercetare	149	53
BIBLIOGRAFIE	150	54
ANEXA 1. Scurt rezumat	158	60
ANEXA 2. Declarația de autenticitate	159	-
ANEXA 3. CV	160	61

CONTENTS (English)

	Pg thesis	Pg abstract
LIST OF NOTATIONS AND LIST OF ABBREVIATIONS.....	1	1
INDEX OF FIGURES	3	-
INDEX OF TABLES	7	-
INTRODUCTION	11	3
CHAPTER 1. STATE OF RESEARCH AND TRENDS IN PARTICLEBOARDS MANUFACTURE.....	16	4
1.1 Current state and trends in the particleboards industry.....	16	4
1.1.1 Brief history.....	17	4
1.1.2 Economic importance in Romania.....	18	5
1.1.3 Particleboards manufacturing industry - present and trends	20	5
1.1.4 Priority development directions.....	45	6
1.2 Recent research on the possibilities of improving the properties of particle boards.....	46	7
1.2.1 Density reduction.....	48	7
1.2.2 Reduction of formaldehyde emission.....	56	8
1.2.3 Improvement of mechanical properties.....	60	10
1.2.4 Reducing the swelling in thickness and water absorption	60	11
1.3 Conclusions regarding the present state of research. Opportunity of theme choice.....	61	11
CHAPTER 2. THESIS OBJECTIVES	62	12
CHAPTER 3. DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL SOLUTION FOR REPLACING THE INDUSTRIAL PARAFINE EMULSION FROM THE PARTICLEBOARD RECEIPE.....	65	14
3.1 Presentation of the current situation and the proposed optimization solution	65	14

3.2 Implementation of the proposed technological solution and assessment of its effects on the physical-mechanical properties and on the manufacturing cost of the boards	67	15
3.3 Conclusions	76	21
CHAPTER 4. EXPERIMENTAL CONTRIBUTIONS IN IMPROVING SOME PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS.....	78	23
4.1 Objective	78	23
4.2 The experimental plan	78	23
4.3 Material, method, equipment.....	82	28
4.4 4.4 Experimental results on the properties of normal density boards.....	91	29
4.4.1 Moisture content and density.....	91	29
4.4.2 Formaldehyde emission and content.....	91	29
4.4.3 Swelling in thickness after water immersion.....	93	31
4.4.4 Surface absorption.....	95	32
4.4.5 Bending strength and modulus of elasticity in bending	96	33
4.4.6 Internal bond.....	97	33
4.4.7 Surface soundness.....	99	-
4.4.8 Interpretation of results. Discussions.....	99	34
4.4.8.1 Influence of the woody recipe.....	99	34
4.4.8.2 Influence of the board thickness	102	37
4.5 Experimental results on the properties of low density boards without additive.....	103	39
4.5.1 Moisture content and density.....	103	-
4.5.2 Formaldehyde emission and content.....	103	-
4.5.3 Swelling in thickness after water immersion.....	104	-
4.5.4 Surface absorption.....	105	-
4.5.5 Bending strength and modulus of elasticity in bending	105	-
4.5.6 Internal bond.....	105	-
4.5.7 Surface soundness.....	106	-
4.5.8 Interpretation of results. Discussions.....	106	39

4.6 Experimental results on the properties of low density boards with additive.....	115	41
4.6.1 Moisture content and density.....	115	-
4.6.2 Formaldehyde emission and content.....	116	-
4.6.3 Swelling in thickness after water immersion.....	118	-
4.6.4 Surface absorption.....	119	-
4.6.5 Bending strength and modulus of elasticity in bending	122	-
4.6.6 Internal bond.....	125	-
4.6.7 Surface soundness.....	126	-
4.6.8 Interpretation of results. Discussions.....	128	41
4.7 Elaboration of a program for comparative analysis of the experimental data.....	131	44
4.8 Conclusions and recommendations for the industrial practice	135	44
CHAPTER 5. ECONOMIC CONSIDERATIONS.....	136	46
CHAPTER 6. GENERAL CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTIONS. DISSEMINATION OF RESULTS. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	143	50
6.1 General conclusions.....	143	50
6.2 Original contributions.....	147	52
6.3 Dissemination of results.....	147	53
6.4 Future research directions.....	149	53
BIBLIOGRAPHY	150	54
ANNEX 1. Short abstract	158	60
ANNEX 2. Declaration of authenticity.....	159	-
ANNEX 3. CV	160	61

LISTA DE NOTAȚII

Denumire parametru	Simbol utilizat în cadrul tezei	Unitatea de măsură
Absorbția soluției (la metoda flaconului)	A_S	mg/l
Absorbția apei distilate (la metoda flaconului)	A_B	mg/l
Absorbție pe suprafață	A_s	mm
Coeziune internă	f_{t1}	N/mm ²
Densitate	ρ	kg/m ³
Dimensiuni liniare	a, b, b_1, b_2	mm
Distanță între reazeme	l_1	mm
Emisie de formaldehidă (determinată prin metoda flaconului)	F_v	mg/kg _{placa uscata}
Forța de rupere	F_{max}	N
Grosime	t	mm
Masă	m	g
Masă în stare umedă (la umiditatea H)	m_H	g
Masă la stare anhidră	m_0	g
Modul de elasticitate la încovoiere	E_m	N/mm ²
Panta curbei de etalonare	f	mg/ml
Rezistență la încovoiere	f_m	N/mm ²
Rezistență la tracțiune perpendiculară pe fețele panoului (= Coeziunea internă)	f_{t1}	N/mm ²
Smulgere a suprafeței	SS	N/mm ²
Suprafață	A	mm ²
Umflare în grosime	G_t	%
Umiditate	H	%

LISTA DE ABREVIERI

Denumire detaliată	Abreviere utilizată în cadrul tezei
Di-fenil-metan-diizocianat	MDI (din eng: methylene diphenyl diisocyanate)
Plăci din aşchii de lemn	PAL
Plăci din aşchii de lemn orientate (din eng: Oriented Strand Boards)	OSB
Plăci din fibre de lemn de densitate medie (din eng: Medium Density Fibreboards)	MDF
Răşină fenol-formaldehidică	FF
Răşină melamin-ureo –formaldehidică	MUF
Răşină ureo-formaldehidică	UF
Strat de miez (în eng: core layer)	CL
Strat de suprafaţă (în eng: surface layer)	SL

INTRODUCERE

Prezenta teză abordează o tematică din domeniul materialelor compozite pe bază de lemn. Plăcile pe bază de lemn sunt un termen general pentru o varietate de produse, cu utilizare în industria mobilei și a construcțiilor. În timp ce unele tipuri de plăci sunt relativ noi pe piață, altele au fost introduse cu peste o sută de ani în urmă și dezvoltate continuu până în prezent.

Plăcile aglomerate din aşchii de lemn (PAL) constituie produse compozite fabricate din lemn de celuloză, aşchii obținute din tocătură de lemn, resturi rezultate de la fabricarea cherestelei, deșeuri și rumeguș de la prelucrarea lemnului și cosmetizări forestiere, material lemnos recuperat din mobilier vechi sau demolări etc., în amestec cu o rășină sintetică sau alt adeziv sau liant adecvat și apoi presate la cald.

Plăcile din aşchii de lemn fiind fabricate din particule de lemn în amestec cu rășini sintetice, oferă anumite avantaje față de lemnul masiv, cum ar fi: lipsa crăpăturilor și a nodurilor, posibilități de formatizare mai diversificate, proprietăți de izolație termică și acustică mai bune, posibilitatea realizării unor finisaje mai variate, proprietăți fizico-mecanice mai uniforme etc., motiv pentru care ele reprezintă principala materie primă în industria de fabricare a mobilierului modern.

Prezenta lucrare abordează problematica îmbunătățirii unor proprietăți esențiale ale plăcilor prin anumite modificări de ordin tehnologic și prin modificarea rețetei. Conform cerințelor actuale de pe piață și a trendurilor actuale, cercetarea a fost axată în mod special pe obținerea unor produse mai ușoare, cu un consum mai redus de materie primă și cu emisii de formaldehidă reduse față de produsele fabricate la momentul debutului prezentei cercetări.

Rezultatele cercetării, implementate la S.C. Kastamonu Romania S.A. Reghin conferă credibilitate cercetării efectuate, ele fiind practic deja testate la momentul finalizării tezei.

CAPITOLUL 1.

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘI TENDINȚE ÎN FABRICAREA PLĂCILOR DIN AȘCHII DE LEMN

1.1. Stadiul actual și tendințe în industria producătoare de plăci din așchii de lemn

Plăcile din așchii de lemn (PAL) sunt produse prin aglomerarea unor particule de lemn cu adeziv sau alt liant mineral anorganic sub acțiunea temperaturii și presiunii în mod simultan (Istrate 1983).

1.1.1 Scurt istoric

Conform unui scurt istoric realizat de Barbu (1999) privind apariția și evoluția materialelor compozite pe bază de lemn, istoria producției PAL a început cu cca. 130 de ani în urmă, când în Germania, în anul 1887, Hubbard a produs "lemn artificial" din amestec de praf de lemn și cleiuri albuminice, întărit sub acțiunea presiunii și temperaturii. În 1889 Kramer a obținut un brevet german pentru o altă metodă de încliere a așchiilor pe suport de pânză care ulterior au fost presărate în straturi și încliate. În 1905 Watson a definit o metodă pentru producerea plăcilor din așchii de lemn în SUA, care până în ziua de astăzi stă la baza unor procese tehnologice în America de Nord. În Germania, în anul 1918 Beckmann a prezentat o tehnologie de fabricație a plăcilor cu miez de așchii și fețe de furnir, predecesorul produsului cunoscut astăzi ca PAL furniruit. În perioada războiului mondial s-a dezvoltat foarte mult producția de rășini sintetice și s-au făcut mai multe încercări pentru producerea PAL. În 1946 cu utilaje de tip Novopam, Kreibaum a realizat în Germania prima producție industrială de PAL extrudate.

Următoarea etapă a fost caracterizată de o dezvoltare explozivă a tehnologiei bazate pe prese continue sau multietajate până în zilele noastre.

1.1.2 Importanța economică în România

Industria de exploatare și prelucrare a lemnului din România are o pondere importantă în economia țării ea ajungând până la 3,5% din PIB, dacă se iau în considerare și industriile conexe și alte activități indirecte. Contribuția directă variază între 1,1% și 1,6% comparativ cu media UE de 0,4% la nivelul anului 2014 (Belciu 2016).

Firme moderne cu capacități mari de producție au re-tehnologizat industria plăcilor pe bază de lemn din România și au acoperit toate tipurile de plăci (PAL, MDF, OSB ș.a.) (Barbu 2013). Cei mai importanți producători de PAL din România sunt în prezent: Kronospan România – Sebeș și Brașov, Egger România – Rădăuți, Kastamonu România – Reghin. Producția lor anuală cumulată atinge în prezent peste 1,8 mil m³ PAL.

O cantitate însemnată (aprox. 1,3 milioane m³ de plăci), în special PAL și MDF, sunt exportate către piețele externe.

1.1.3 Industria fabricării PAL – prezent și tendințe

În prezent, peste 50 % din cantitatea de PAL la nivel mondial este produsă în Europa, inclusiv Turcia și Rusia (Barbu & Paulitsch 2015).

Concurența este acerbă în majoritatea sectoarelor industriei plăcilor pe bază de lemn, de aceea producătorii se concentrează pe reducerea cât mai mult posibil a costurilor de producție.

Linia tehnologică industrială a fabricării PAL este prezentată în mod simplificat în Fig. 1.2.

Fluxul tehnologic de producere a PAL cuprinde următoarele operații: aprovizionare, depozitarea și pregătirea materiei prime, tocarea lemnului, însilozarea tocăturii, uscarea așchiilor, sortarea în fracții cu ajutorul sitelor vibratoare, înclierea, formarea covorului de așchii, presarea, formatizarea plăcilor, răcirea și condiționarea acestora, calibrarea, ambalarea, depozitarea și expedierea.

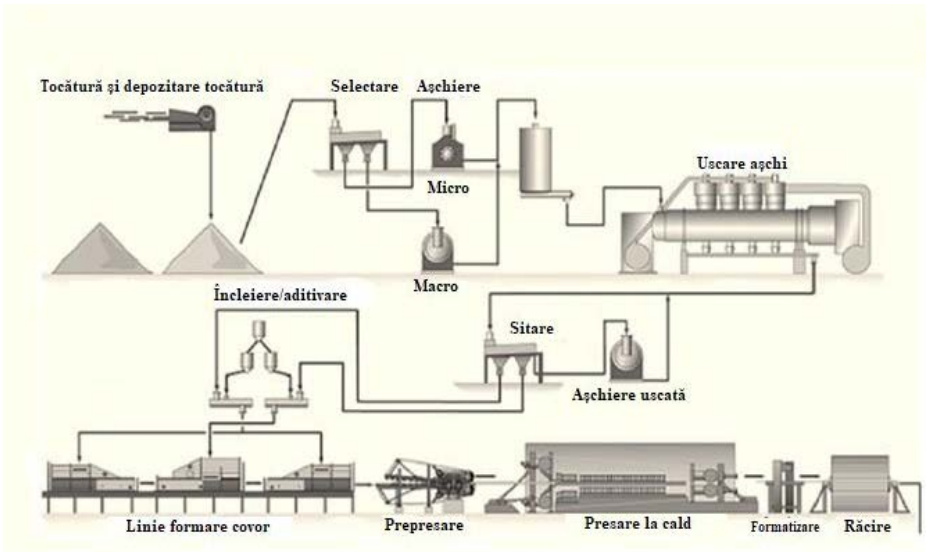


Fig. 1.2 *Reprezentare schematică a unei linii de producție a PAL (după Thoemen et al. 2010)*

1.1.4 Direcții prioritare de dezvoltare

Placa din așchii de lemn este un produs ieftin și versatil, fiind un material agreat pentru diverse utilizări. La noi în țară majoritatea produselor de mobilă care se comercializează sunt realizate din plăci din așchii de lemn.

În prezent, cercetările privind îmbunătățirile ce se pot aduce producerii PAL se axează pe mai multe direcții, conform cerințelor pieței, și pe combinarea acestor direcții în multe cazuri. Se pot aminti următoarele ținte care prezintă interes în prezent din punct de vedere al calității PAL:

- o densitate cât mai redusă dar fără a afecta celelalte proprietăți fizico-mecanice ;
- emisii de formaldehidă cât mai redusă (Carb II) fără a afecta semnificativ prețul de cost;
- utilizarea lemnului reciclat sau valorificarea altor deșeuri ligno-celulozice pentru reducerea tăierilor și orientarea PAL către un produs din ce în ce mai "green".

1.2 Cercetări recente privind posibilități de îmbunătățire a unor proprietăți ale plăcilor din așchii de lemn

Multitudinea proprietăților PAL, complexitatea interacțiunii și interdependenței lor deschid un vast și ofertant domeniu de cercetare, în care contează atât rigurozitatea științifică – pentru depistarea acelor detalii care pot face diferența, cât și creativitatea – pentru dezvoltarea de noi și noi rețete și materiale.

În prezent, putem spune că principalele priorități în ceea ce privește îmbunătățirea proprietăților PAL sunt:

- reducerea densității plăcilor, dar fără a afecta proprietățile mecanice;
- reducerea emisiei și a conținutului de formaldehidă.

Cele două îmbunătățiri trebuie realizate astfel încât acestea să nu afecteze prețul de cost al produsului atât de mult încât să nu mai prezinte interes pe piață.

Dar în afara densității și a emisiei de formaldehidă, PAL are și alte proprietăți care, indiferent de modificările aduse rețetei și indiferent de îmbunătățirile aduse uneia sau alteia dintre proprietățile principale trebuie, și ele, să se încadreze în intervalele de valori indicate de standardele în vigoare și, pe cât posibil, să fie și ele îmbunătățite prin soluțiile adoptate.

1.2.1 Reducerea densității

Densitatea este una dintre cele mai importante proprietăți ale PAL, deoarece ea influențează decisiv toate celelalte proprietăți ale plăcilor.

Astfel, de exemplu, putem afirma cu certitudine că rezistența la încovoiere și conductivitatea termică cresc liniar cu densitatea, iar umflarea în grosime scade logaritmically cu aceasta (Fig. 1.7) (Niemz & Sonderegger 2017).

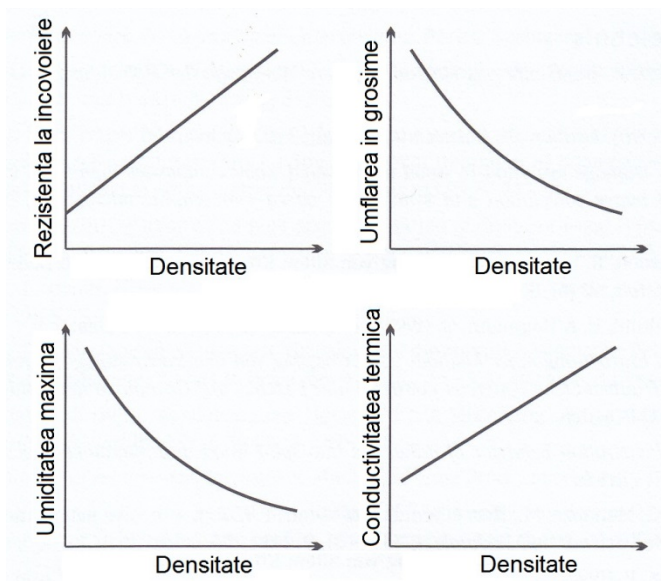


Fig. 1.7. Reprezentare schematică a influenței densității plăcilor de în așchii de lemn asupra altor proprietăți ale acestora (Niemz & Sonderegger 2017).

1.2.2 Reducerea emisiei de formaldehidă

Emisia de formaldehidă din plăcile pe bază de lemn reprezintă un proces mai complex care, ca noțiune, nu trebuie confundată cu cea de conținut de formaldehidă din același tip de plăci, deși ambii termeni se referă de fapt la aspectul cantitativ al acesteia, existent la un moment dat și/sau determinat într-un anumit interval de timp (Petrovici & Agache 2003).

Conținutul de formaldehidă se referă la cantitatea de aldehydă formică existentă în structura internă a plăcilor din lemn sub formă liberă, ca atare sau ca rezultat al unor procese fizico-chimice și termice la care sunt supuse rășinile din adezivii respectivi în timpul procesului de presare (Petrovici *et al.* 2006). Se determină prin așa-numita *metodă cu perforator* (conform SR EN 120/1995).

Emisia de formaldehidă se referă la cantitatea de aldehydă formică pe care o placă pe bază de lemn o emană liber prin fețele și canturile sale în aerul dintr-o încăpere. Ea se poate determina prin: *metoda analizei gazului* (SR EN ISO 12460-3:2016); *metoda flaconului* (SR EN 717-3/1998; *metoda camerei* (SR EN 717-1/2005). În Tabelul 1.12 sunt prezentate valorile-limită admise de diferite țări, pentru încadrarea PAL în diferitele clase de emisie.

Tabelul 1.12

Valori-limită admisibile privind emisia de formaldehidă a PAL, conform standardelor în vigoare din Europa, SUA, Japonia Australia și Noua Zeelandă (Salem 2011)

Țara	Standard	Metoda de testare	Clasa de emisie	Valoare-limită admisă
Europa	EN13986:2004+A1:2015	EN 717–1:2005	E1	≤ 0,1 ppm
		EN 717–1:2005	E2	> 0,1 ppm
SUA	ANSI A 208.1 & 2	ASTM E1333 (camera mare)	-	≤ 0,18 sau 0,09 ppm
Japonia	JIS A 5908 & 5905	JIS A 1460 (metoda desicator)	F** F*** / E0 F****/SEO	≤ 1,5 mg/L ≤ 0,5 mg/L ≤ 0,3 mg/L
Australia și Noua Zeelandă	AS/NZS 1859–1 & 2	AS/NZS 4266.16 (metoda desicator)	E0	≤ 0,5 mg/L
			E1	≤ 1,5 mg/L
			E2	≤ 4,5 mg/L

Pentru PAL brut clasa E1, valorile-limită ale conținutului de formaldehidă sunt: 8mg/100g placă absolut uscată (conform EN 13986:2004+A1:2015) (Schwab *et al.* 2007), 6,5mg/100g placă absolut uscată (conform

reglementărilor din Germania) (Vargha 1998) și 4mg/100g placă absolut uscată (conform European Panel Federation) (Zeleniuc 2016).

Pentru reducerea emisiei de formaldehidă a plăcilor, condițiile în care are loc procesul de sinteză al rășinii (polimerizarea și precipitarea polimerului), este esențial. De aceea, cele mai recente cercetări orientate spre reducerea emisiei de formaldehidă a PAL au vizat:

- utilizarea unor rășini cu raport redus între formaldehidă și uree, dar care să asigure totuși condiții de adeziune acceptabile și să nu afecteze prea mult proprietățile fizice ale plăcilor (Myers 1989);
- pulverizarea unor adaosuri captatoare de formaldehidă pe covorul de așchii în timpul formării (Wang *et al.* 2007);
- aplicarea unor tratamente asupra furnirului sau materialului de acoperire (cașerare) cu polimeri, capabile să blocheze formaldehida în placă (Kazakevics 1984), caz în care însă reciclarea plăcilor devine problematică;
- utilizarea unor filme decorative, folii PVC, filme melaminice speciale, captatoare de formaldehidă (Grigoriou 1987).

1.2.3. Îmbunătățirea proprietăților mecanice

Atât timp cât reducerea densității este o prioritate, majorarea rezistențelor mecanice ale PAL este practic imposibilă. De aceea, în contextul menținerii ca prioritate principală a reducerii densității și emisiei de formaldehidă, în privința rezistențelor mecanice s-a urmărit practic menținerea în intervalul de valori standard.

Există totuși și cercetări îndreptate prioritar spre îmbunătățirea rezistențelor mecanice. Un exemplu în acest sens îl oferă Elbadawi *et al.* (2015), care au investigat efectul adaosului de tanin în rețeta adezivului ureo-formaldehidic în cazul unor plăci realizate din așchii de lemn de salcâm (*Acacia seyal var. seyal*). Rezultatele au arătat că adăugarea unei cantități mici de tanin (5%) în rețeta adezivului conduce la creșterea cu

14,3% a rezistenței la încovoiere și cu 25,8% a modulului de elasticitate. Coeziunea internă a scăzut cu 15,8%. Creșterea proporției de tanin peste 5% a condus la rezultate mai slabe.

1.2.4. Reducerea umflării în grosime și a absorbției de apă

Hundhausen *et al.* (2009) au studiat efectele tratării cu AKD (alkyl-ketene-dimer) a așchiilor pentru PAL, în vederea reducerii absorbției de apă și a umflării în grosime a acestora. În cazul amestecării AKD în rășina UF, s-a obținut o reducere cu 28,6% a umflării și cu 14,8% a absorbției de apă după 24 h de imersie.

1.3 Concluzii privind stadiul actual al cercetărilor. Oportunitatea alegerii temei

Prezenta cercetare și-a propus studierea reducerii concomitente a densității și emisiei de formaldehidă a PAL, prin varierea rețetei de bază atât în ceea ce privește compoziția lemnoasă cât și în ceea ce privește folosirea unor aditivi, dar cu menținerea proprietăților fizico-mecanice în limitele impuse de standardele de referință și fără a afecta semnificativ costul de producție.

Oportunitatea alegerii temei constă în faptul că :

- promovează posibilități de a produce o variantă îmbunătățită a unui produs existent conform cererii de pe piață;
- promovează soluții în sensul îmbunătățirii calității vieții; în urma acestor modificări ale procesului tehnologic se îmbunătățesc anumite proprietăți ale plăcilor de PAL fără ca emisiile de substanțe cancerigene, ca emisia de formaldehidă, să crească. Ba din contră se poate ajunge la emisii mai reduse de formaldehidă, concomitent cu îmbunătățirea unor proprietăți;
- vizează reducerea costurilor prin reducerea consumurilor, pe o piață concurențială în creștere, unde costul de producție poate face diferența între profit și faliment.

CAPITOLUL 2.

OBIECTIVELE TEZEI

Obiectivul general al tezei este de a aduce contribuții tehnologiei actuale de fabricare a plăcilor din aşchii de lemn (PAL) în vederea îmbunătățirii unor proprietăți ale acestora fără a afecta costul de producție.

Pornind de la acest obiectiv general s-a stabilit metodologia de experimentare bazată pe două obiective specifice, după cum urmează:

- Găsirea unei soluții tehnologice pentru înlocuirea emulsiei industriale de parafină, cu un conținut foarte ridicat de ulei, care constituie principala cauză a apariției unor pete uleioase pe suprafața plăcilor cu efecte neplăcute supra calității finisajului acestora;
- Efectuarea unei cercetări experimentale, realizată în premieră pe o linie industrială de producție, constând în fabricarea unor loturi de plăci din aşchii cu densitate normal, apoi cu densitate redusă cu 7% față de cea normală și apoi cu densitate redusă dar și cu adaos de aditiv pe bază de izocianați, în vederea comparării câtorva proprietăți selectate ale acestora.

Pentru atingerea primului obiectiv specific, a fost necesară o cercetare aplicativă în vederea dezvoltării unui sistem industrial de producere a emulsiei de parafină direct pe linia tehnologică de fabricare a PAL, care să elimine astfel achiziționarea și utilizarea parafinelor industriale.

Cel de-al doilea obiectiv specific a implicat o cercetare aplicativă laborioasă având ca finalitate o bază de date, în care variabilele din rețeta de materie primă se transpun transparent într-o fișă de caracteristici chimice, fizice, mecanice și tehnologice ale plăcii rezultate. Astfel, în funcție de prioritățile sale, de condițiile pe care dorește să le îndeplinească plăcile pe care urmează să le contracteze, clientul poate alege rețeta de fabricație.

Cercetarea efectuată se înscrie pe linia cercetărilor foarte actuale care vizează reducerea concomitentă a densității și emisie de formaldehidă a PAL.

Pentru atingerea obiectivelor propuse a fost necesară folosirea mai multor metode de cercetare, specifice unei teze de doctorat: cercetare bibliografică, tehnologică, experimentală și aplicativă.

Metodologia de cercetare adoptată este reprezentată schematic în Fig. 2.1.

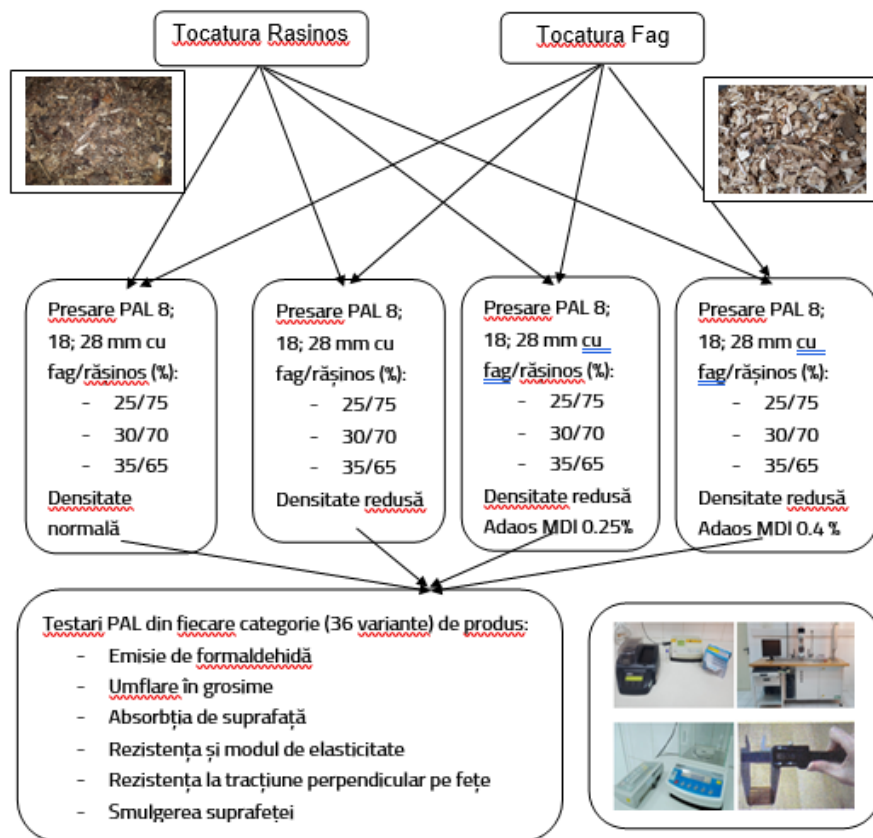


Fig. 2.1 Metodologia de cercetare privind îmbunătățirea proprietăților PAL prin modificarea rețetei de materii prime

CAPITOLUL 3.

DEZVOLTAREA UNEI SOLUȚII TEHNOLOGICE PENTRU ÎNLOCUIREA EMULSIEI INDUSTRIALE DE PARAFINĂ DIN REȚETA PAL

3.1 Prezentarea situației actuale și a soluției de optimizare propuse

Unele dintre proprietățile cele mai importante ale PAL se referă la rezistența acestora la contactul cu apă sau alte lichide, cum ar fi umflarea în grosime sau absorbția de suprafață. Pentru îmbunătățirea acestor proprietăți este nevoie de a interveni în rețeta de fabricație.

În cadrul unei linii tehnologice complexe, cum este cea de fabricare a PAL pot apărea multe probleme, care pot afecta calitatea produsului final. Un exemplu în acest sens sunt petele uleioase pe suprafața plăcilor care afectează calitatea finisării (defect raportat de către o fabrică de plăci aglomerate care produce plăci subțiri care trebuiau finisate opac cu un grund pe bază de apă în mai multe straturi).

În urma cercetărilor întreprinse pe fluxul de fabricație, originea acestor pete s-a dovedit a fi utilizarea emulsiei industriale de parafină, cu un conținut foarte ridicat de ulei (~7%).

Cercetarea de față (Lengyel *et al.* 2017) a fost determinată de necesitatea găsirii unei soluții tehnologice pentru evitarea petelor uleioase pe suprafața plăcii, iar obiectivul principal al prezentei cercetări a fost de a dezvolta un sistem industrial de producere a emulsiei de parafină pentru fabricarea plăcilor de particule direct pe linie, pentru a evita utilizarea parafinelor industriale. Totodată, s-a urmărit și implementarea industrială a acestui sistem pentru a evalua efectele acestei soluții tehnologice asupra proprietăților fizico-mecanice ale plăcilor.

3.2 Implementarea soluției tehnologice propuse și evaluarea efectelor acesteia asupra proprietăților fizico-mecanice și asupra costului de fabricație al plăcilor

Emulsia de parafină este un produs industrial obținut din emulsionarea parafinei solide în apă prin adăugarea anumitor emulgatori și stabilizatori.

Rolul său în rețeta plăcilor din particule de lemn este de a îmbunătăți unele dintre cele mai importante proprietăți fizice: absorbția suprafeței, umflarea grosimii și pentru anumite plăci aglomerate speciale, rezistența la umiditate și rezistența după fierbere (Alves 2011).

De obicei, consumul de parafină solidă este de aproximativ $1,3 \text{ kg/m}^3$. Pentru a fi stabilă în timp, emulsia de parafină trebuie să conțină maxim 60% substanță solidă. Mărimea particulelor de parafină din emulsie trebuie să se situeze între 500 nm și $50 \text{ }\mu\text{m}$ (Danghui *et al.* 2012). Emulgatorii și stabilizatorii adăugați ar trebui să reprezinte 5-7%. Restul componentelor sunt reprezentate de alte substanțe, cum ar fi uleiul și apa.

Emulsia industrială de parafină conține peste 40% apă și o cantitate mare de aditivi pentru a rezista la diferite condiții de transport. În funcție de intervalul de timp dintre producție și utilizare, consistența dimensiunii particulelor poate fi afectată, ceea ce duce la scăderea performanțelor sale tehnice în cadrul produsului compozit (PAL).

Pe lângă eliminarea excesului de ulei, noua soluție tehnologică trebuia să prevadă o scădere a conținutului solid inutil, o mai bună stabilitate a emulsiei la temperaturi ridicate și eliminarea contaminanților și umpluturilor impuse de condițiile de transport.

Astfel a fost creat un ansamblu de preparare în patru etape:

- prima etapă de preparare constă în încălzirea apei din interiorul reactorului de preparare până la 85°C (Fig. 3.1). Se adaugă parafină solidă și se așteaptă stabilizarea temperaturii la 80°C ;

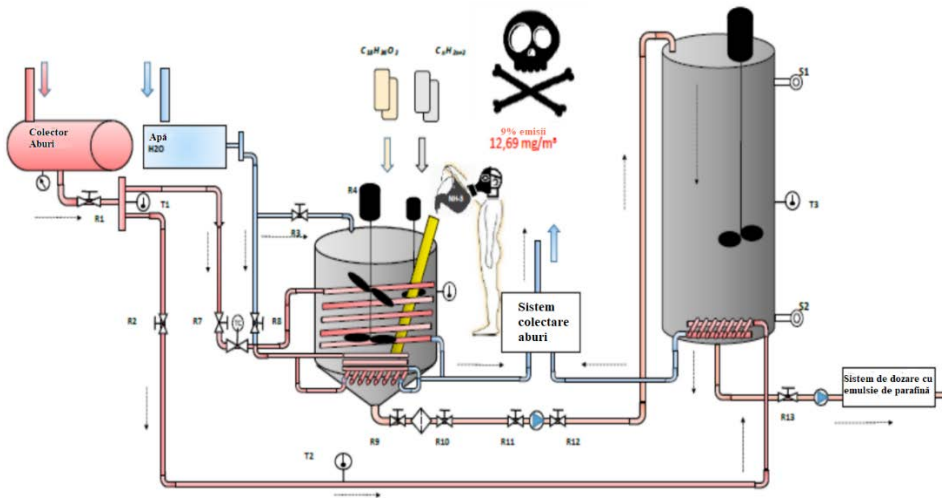


Fig. 3.1. Sistem de preparare a emulsiei parafinice în linie (prima versiune)

- a doua etapă începe după lichefierea completă. Încălzirea este oprită și agitatorul principal este pornit (la viteză redusă de rotație); se adaugă acid stearic și apoi se pornește mixerul rapid (cu o viteză de rotație de 600 rpm);
- a treia etapă începe după emulsificarea completă. Mixerul rapid este oprit. Soluția de amoniac este adăugată în mixerul principal. Acestei etape trebuie să i se acorde o mare atenție, deoarece amoniacul este o substanță toxică și volatilă. Se adaugă apă pentru a atinge concentrația dorită; luând în considerare riscurile implicate de utilizarea amoniacului în etapa a treia, măsurătorile concentrației de vapori de amoniac la diferite înălțimi au fost efectuate cu ajutorul unui aparat Dräger Accuro (Fig. 3.2);
- în ultima etapă, emulsia este răcită forțat sub 40 °C în timpul agitării continue. Se transferă apoi în rezervorul de stocare prevăzut cu un sistem de încălzire, unde se continuă agitarea dar mai lent. Aici este menținută la o temperatură constantă, peste 35 °C.

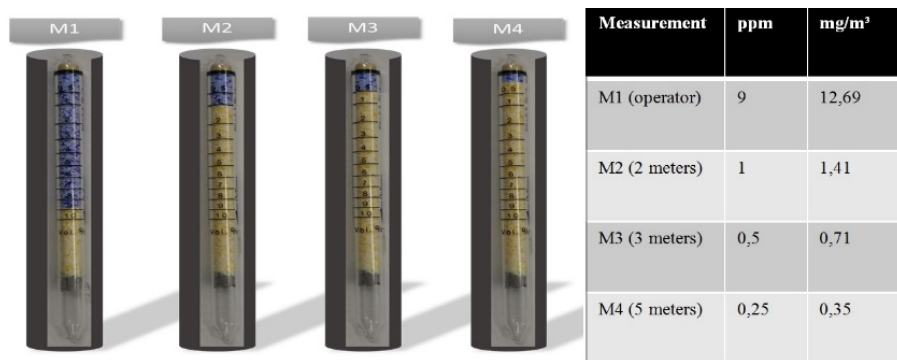


Fig. 3.2 Măsurători ale emisiilor de amoniac, cu prima versiune a sistemului de preparare a emulsiei

Rezultatele măsurătorilor efectuate sunt prezentate în Fig. 3.2. Conform restricțiilor naționale (HG N° 1.2818/06.09.2006), concentrația după o expunere de scurtă durată (15 minute) nu trebuie să depășească 36 mg/m³ sau 50 ppm. Valorile măsurate în cadrul acestui test sunt mult mai mici decât aceste limite și deci soluția ar putea fi considerată viabilă, dar limitele interne (specifice întreprinderii) sunt mult mai stricte, sub 1 ppm în zona de operare. Valorile măsurate le-au depășit.

Pentru a elimina acest risc, s-a proiectat o a doua versiune a sistemului de preparare a emulsiei (Fig. 3.3), la care s-a adăugat un sistem de dozare închis (blocul galben din Fig. 3.3), care introduce soluția apoasă de amoniac pre-dozată în partea de jos a reactorului preparat alături de o amestecare continuă (dizolvare) în interiorul emulsiei. Această modificare a condus la o reducere considerabilă a emisiilor de amoniac, aducându-le la un nivel admisibil chiar și după normele interne, așa cum se se poate observa în Fig. 3.4.

Pentru ca acest tip de sistem de preparare să poată produce în mod continuu și știind că are nevoie de o anumită perioadă de timp pentru preparare, s-au construit două reactoare de pregătire paralele din care emulsia stabilizată se transferă într-un rezervor de stocare tampon, prezentat în Fig. 3.5.

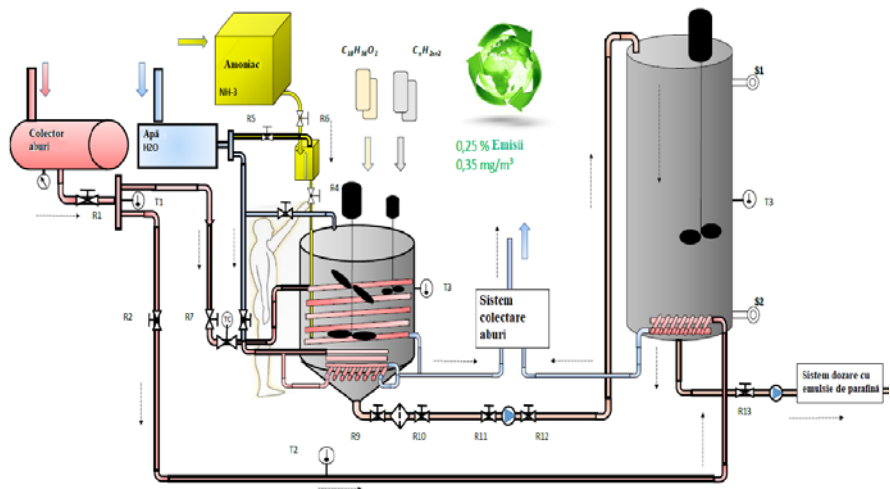


Fig. 3.3. Sistem de preparare a emulsiei parafinice în linie, versiune revizuită

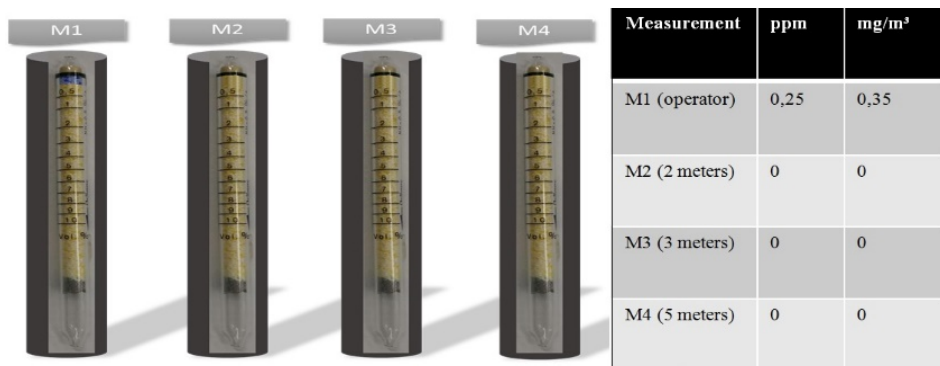


Fig. 3.4 Măsurători ale emisiilor de amoniac, cu versiunea revizuită a sistemului de preparare a emulsiei

Versiunea finală a sistemului de pregătire, prezentată în Fig. 3.5 a fost implementată la SC Kastamonu Romania SA Reghin, în cadrul liniei de fabricare a plăcilor aglomerate din aşchii de lemn și funcționează fără probleme, defectul petelor uleioase fiind complet înlăturat și concentrația

de vapori de amoniac fiind considerabil redusă.

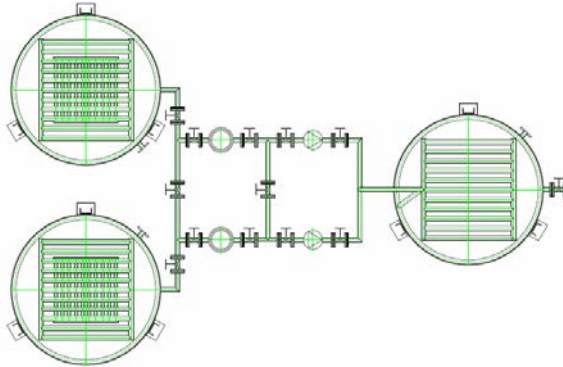


Fig. 3.5. Schema sistemului de preparare a emulsiilor de parafină la KASTAMONU, cu două reactoare și o unitate de stocare

În Tabelul 3.1 sunt prezentate condițiile (identice în cazul tuturor celor trei emulsii analizate: aceeași viteză a liniei de presare, același factor de presare, aceleași procentaje de adeziv, emulsie și întăritor), iar în Tabelul 3.2 sunt prezentate rezultatele comparative privind principalele proprietăți fizico-mecanice ale plăcilor din aşchii de lemn cu grosime de 18mm realizate cu emulsia preparată in-line la Kastamonu față de plăci realizate cu două emulsii industriale (de la firma Greif și respectiv Govi) în aceste condiții.

Se observă că densitatea se încadrează în limitele specifice PAL P2 (590-700kg/m³), pentru toate cele trei emulsii utilizate.

În cazul umflării în grosime se observă că numai plăcile cu emulsie Kastamonu respectă valoarea maximă impusă de standardul intern Kastamonu , fiind cu 34% mai redusă decât aceasta și cu 84% respectiv 88% mai redusă decât în cazul utilizării emulsiei Govi, respectiv Greif.

Tabelul 3.1

Condițiile de realizare a plăcilor experimentale cu trei emulsii diferite

	Emulsie Kastamonu	Emulsie Greif	Emulsie Govi
Viteza de avans a liniei de presare, mm/s	570	570	570
Factor de presare, s/mm	3,72	3,72	3,72
Solid adeziv CL, kg/m ³	29,12	29,14	29,10
Solid adeziv SL, kg/m ³	19,24	19,25	19,23
Solid emulsie CL, kg/m ³	0,92	0,91	0,90
Solid emulsie SL, kg/m ³	0,43	0,44	0,45
Solid întăritor CL, kg/m ³	0,91	0,92	0,92
Solid întăritor SL, kg/m ³	0,32	0,30	0,31

Tabelul 3.2

Proprietățile PAL realizate cu diferite emulsii de parafină

	Emulsie Kastamonu	Emulsie Greif	Emulsie Govi
Densitatea, kg/m ³	627,95 (7,05)	616,11 (8,12)	618,00 (7,65)
Umflarea în grosime, %	11,19 (1,02)	21,01 (1,22)	20,61 (1,43)
Absorbția pe suprafață, mm	60,05 (2,21)	99,38 (3,58)	97,75 (3,56)
Rezistența la încovoiere, N/mm ²	11,74 (0,88)	11,67 (0,92)	12,4 (0,87)
Modulul de elasticitate, N/mm ²	2150,29 (150,24)	2024,37 (168,48)	2138,49 (176,82)
Coeziunea internă, N/mm ²	0,37 (0,01)	0,35 (0,02)	0,32 (0,01)
Smulgerea suprafeței. N/mm ²	1,1 (0,11)	0,96 (0,10)	1,03 (0,09)

Notă: Valorile marcate cu roșu nu se încadrează în standard.

O situație similară se remarcă și în cazul absorbției pe suprafață , aceasta fiind cu 25% mai redusă față de valoarea maximă admisă de standardul intern Kastamonu și cu 62,8% respectiv 65,5% mai redusă decât în cazul utilizării emulsiei Govi, respectiv Greif.

În ceea ce privește proprietățile mecanice, se observă că toate cele trei emulsii permit realizarea unor plăci cu rezistențe ușor superioare celor impuse de EN 312:2010. Singura excepție o constituie coeziunea internă a plăcilor realizate cu emulsia Govi, care se situează sub limita de 0,35 N/mm² impusă de EN 312:2010. În schimb, plăcile realizate cu emulsia Kastamonu înregistrează o creștere cu 5.7% a coeziunii interne față de valoarea impusă de standard.

Pentru a obține rezultate acceptabile cu emulsiile industriale, este necesară creșterea consumului acestora și implicit a costurilor.

Economia realizată prin aplicarea acestei soluții, respectiv prin înlocuirea emulsiei de parafină industrială cumpărată cu o emulsie preparată în linie este de peste 600.000 euro/an.

3.3 Concluzii

Sistemul de preparare în linie a emulsiei de parafină nu numai că elimină apariția de pete uleioase, ci are și alte avantaje. Acestea pot fi rezumate după cum urmează:

- parafina solidă se poate depozita pe termen lung (până la 12 luni), față de emulsia cumpărată în stare preparată, care are garanție de numai 30 de zile (maxim);
- se reduc costurile de transport;
- compoziția emulsiei parafinice este complet cunoscută și controlabilă, inclusiv concentrația reală de parafină solidă (partea care asigură

îmbunătățirea proprietăților plăcilor);

- conținutul mai scăzut de substanțe solide (20-40%) este mai bine adaptat la tipul de produs (față de cel de 60% în cazul parafinei cumpărate, procentaj menit să sporească eficiența transportului);

- conținutul redus de substanță solidă în preparat conduce la particule de parafină mai mici în emulsia stabilizată, ceea ce duce, la rândul său, la reducerea consumului specific; mărimea particulei crește prin stocarea mai lungă a emulsiei, dar sistemul in-line permite utilizarea de emulsie proaspătă de fiecare dată;

- conținutul de ulei este mult mai redus (parafina solidă procurată are un conținut de 1,5-2% ulei, comparativ cu ~7% în cazul parafinei industriale);

- se evită prezența altor impurități fără valoare sau nocive în compoziția emulsiei.

Pe lângă faptul că asigură un control mai bun asupra rețetei de preparare a emulsiei, a compoziției acesteia și reducerea emisiilor de amoniac printr-o rețetă strict respectată, soluția tehnologică propusă și adoptată permite îmbunătățirea proprietăților fizico-mecanice ale produsului, în special a umflării în grosime (cu 34%), a absorbției de apă (cu 25%) și a coeziunii interne (cu 5.7%) față de valorile impuse de standardul intern Kastamonu și EN 312:510.

De asemenea, datorită reducerii consumului specific și creșterii vitezei de producție, prețul de cost pe m³ de produs se reduce semnificativ (Tabelul 3.4), permițând la nivelul unei fabrici cu o capacitate de producție de 530,000 m³/an, economii de peste 600,000 euro/an.

CAPITOLUL 4.

CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE LA ÎMBUNĂȚIREA UNOR PROPRIETĂȚI ALE PLĂCILOR DIN AȘCHII DE LEMN

4.1 Obiectiv

Având în vedere tendința actuală de a realiza plăci din ce în ce mai ușoare (Barbu 2015), cu emisie de formaldehidă din ce în ce mai strict limitată, dar cu performanțe mecanice comparabile cu ale plăcilor realizate în prezent și la un preț de producție similar, prezenta cercetare a fost dirijată spre testarea mai multor rețete de materie primă, în vederea obținerii unui rezultat optim, de reducere a ambelor proprietăți, menținând totodată în limitele impuse de standard toate celelalte proprietăți fizico-mecanice ale plăcilor .

4.2 Planul experimental

Având în vedere acest obiectiv, s-a elaborat planul experimental al prezentei cercetări.

În prima fază s-au realizat plăci cu densitate normală (cca. 720 kg/m^3 la plăcile cu grosimea de 8 mm; 650 kg/m^3 la plăcile cu grosimea de 18 mm și respectiv cca. 625 kg/m^3 la plăcile cu grosimea de 28 mm), variind rețeta de compoziție a materiei prime lemnoase a PAL, prin modificarea proporției de așchii din lemn de fag/rășinos în 3 variante: 25/75; 30/70; 35/65. Pentru fiecare rețetă s-au determinat conform standardelor în vigoare: emisia de formaldehidă imediat după presarea plăcilor, conținutul de formaldehidă după condiționarea acestora, umflarea în grosime, absorbția de suprafață, rezistența și modulul de elasticitate la încovoiere, coeziunea internă și rezistența la smulgerea suprafeței. Principalul obiectiv al acestei faze a fost evaluarea influenței materiei prime lemnoase asupra proprietăților fizico-mecanice ale plăcilor și asupra emisiei de formaldehidă a acestora.

Totodată valorile obținute în această fază au avut menirea de a servi ca referință de comparație pentru valorile obținute în fazele următoare.

În faza a doua s-au realizat plăci cu densitate redusă cu 7% (obținute prin reducerea cu 7% a cantității de aşchii; toate celelalte ingrediente ale rețetei fiind raportate la cantitatea de lemn, s-au redus și ele proporțional). S-au aplicat aceleași rețete de bază ca și în faza întâi și s-au determinat aceleași proprietăți ale plăcilor. Principalul obiectiv al acestei faze a fost evaluarea efectelor reducerii densității asupra celorlalte proprietăți ale plăcilor și cuantificarea fezabilității acestei soluții de realizare a unor plăci ușoare.

În faza a treia s-au realizat plăci cu densitate redusă cu 7% în rețeta cărora s-a introdus un aditiv pe bază de izocianat (MDI) în stratul de miez, în două procentaje (0,25% și 0,4% - procentaj raportat la masa de lemn uscat din stratul de miez) și din nou s-au determinat toate proprietățile mai sus amintite. Principalul obiectiv al acestei faze a fost evaluarea potențialului de îmbunătățire a proprietăților plăcilor cu densitate redusă pentru a se ridica, pe cât posibil, deasupra valorilor de referință (obținute în faza întâi, pentru plăcile cu densitate normală), de la care s-a pornit.

Testele au fost efectuate pe plăci E1-brut clasa P2 cu grosimea de 8 mm, 18 mm și 28 mm, produse de KASTAMONU SA Reghin. Cele 36 de variante de rețetă rezultate în urma combinării variabilelor mai sus menționate sunt prezentate în Tabelul 4.1.

În afară de cele trei variabile menționate anterior (densitatea plăcilor, proporția de materii prime lemnoase și procentajul de aditiv pe bază de diizocianat), s-au păstrat aproape constanți toți ceilalți parametri legați de rețetă (Tabelul 4.2) și de tehnologia de producție:

- viteza de avans: 230mm/s;
- factorul de presare: 5,95s/mm;
- temperatură maximă: 245°C;
- presiunea maximă: 3,12N/mm².

Tabelul 4.1

**Clasificarea în funcție de densitate, grosime și rețeta de materii prime
a plăcilor testate**

Nr comb.	Tip și grosime placă	Rețeta de materie primă lemn (%fag/rășinos)	Rețeta chimică
Plăci cu densitate normală			
1	E1 brut – P2 – 8 mm	25/75	Fără adaos de MDI
2	E1 brut – P2 – 18 mm	25/75	Fără adaos de MDI
3	E1 brut – P2 – 28 mm	25/75	Fără adaos de MDI
4	E1 brut – P2 – 8 mm	30/70	Fără adaos de MDI
5	E1 brut – P2 – 18 mm	30/70	Fără adaos de MDI
6	E1 brut – P2 – 28 mm	30/70	Fără adaos de MDI
7	E1 brut – P2 – 8 mm	35/65	Fără adaos de MDI
8	E1 brut – P2 – 18 mm	35/65	Fără adaos de MDI
9	E1 brut – P2 – 28 mm	35/65	Fără adaos de MDI
Plăci cu densitate scăzută cu ~ 7%			
10	E1 brut – P2 – 8 mm	25/75	Fără adaos de MDI
11	E1 brut – P2 – 18 mm	25/75	Fără adaos de MDI
12	E1 brut – P2 – 28 mm	25/75	Fără adaos de MDI
13	E1 brut – P2 – 8 mm	30/70	Fără adaos de MDI
14	E1 brut – P2 – 18 mm	30/70	Fără adaos de MDI

15	E1 brut – P2 – 28 mm	30/70	Fără adaos de MDI
16	E1 brut – P2 – 8 mm	35/65	Fără adaos de MDI
17	E1 brut – P2 – 18 mm	35/65	Fără adaos de MDI
18	E1 brut – P2 – 28 mm	35/65	Fără adaos de MDI
19	E1 brut – P2 – 8 mm	25/75	cu 0,25 % MDI
20	E1 brut – P2 – 18 mm	25/75	cu 0,25 % MDI
21	E1 brut – P2 – 28 mm	25/75	cu 0,25 % MDI
22	E1 brut – P2 – 8 mm	30/70	cu 0,25 % MDI
23	E1 brut – P2 – 18 mm	30/70	cu 0,25 % MDI
24	E1 brut – P2 – 28 mm	30/70	cu 0,25 % MDI
25	E1 brut – P2 – 8 mm	35/65	cu 0,25 % MDI
26	E1 brut – P2 – 18 mm	35/65	cu 0,25 % MDI
27	E1 brut – P2 – 28 mm	35/65	cu 0,25 % MDI
28	E1 brut – P2 – 8 mm	25/75	cu 0,4 % MDI
29	E1 brut – P2 – 18 mm	25/75	cu 0,4 % MDI
30	E1 brut – P2 – 28 mm	25/75	cu 0,4 % MDI
31	E1 brut – P2 – 8 mm	30/70	cu 0,4 % MDI
32	E1 brut – P2 – 18 mm	30/70	cu 0,4 % MDI
33	E1 brut – P2 – 28 mm	30/70	cu 0,4 % MDI
34	E1 brut – P2 – 8 mm	35/65	cu 0,4 % MDI
35	E1 brut – P2 – 18 mm	35/65	cu 0,4 % MDI
36	E1 brut – P2 – 28 mm	35/65	cu 0,4 % MDI

**Rețeta de compoziție a plăcilor testate în funcție de grosimea acestora
(CL=strat de miez; SL=strat de suprafață)***

Participare procentuală așchii de fag/așchii de rășinoase, %/%	Participare procentuală aditiv MDI**, %	Adeziv CL, %	Adeziv SL, %	Uree CL, %	Uree SL, %	Intărit orCL, %	Intărit rSL, %
25/75	Fără aditiv	8,0	11,0	0,0	0,17	0,22	0,18
25/75	0,25	8,0	11,0	0,0	0,17	0,18	0,22
25/75	0,4	8,0	11,0	0,0	0,17	0,22	0,18
30/70	Fără aditiv	8,0	11,0	0,0	0,17	0,22	0,18
30/70	0,25	8,0	11,0	0,0	0,17	0,18	0,22
30/70	0,4	8,0	11,0	0,0	0,17	0,22	0,18
35/65	Fără aditiv	8,0	11,0	0,0	0,17	0,22	0,18
35/65	0,25	8,0	11,0	0,0	0,17	0,18	0,22
35/65	0,4	8,0	11,0	0,0	0,17	0,22	0,18

* Raportul între stratul de miez și cel de suprafață a fost de:

52% / 48% pentru plăcile cu grosime de 8mm;

70% / 30% pentru plăcile cu grosime de 18mm;

72% / 28% pentru plăcile cu grosime de 28mm.

** Procentaj raportat la masa de lemn uscat din stratul de miez.

S-au realizat cca. 200 de plăci pentru fiecare rețetă. Imediat după presare au fost prelevate probe pentru determinarea emisiei de formaldehidă prin metoda flaconului. Pentru determinarea celorlalte proprietăți vizate, plăcile au fost condiționate timp de 30 de minute la temperatură ambientală, după care au fost selectate aleatoriu opt plăci, din care, conform EN 326-1:1994 (confirmed 2014), s-au debitat epruvete specifice testelor de determinare a principalelor proprietăți fizico-mecanice ale PAL și conform SR EN 120:1995, epruvetele pentru determinarea conținutului de formaldehidă (metoda cu perforator).

Pentru fiecare rețetă s-au determinat următoarele proprietăți:

- Umiditatea (conform SR EN 322:1996);
- Densitatea (conform SR EN 323:1996);
- Emisia de formaldehidă (conform SR EN 717-3:1998) a plăcilor imediat după presare;
- Conținutul de formaldehidă (conform SR EN 120:1995);
- Umflarea în grosime după imersie în apă (conform SR EN 317:1996);
- Absorbția pe suprafață (conform SR EN 382-1:1997);
- Rezistența și modulul de elasticitate la încovoiere (conform SR EN 310:1996);
- Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe (coeziunea internă) (SR EN 319:1997);
- Smulgerea suprafeței (conform SR EN 311:2003).

Analiza comparativă a valorilor obținute pentru fiecare proprietate a permis formularea unor concluzii privind posibilitățile și oportunitățile de optimizare a rețetei de compoziție a PAL pentru fiecare dintre grosimile analizate.

În acest scop, valorile măsurate au fost comparate între ele pentru identificarea optimului, dar și cu valorile prescrise în standardele internaționale în vigoare, și cu valorile de referință (impuse de standardul intern "actual") pentru evidențierea contribuției de îmbunătățire adusă.

4.3 Material, metodă, echipament

Pentru determinarea proprietăților definite în planul experimental s-a procedat conform standardelor în vigoare. Eșantionarea și debitarea epruvetelor s-a făcut conform SR EN 326-1:1996.

Emisia de formaldehidă formică la PAL s-a determinat conform SR EN 717-3:1998, prin metoda flaconului. Deși valorile determinate prin această metodă nu au prevăzute valori-limită admisibile, s-a optat totuși pentru

această metodă având în vedere timpul mult mai rapid de răspuns decât în cazul celorlalte metode de determinare (metoda camerei ar fi presupus blocarea instalației de testare pe o perioadă de peste 3 ani pentru cele 36 de probe, durata procedurii de testare fiind de peste 30 de zile pentru fiecare probă). În plus, în prezenta cercetare, valoarea absolută a emisiei de formaldehidă nu este relevantă, scopul nefiind acela de evaluare a emisiei de formaldehidă a produsului finit, ci obținerea unor valori comparabile, determinate pe fluxul industrial de producție în condițiile menținerii constante a parametrilor tehnologici, pentru a calcula variația procentuală a emisiei de formaldehidă sub influența unor factori bine stabiliți.

Totuși, pentru a corela rezultatele obținute pe flux privind emisia de formaldehidă a plăcilor imediat după ieșirea din presă cu valori-limită standardizate, relevante pentru beneficiarii produsului finit, s-a determinat suplimentar și conținutul de formaldehidă, prin metoda cu perforator (SR EN 120/1995). Această determinare de control a avut doar scopul de a ne asigura că în urma aplicării rețetelor cercetate au rezultat produse vandabile.

4.4 Rezultate experimentale privind proprietățile plăcilor cu densitate normală

4.4.1 Umiditatea și densitatea

În Tabelul 4.3 sunt prezentate rezultatele determinărilor umidității și densității PAL în funcție de rețeta de compoziție a materiei prime lemnoase și în funcție de grosime.

4.4.2 Emisia și conținutul de formaldehidă

În Tabelul 4.4 sunt sintetizat valorile medii ale emisiilor de formaldehidă obținute prin metoda flaconului imediat după presarea plăcilor cu densitate normală, precum și valorile medii ale conținutului de formaldehidă obținute prin metoda cu perforator după condiționare.

Tabelul 4.3

Umiditatea (U) și densitatea (ρ) a plăcilor din așchii de lemn cu densitate normală

Tip PAL	Grosimea plăcii					
	8mm		18mm		28mm	
	U, %	ρ , kg/m ³	U, %	ρ , kg/m ³	U, %	ρ , kg/m ³
PAL cu densitate normală, fără aditiv	5,4 (0,2)	716,55 (15,89)	5,7 (0,2)	656,71 (12,04)	5,2 (0,1)	618,14 (7,51)

Tabelul 4.4

Influența rețetei de materie primă lemnoasă asupra emisiei de formaldehidă (metoda floconului) imediat după presarea plăcilor de densitate normală, de diferite grosimi și asupra conținutului de formaldehidă (metoda cu perforator) după condiționarea acestora

Rețeta de materie primă: raportul fag/rășinos, % / %	Emisia de formaldehidă imediat după presare, mg/kg	Conținutul de formaldehidă după condiționare, mg/100g
Plăci cu grosimea de 8mm		
25/75	816,2	4,16
30/70	814,0	4,07
35/65	800,0	3,99
Plăci cu grosimea de 18mm		
25/75	684,2	3,52
30/70	740,8	3,53
35/65	794,9	3,29
Plăci cu grosimea de 28mm		
25/75	729,7	3,91
30/70	723,3	3,40
35/65	703,7	3,20

Se observă că valorile emisiei de formaldehidă sunt mari, fapt explicabil prin colectarea probelor imediat după ieșirea din presă, dar valorile conținutului de formaldehidă după condiționare confirmă că plăcile se situează mult sub valorile impuse de standard (≤ 8 mg/ 100 g placă uscată).

Valori ale emisiei de formaldehidă de ordinul 80-90 mg/100g placă absolut uscată imediat după presare sunt confirmate drept normale de Salem (2011), sub justificarea că valoarea determinată imediat după presare este afectată și de alte substanțe volatile care se eliberează din placă la acest moment.

Se observă tendința de scădere a emisiei de formaldehidă cu scăderea proporției de așchii de rășinoase, efect explicabil datorită faptului că lemnul de rășinoase conține o cantitate mai mare de formaldehidă liberă în stare uscată. În plus, plăcile cu proporție mare de așchii din fag au o structură mai compactă, care frânează eliberarea formaldehidei (Salem 2011) și deci, conduce la valori mai mici ale emisiei mediat după presare.

O altă explicație a emisiei de formaldehidă mai scăzute în cazul plăcilor cu proporție mai mare de așchii de fag rezidă din faptul că, în timpul presării la cald, se eliberează grupările acetal din placă și se formează acid acetic, care are capacitatea de a anihila formaldehida. Lemnul de fag este mai bogat în acid acetic decât lemnul de rășinoase, de unde rezultă efectul de reducere a emisiei în cazul plăcilor cu proporție mai mare de așchii de fag, efect confirmat și de Colakoglu (1993) în urma cercetărilor sale asupra placajului din diferite specii lemnoase.

4.4.3 Umflarea în grosime după imersie în apă

În Tabelul 4.5 sunt prezentate rezultatele privind umflarea în grosime după imersia în apă a plăcilor cu densitate normală. Creșterea procentajului de așchii de foioase în rețeta PAL conduce, după cum era de așteptat (având în vedere instabilitatea dimensională mai mare a lemnului de fag decât a celui

de rășinoase) la creșterea umflării în grosime a plăcilor: cu cca. 33,33% la plăcile de 8 mm, cu 89,47% la cele cu grosime de 18 mm și cu 43,66% la cele cu grosime de 28 mm.

Tabelul 4.5

Influența rețetei de materie primă lemnoasă asupra umflării în grosime a PAL (în %) după imersia în apă timp de 2h

Grosimea plăcii, mm	Raportul procentual de așchii de fag/rășinos		
	25/75	30/70	35/65
8	9,00 (1,51)	13,02 (0,99)	12,02 (0,32)
18	3,84 (0,61)	5,14 (0,43)	7,22 (1,80)
28	7,13 (1,24)	9,14 (1,02)	10,24 (1,57)

4.4.4 Absorbția pe suprafață

În Tabelul 4.6 sunt prezentate rezultatele obținute cu privire la absorbția pe suprafață a plăcilor cu densitate normală. Datorită suprafeței mai mari a așchiilor de fag, creșterea procentajului acestora în rețeta PAL conduce la creșterea absorbției pe suprafață: cu 8,87% la plăcile cu grosime de 8mm, cu 47% la cele cu grosime de 18mm și cu 18,2% la cele cu grosime de 28mm.

Tabelul 4.6

Influența rețetei de materie primă lemnoasă asupra absorbției pe suprafață a PAL (în mm)

Grosimea plăcii, mm	Raportul procentual de așchii de fag/rășinos		
	25/75	30/70	35/65
8	41,67 (4,94)	42,01 (2,46)	45,35 (2,71)
18	27,22 (1,65)	35,57 (2,43)	40,03 (4,67)
28	34,62 (2,11)	37,67 (2,99)	40,86 (3,58)

4.4.5 Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate

În Tabelul 4.7 sunt prezentate rezultatele obținute cu privire la rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate pentru plăcile cu densitate normală.

Creșterea procentajului de așchii de foioase în rețeta PAL nu a modificat mult rezistența la încovoiere a plăcilor cu grosime de 18 mm și 28 mm. În cazul plăcilor cu grosime mică (8 mm) însă, s-a constatat o creștere cu 16,6% a acestei proprietăți mecanice importante în urma creșterii cu 10% a proporției de așchii de fag.

Tabelul 4.7

Influența rețetei de materie primă lemnoasă asupra rezistenței la încovoiere și a modulului de elasticitate a PAL de diferite grosimi

Grosimea plăcii, mm	Rezistența la încovoiere, în N/mm ² pentru un raport procentual de așchii de fag/rășinos:			Modulul de elasticitate, în N/mm ² pentru un raport procentual de așchii de fag/rășinos:		
	25/75	30/70	35/65	25/75	30/70	35/65
8	14,97 (1,20)	13,74 (0,98)	17,54 (1,06)	2338,23 (132,63)	2361,98 (183,02)	2121,54 (169,57)
18	13,71 (1,03)	13,93 (0,80)	13,88 (1,18)	2653,94 (154,28)	2256,48 (225,19)	2655,94 (110,74)
28	11,12 (0,32)	10,60 (0,53)	11,18 (1,02)	2433,58 (29,45)	2209,26 (128,87)	2436,81 (141,57)

4.4.6 Coeziunea internă

În Tabelul 4.8 sunt prezentate rezultatele obținute cu privire la coeziunea internă a plăcilor cu densitate normală. Creșterea procentajului de așchii de foioase în rețeta PAL conduce și la ușoara creștere a coeziunii interne (cu 5,7-10,25%), efect previzibil având în vedere rezistențele mecanice superioare ale lemnului de fag.

**Influența rețetei de materie primă lemnoasă asupra coeziunii interne
(în N/mm^2) a PAL**

Grosimea plăcii, mm	Raportul procentual de aşchii de fag/răşinos		
	25/75	30/70	35/65
8	0,39 (0,07)	0,41 (0,04)	0,43 (0,03)
18	0,39 (0,03)	0,40 (0,03)	0,43 (0,06)
28	0,35 (0,02)	0,36 (0,01)	0,37 (0,03)

4.4.8 Interpretarea rezultatelor. Discuții

4.4.8.1 Influența rețetei de materie primă lemnoasă

În Tabelele 4.10-4.12 sunt prezentate sintetizat valorile medii ale proprietăților determinate pe plăcile de densitate normală, pentru cele trei grosimi de placă.

**Influența procentajului de materii prime lemnoase asupra proprietăților
PAL cu densitate normală, cu grosimea de 8 mm**

Rețeta	ρ , kg/m ³	F_v , mg/kg	G_b , %	A_s , mm	f_m , N/mm ²	E_m , N/mm ²	f_{t1} , N/mm ²	SS , N/mm ²
25/75	716,6	816,2	9,0	41,7	15,0	2338	0,39	0,79
30/70	720,2	814,0	13,0	42,0	13,7	2362	0,41	0,82
35/65	721,5	800,0	12,0	45,4	17,5	2122	0,43	0,86

La plăcile cu grosime mică (8mm) s-a constatat că scăderea procentajului de aşchii de răşinoase de la 75% la 65% în favoarea creșterii proporției aşchiilor de fag a condus la:

- scăderea cu 2% a emisiei de formaldehidă;
- creșterea cu 33,33% a umflării în grosime;

- creșterea cu 8,87% a absorbției pe suprafață;
- creșterea cu 16,66% a rezistenței la încovoiere;
- scăderea cu 9,23% a modului de elasticitate;
- creșterea cu 10,25% a coeziunii interne;
- creșterea cu 8,86% a smulgerii suprafeței.

Tabelul 4.11

Influența procentajului de materii prime lemnoase asupra proprietăților PAL cu densitate normală, cu grosimea de 18 mm

Rețeta	ρ_i kg/m ³	F_{vi} mg/kg	G_{ti} %	AS_i mm	f_{m_i} N/mm ²	E_{m_i} N/mm ²	f_{t1_i} N/mm ²	SS_i N/mm ²
25/75	656,7	684,2	3,8	27,2	13,7	2654	0,39	1,05
30/70	650,2	740,8	5,1	35,6	13,9	2256	0,40	1,02
35/65	656,3	794,9	7,2	40,0	13,9	2656	0,43	1,00

La plăcile cu grosime medie (18mm) s-a constatat că scăderea procentajului de aşchii de răşinoase de la 75% la 65% în favoarea celor de fag a condus la:

- creșterea cu 16,17% a emisiei de formaldehidă;
- creșterea cu 89,47% a umflării în grosime;
- creșterea cu 47% a absorbției pe suprafață;
- modificarea limitată a rezistenței la încovoiere și a modului de elasticitate;
- creșterea cu 10% a coeziunii interne;
- creșterea cu 4,7% a smulgerii suprafeței.

Având în vedere că la plăcile cu grosimea cea mai mare (28mm), rețeta de materie primă lemnoasă a avut influența cea mai evidentă asupra majorității proprietăților analizate , pentru aceste plăci s-a efectuat și o analiză de varianță unifactorială pentru grupuri independente, pentru a stabili statistic gradul de semnificație a diferențelor constatate.

Astfel, așa cum se observă din Tabelul 4.12, s-a constatat că varierea rețetei de materie primă prin scăderea procentajului de aşchii de răşinoase de la 75% la 65% în favoarea celor de fag a condus la:

- scăderea semnificativă cu 3,5% a emisiei de formaldehidă;
- creşterea semnificativă cu 43,6% a umflării în grosime;
- creşterea semnificativă cu 18,2% a absorbţiei pe suprafaţă;
- rezistenţa la încovoiere, modulul de elasticitate, coeziunea internă şi smulgerea suprafeţei nu au suferit modificări semnificative.

Tabelul 4.12

Influenţa procentajului de materii prime lemnoase asupra proprietăţilor PAL cu densitate normală, cu grosimea de 28 mm

Reţeta	ρ , kg/m ³	F_v , mg/kg	G_t , %	AS , mm	f_m , N/mm ²	E_m , N/mm ²	f_{t1} , N/mm ²	SS , N/mm ²
25/75	618.1 ^a (7.51)	729.7 ^a (4.2)	7.1 (1.24)	34.6 ^a (2.11)	11.1 ^a (0.32)	2434 ^a (29.45)	0.34 ^a (0.01)	1.08 ^a (0.11)
30/70	625.5 ^{ab} (8.08)	723.3 ^a (10.6)	9.1 ^a (0.73)	37.7 ^a (1.41)	10.6 ^a (1.00)	2209 ^a (255.51)	0.36 ^a (0.01)	1.05 ^a (0.03)
35/65	629.1 ^b (11.81)	703.7 (3.4)	10.2 ^a (1.57)	40.9 (3.58)	11.2 ^a (1.02)	2437 ^a (141.57)	0.36 ^a (0.03)	0.98 ^a (0.10)
Valoare F	5.42	21.30	13.03	12.09	0.92	3.57	1.88	2.77
Nivel de semnific.	p < 0.05							
Măr.efect (η^2)	0.15	0.78	0.54	0.53	0.10	0.32	0.16	0.20

Notă: În tabelul de mai sus sunt indicate valorile medii, iar între paranteze abaterile medii pătratice. Mediile urmate de aceeaşi literă nu diferă semnificativ.

În concluzie:

- reţeta PAL cu 35% aşchii de fag şi 65% aşchii de răşinoase s-a dovedit a avea cele mai mici emisii de formaldehidă(cu diferenţă semnificativă faţă de celelate doua reţete) şi cele mai bune performanţe mecanice (chiar dacă diferenţele nu sunt semnificative faţă de celelalte două reţete);

- rețeta PAL cu 25% așchii de fag și 75% așchii de rășinoase a prezentat cele mai mici valori ale umflării în grosime (cu diferență semnificativă față de celelate doua rețete), și ale absorbției pe suprafață (cu diferență semnificativă doar față de rețeta 35%/65%);
- rezistența la smulgerea suprafeței nu a înregistrat diferențe semnificative între cele trei rețete.
- rețeta PAL cu 25% așchii de fag și 75% așchii de rășinoase a prezentat cele mai mici valori ale umflării în grosime (cu diferență semnificativă față de celelate doua rețete), și ale absorbției pe suprafață (cu diferență semnificativă doar față de rețeta 35%/65%);
- rezistența la smulgerea suprafeței nu a înregistrat diferențe semnificative între cele trei rețete.

4.4.8.2 Influența grosimii plăcii

În Fig. 4.13 este prezentată influența grosimii plăcilor asupra principalelor proprietăți selectate (s-a considerat rețeta cu 25% așchii de fag și 75% așchii de rășinos).

Se observă că, odată cu creșterea grosimii plăcilor, emisia de formaldehidă tinde să crească. După cum se poate observa din Tabelul 4.3, densitatea plăcilor scade odată cu creșterea grosimii. Astfel, plăcile groase au o structură mai aerată, care permite eliberarea mai rapidă a formaldehidei.

Tot din Fig. 4.13 se observă că, odată cu creșterea grosimii plăcilor, umflarea în grosime tinde și ea să crească. Umflarea are loc în principal în stratul de miez, care conține mai mult aer (Fig. 4.14). Considerând că stratul de suprafață are aproximativ aceeași grosime pentru toate grosimile de placă, majorarea grosimii plăcii înseamnă de fapt creșterea grosimii stratului de miez, și astfel, creșterea tendinței de umflare. Diferențele de conținut de adeziv, dimensiunile particulelor și geometria așchiilor în stratul

de miez față de straturile de suprafață și gradul de comprimare/ revenire elastică a așchiilor au și ele o influență considerabilă.

Rezistența la încovoiere scade odată cu creșterea grosimii plăcii. Aceeași tendință există și în cazul coeziunii interne, datorată, pe lângă influența densității, faptului că la plăcile subțiri, miezul plăcii atinge în timp mai scurt temperatura necesară reacției chimice care conduce la întărirea adezivului.

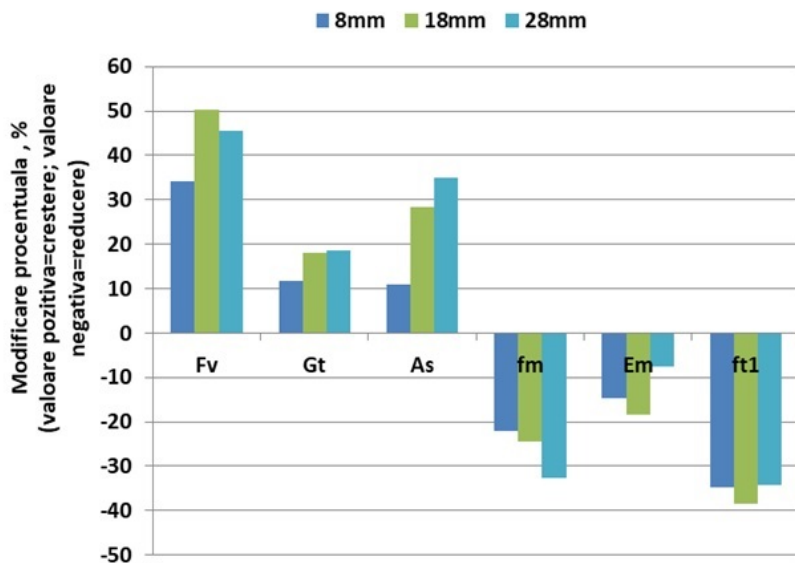


Fig. 4.13 Influența grosimii PAL asupra proprietăților selectate ale plăcilor



Fig. 4.14. Diferența de suprafață între 100g de placă, pentru plăci cu grosimea de 8mm și respectiv 28mm.

4.5 Rezultate experimentale privind proprietățile plăcilor cu densitate scăzută, fără aditiv

4.5.8 Interpretarea rezultatelor. Discuții

În Tabelele 4.20-4.22 sunt prezentate sintetizat valorile medii ale proprietăților determinate pe plăcile de densitate scăzută, pentru cele trei grosimi de placă.

Tabelul 4.20

Influența procentajului de materii prime lemnoase asupra proprietăților PAL cu densitate redusă, cu grosimea de 8 mm

Rețeta	ρ_i kg/m ³	F_{vi} mg/kg	G_{ti} %	A_{Si} mm	f_{mi} N/mm ²	E_{mi} N/mm ²	f_{ti} N/mm ²	SS_i N/mm ²
25/75	663,4	1095,1	7,7	46,2	11,7	1996	0,38	0,57
30/70	659,9	1020,9	10,9	67,9	11,2	1930	0,35	0,60
35/65	660,3	978,7	8,3	50,1	12,0	2035	0,39	0,60

Tabelul 4.21

Influența procentajului de materii prime lemnoase asupra proprietăților PAL cu densitate redusă, cu grosimea de 18 mm

Rețeta	ρ_i kg/m ³	F_{vi} mg/kg	G_{ti} %	A_{Si} mm	f_{mi} N/mm ²	E_{mi} N/mm ²	f_{ti} N/mm ²	SS_i N/mm ²
25/75	601,9	1028,5	10,4	47,8	10,4	2164	0,24	0,71
30/70	605,5	985,7	9,9	60,2	10,7	2126	0,26	0,71
35/65	604,8	953,2	9,6	50,6	10,9	2155	0,28	0,73

Influența procentajului de materii prime lemnoase asupra proprietăților PAL cu densitate redusă cu grosimea de 28 mm

Rețeta	ρ , kg/m ³	F_v , mg/kg	G_b , %	AS , mm	f_m , N/mm ²	E_m , N/mm ²	f_{t1} , N/mm ²	SS , N/mm ²
25/75	589,8	1061,6	10,8	46,7	8,8	2252	0,23	1,00
30/70	589,8	959,8	14,3	75,0	9,1	2156	0,25	0,95
35/65	590,9	901,6	12,2	71,3	9,6	2215	0,24	0,99

Se observă că plăcile cu densitate redusă au proprietăți mult mai scăzute comparativ cu cele ale PAL cu densitate normală. În cazul rețetei cu 25% așchii de fag și 75% așchii de rășinoase:

- emisia de formaldehidă este cu până la 50,32% mai mare;
- umflarea în grosime este cu până la 52,11% mai mare, iar absorbția pe suprafață cu până la 34,97% mai mare;
- rezistența la încovoiere este cu până la 24,08% mai scăzută, iar modulul de elasticitate este cu până la 18,46% mai mic;
- coeziunea internă este cu până la 38,46% mai mică;
- rezistența la smulgerea suprafeței este cu până la 32,38% mai mică.

Majoritatea valorilor maxime ale majorării / reducerii fiecărei proprietăți au fost constatate la plăcile cu grosime de 18mm.

În concluzie, soluția reducerii densității fără adaos de accelerator nu este viabilă din cauză că unele proprietăți mecanice ies în afara limitelor impuse de standardele în vigoare.

Pentru a menține avantajul masei mai reduse al acestor plăci, se impune așadar introducerea unui aditiv. În cadrul prezentei cercetări a fost ales un aditiv pe bază de metilen-difenil-di-izocianat (MDI). Utilizarea acestui aditiv în producția de PAL nu este o noutate. Noutatea pe care o aduce prezenta cercetare se referă la cantitatea necesară, pentru care nu există studii

efectuate până în prezent. Considerente economice îndeamnă către valori de dozaj cât mai mici ale aditivului. Pe de altă parte, multe dintre performanțele fizico-mecanice ale plăcilor cresc cu creșterea procentajului de aditiv. Rezultatele prezentate în continuare vin cu răspunsuri bazate pe determinări cantitative precise și realizate după o metodologie riguros științifică, în vederea stabilirii unui dozaj optim și a lămuririi dilemei dacă creșterea procentajului de aditiv aduce sau nu îmbunătățiri atât de importante asupra proprietăților analizate încât să justifice creșterea prețului de cost.

4.6 Rezultate experimentale privind proprietățile plăcilor cu densitate scăzută, cu aditiv

4.6.8 Interpretarea rezultatelor și discuții

În Tabelul 4.36 sunt prezentate sintetizat valorile medii ale proprietăților determinate pe plăcile de densitate scăzută și cu adaos de MDI 025% sau 0,40%, pentru cele trei grosimi de placă, pentru a analiza tendința de creștere sau descreștere a respectivelor proprietăți sub influența adaosului de MDI. Valorile din Tabelul 4.36 sunt cele obținute pentru rețeta cu 25% așchii de fag și 75% așchii de rășinoase.

Tabelul 4.36

Influența procentajului de aditiv MDI asupra proprietăților PAL cu densitate redusă, de diferite grosimi

Grosimea plăcii	F_v mg/kg	G_t %	A_{s_i} mm	f_m N/mm ²	E_m N/mm ²	f_{t_i} N/mm ²	SS
Plăci cu densitate redusă, fără aditiv							
8 mm	1095,1 (31,4)	7,7 (2,21)	46,2 (7,19)	11,7 (0,35)	1996 (82,29)	0,38 (0,04)	0,57 (0,12)
18 mm	1028,5 (24,2)	10,4 (1,13)	47,8 (3,91)	10,4 (0,90)	2164 (81,93)	0,24 (0,03)	0,71 (0,14)
28 mm	1061,6 (28,1)	10,8 (0,46)	46,7 (3,36)	8,8 (0,45)	2252 (100,52)	0,23 (0,04)	1,00 (0,12)

Plăci cu densitate redusă, cu 0,25% aditiv							
8 mm	684,8 (9,8)	5,34 (0,56)	58,44 (2,39)	13,84 (1,25)	1843,02 (124,86)	0,39 (0,06)	0,98 (0,08)
18 mm	601,53 (10,2)	7,57 (1,04)	49,49 (3,78)	12,48 (0,82)	2235,70 (156,22)	0,35 (0,04)	1,11 (0,05)
28 mm	569,26 (11,2)	8,42 (0,38)	48,32 (2,11)	12,29 (0,77)	2185,51 (107,87)	0,26 (0,03)	1,19 (0,12)
Plăci cu densitate redusă, cu 0,40% aditiv							
8 mm	701,9 (12,4)	4,35 (0,30)	46,30 (2,73)	14,86 (0,84)	1853,94 (94,07)	0,40 (0,05)	0,95 (0,11)
18 mm	626,57 (11,1)	5,56 (0,99)	37,55 (3,53)	12,82 (0,50)	2259,33 (55,56)	0,36 (0,02)	1,15 (0,09)
28 mm	612,42 (8,7)	7,85 (1,75)	38,01 (5,65)	12,70 (0,44)	2189,12 (47,79)	0,27 (0,02)	1,24 (0,12)

Introducerea aditivului în procentaj de 0,25% în rețeta PAL a determinat modificarea proprietăților plăcilor față de cele cu densitate redusă fără aditiv, după cum urmează (Fig. 4.28):

- emisia de formaldehidă a scăzut cu 37,47-46,38%;
- umflarea în grosime a scăzut cu 22,04-30,65%;
- absorbția pe suprafață a crescut cu 3,46-3,53%;
- rezistența la încovoiere a crescut cu 18,29-30,65%;
- modulul de elasticitate nu a suferit o modificări;
- coeziunea internă a crescut cu până la 45,83%;
- smulgerea suprafeței a crescut cu 19,00-71,93%.

Introducerea aditivului în procentaj de 0,4 % (Fig. 4.29) în rețeta PAL a determinat:

- emisia de formaldehidă nu a mai scăzut, ci dimpotrivă, s-a majorat;
- umflarea în grosime și absorbția pe suprafață au mai scăzut;
- proprietățile mecanice nu au suferit creșteri semnificative.

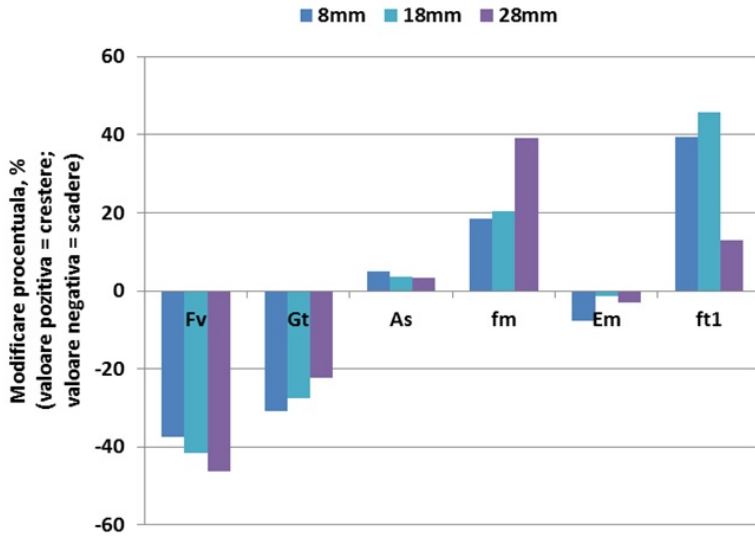


Fig. 4.28 Influența prezenței aditivului în procentaj de 0.25% asupra proprietăților selectate ale PAL de diferite grosimi, comparativ cu PAL de densitate redusă fără aditiv

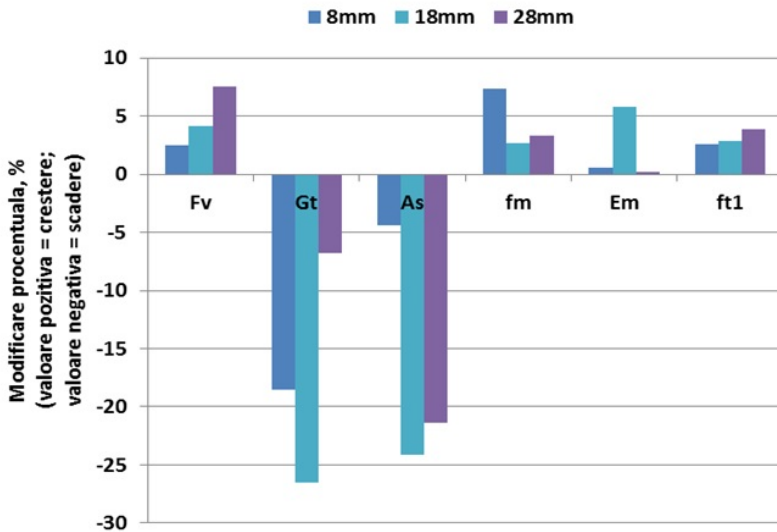


Fig. 4.29 Influența prezenței aditivului în procentaj de 0.40% asupra proprietăților selectate ale PAL de diferite grosimi, comparativ cu PAL de densitate redusă fără aditiv

În concluzie, mărirea adaosului de MDI de la 0,25% la 0,40% nu este justificată economic, decât în cazul unor cerințe specifice ale clientului (care ar dori, de exemplu, plăci cu umflare în grosime deosebit de mică), iar varianta optimă de rețetă pentru plăci cu densitate redusă, emisie de formaldehidă redusă și proprietăți mecanice îmbunătățite (față de plăcile cu densitate normală de aceeași grosime) se consideră cea cu adaos de 0,25% MDI.

4.7 Elaborarea unui program de analiză comparativă a datelor experimentale obținute

În prezent, pe piața plăcilor compozite pe bază de lemn, proprietățile acestora sunt determinate de către cerințele clientului în funcție de domeniul de utilizare. Chiar dacă pentru PAL există standarde cu cerințe detaliate privind proprietățile principale, o mare parte a clienților doresc ca unele proprietăți să fie peste anumite limite, iar altele sub limitele standardizate.

Având în vedere multitudinea combinațiilor posibile, este important să existe un instrument de vizualizare a acestora în vederea comparării mai facile și, în final, a alegerii variantei dorite. În acest scop, s-a realizat în mediul de programare Excel un program de analiză comparativă a variantelor posibile, având la temelie baza de date experimentale obținută în urma testărilor efectuate în cadrul prezentei cercetări.

Acest program vine în întâmpinarea acestei idei și se constituie ca un instrument de marketing original și binevenit.

4.8 Concluzii și recomandări pentru practica industrială

Rezultatele obținute arată că varierea procentajului de materie primă în rețeta de compoziție a PAL are efecte benefice asupra unor proprietăți, dar dezavantajoase asupra altora.

Astfel, de exemplu, plăcile cu proporție mai mare de aşchii foioase (35%) au rezistențe mecanice îmbunătățite, în timp ce plăcile cu proporție mai mare de aşchii răşinoase (75%) au absorbție de suprafață și umflare mai mică, la aceeași densitate a plăcii.

La toate cele trei grosimi analizate ale PAL s-a constatat că reducerea cu 7% a densității plăcilor, fără adaos de accelerator, a condus la scăderea tuturor performanțelor acestora. În concluzie, soluția reducerii densității fără adaos de accelerator nu este viabilă. Se impune introducerea unui aditiv.

Adaosul de MDI în stratul de miez a adus o contribuție importantă la îmbunătățirea proprietăților plăcilor cu densitate redusă. Dintre cele două procentaje de adaos studiate (0,25% și respectiv 0,40%), impactul cel mai mare l-a avut adaosul în procentaj de 0,25%. Față de plăcile cu densitate redusă fără aditiv, toate proprietățile principale ale PAL s-au îmbunătățit după cum urmează:

- emisia de formaldehidă a scăzut cu până la 46,38%;
- umflarea în grosime a scăzut cu până la 30,65%;
- rezistența la încovoiere a crescut cu până la 30,65%;
- coeziunea internă a crescut cu până la 45,83%.

Procentajul mai mare (de 0,40% MDI) a îmbunătățit în continuare unele proprietăți, în special umflarea în grosime și absorbția pe suprafață, dar nu a avut efect benefic asupra emisiei de formaldehidă sau a rezistențelor mecanice.

CAPITOLUL 5.

CONSIDERAȚII ECONOMICE

Pe lângă efectele reducerii densității concomitent cu adaosul de MDI în doze diferite asupra proprietăților PAL prezentate și discutate anterior, pentru alegerea variantei optime intervine și aspectul economic, respectiv cuantumul influenței acestor rețete asupra costului produsului.

În Tabelul 5.1 sunt prezentate costurile cu materia primă lemnoasă, adeziv și aditiv (după caz), exprimate în euro per kg de placă, aferente producerii PAL după rețeta de materie primă lemnoasă cu 25% așchii de fag și 75% așchii de rășinoase.

Tabelul 5.1

Costuri implicate de producția unui kg de PAL

Materia primă necesară pentru producerea 1 m ³ PAL:	PAL fără MDI densitate normală (euro/kg)	PAL cu 0,25% MDI și densitate redusă (euro/kg)	PAL cu 0,40% MDI și densitate redusă (euro/kg)
Lemn celuloză fag	0,06 €	0,06 €	0,06 €
Lemn celuloză rășinos	0,07 €	0,07 €	0,07 €
Adeziv UF - CL	0,32 €	0,32 €	0,32 €
Adeziv UF - SL	0,31 €	0,31 €	0,31 €
Întăritor (Sulfat de amoniu)	0,29 €	0,29 €	0,29 €
Parafină (Solid)	1,01 €	1,01 €	1,01 €
Amoniac soluție 25%	0,26 €	0,26 €	0,26 €
Acid stearic	1,11 €	1,11 €	1,11 €
MDI (I-BOND)	-	2,25 €	2,25 €

În Tabelul 5.2 sunt prezentate cantitățile necesare, în kg/m³ de placă și astfel, prin înmulțirea valorilor din Tabelele 5.1 și 5.2 rezultă costurile pentru producerea unui m³ de PAL, aferente acestei rețete de material lemnos în cazul celor trei rețete viabile, cu și fără aditiv (Tabelul 5.3).

Toate calculele se bazează pe prețurile de materie primă din primul trimestru al anului 2018, considerând ca materie primă principală lemnul de celuloză rășinos și celuloză fag.

Tabelul 5.2

***Cantități necesare pentru producția unui m³ de PAL,
pentru rețeta cu 25% așchii de fag / 75% așchii de rășinoase***

Cantități de materii prime consumate pentru producerea 1 m ³ PAL:	PAL fără MDI densitate normală (kg/m ³)	PAL cu 0,25% MDI și densitate redusă (kg/m ³)	PAL cu 0,40% MDI și densitate redusă (kg/m ³)
Lemn celuloză fag	300	279	279
Lemn celuloză rășinos	900	837	837
Adeziv UF - CL	48,73	45,32	45,32
Adeziv UF - SL	28,05	26,09	26,09
Întăritor (sulfat de amoniu)	1,230	1,230	1,230
Parafină (Solid)	1,350	1,350	1,350
Amoniac soluție 25%	0,021	0,021	0,021
Acid stearic	0,071	0,071	0,071
MDI (I-BOND)	-	1,450	2,380

Tabelul 5.3

Costuri implicate de producția unui m³ de PAL cu densitate normală fără adaos de MDI și cu densitate scăzută cu adaos de MDI, pentru rețeta cu 25% așchii de fag / 75% așchii de rășinoase

Costuri totale la producerea 1 m ³ de PAL:	PAL fără MDI densitate normală (euro/m ³)	PAL cu 0,25% MDI și densitate redusă (euro/m ³)	PAL cu 0,40% MDI și densitate redusă (euro/m ³)
Costuri lemn	84,79 €	78,86 €	78,86 €
Costuri adeziv CL	15,35 €	14,28 €	14,28 €
Costuri adeziv SL	8,56 €	7,96 €	7,96 €
Costuri întăritor	0,35 €	0,35 €	0,35 €
Costuri parafină	1,36 €	1,36 €	1,36 €
Costuri amoniac	0,01 €	0,01 €	0,01 €
Costuri acid stearic	0,08 €	0,08 €	0,08 €
Costuri MDI	-	3,26 €	5,36 €
Total costuri pe m³ PAL	110,49 €	106,14 €	108,24 €

Similar s-au efectuat calculele și pentru rețeta cu 30% așchii de fag și 70% așchii de rășinoase și respectiv pentru rețeta cu 35% așchii de fag și 65% așchii de rășinoase.

Analizând comparativ costurile prezentate se observă că toate variantele de PAL cu densitate redusă și cu adaos de MDI studiate sunt mai ieftine comparativ cu PAL de densitate normală, aceasta datorându-se în principal consumului mai mic atât de așchii cât și de adeziv în cazul utilizării aditivului.

Pentru a evalua efectul acestor reduceri la nivelul unui an, s-a luat în considerare o producție anuală de 530 000 m³/an (corespunzătoare liniei de producție de la KASTAMONU ROMÂNIA din Reghin).

În Tabelul 5.4 sunt prezentate diferențele de cheltuieli anuale cu materia primă între variantele de PAL cu grosimea de 18mm, cu densitate standard și densitate redusă cu adaos de MDI pentru rețeta cu 25% așchii fag / 75% așchii din lemn de rășinoase.

Tabelul 5.4

Cheltuieli anuale la producția plăcilor de 18mm cu densitate standard și densitate redusă cu adaos de MDI, pentru rețeta cu 25% așchii fag / 75% așchii din lemn de rășinoase

Calcul estimative la o producție anuală de 530.000 m ³ /an	Total cost materii prime, €	Diferența față de PAL cu densitate normală, €	Diferența față de PAL cu densitate normală, %
Total costuri, în euro, la PAL cu densitate normală fără MDI	58.560.069	-	-
Total costuri, în euro, la PAL cu densitate redusă, cu MDI 0,25%	56.256.456	- 2.303.613 €	-3,92%
Total costuri, în euro, la PAL cu densitate redusă, cu MDI 0,40%	57.365.481	- 1.194.588 €	-2,02%

Notă : S-a procedat la fel și pentru celelalte rețete lemnoase.

Analizând rezultatele din Tabelul 5.4 se poate observa că reducerea cheltuielilor în cazul utilizării aditivului MDI este considerabilă .

Economia care se înregistrează în cazul introducerii în rețeta PAL a aditivului MDI în procentaj de 0,25% este de ordinul milioanelei (cca. 2,3 milioane € / an) față de rețeta PAL cu densitate normală, fără aditiv.

CAPITOLUL 6.

CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

6.1. Concluzii generale

Ambele obiective stabilite în cadrul prezentei teze de doctorat au fost îndeplinite.

Astfel, s-a proiectat și s-a implementat pe linia tehnologică de producere a PAL de la KASTAMONU ROMANIA (Reghin) un sistem în linie de preparare a emulsiei de parafină. Rezultatele obținute prin testele efectuate după implementare, prezentate în capitolul 3 al tezei, demonstrează eficiența soluției propuse din punct de vedere al:

- funcționalității fără întreruperi sau blocaje;
- calității produsului obținut nu numai prin eliminarea apariției petelor uleioase, dar și prin îmbunătățirea unor proprietăți fizice (umflarea în grosime, absorbția pe suprafață) și mecanice (coeziunea internă) ale plăcilor, datorită posibilității unui control riguros al concentrației de parafină solidă în emulsie;
- reducerii consumului specific necesar datorită conținutului redus de substanță solidă în preparat, respectiv obținerea unor particule de parafină mai mici în emulsia stabilizată;
- reducerii costurilor raportate la 1m³ de PAL, prin reducerea costurilor de transport, creșterea vitezei de producție, îmbunătățirii eficienței din punct de vedere logistic, dar și prin soluția reutilizării apelor uzate rezultate din procesul de producție (Lengyel 2016).

Economia realizată prin aplicarea soluției propuse, respectiv prin înlocuirea emulsiei de parafină industrială cumpărată cu o emulsie preparată în linie este de peste 600.000 euro/an.

Referitor la al doilea obiectiv propus, vizând reducerea simultană a densității și emisiei de formaldehidă a PAL, rezultatele obținute în urma cercetării experimentale au permis formularea următoarelor concluzii:

- anumite proprietăți ale PAL pot fi îmbunătățite și numai prin simpla variere a compoziției de materii prime lemnoase, astfel: rețeta PAL cu 35% așchii de fag și 65% așchii de rășinoase s-a dovedit a fi caracterizată de cele mai mici emisii de formaldehidă, cele mai mari rezistențe la încovoiere și cele mai mari valori ale coeziunii interne, în timp ce rețeta cu 25% așchii de fag și 75% așchii de rășinoase s-a dovedit a fi cea mai performantă cu privire la umflarea în grosime;

- este posibilă realizarea unor plăci ușoare prin simpla reducere a cantității de așchii (s-a mers până la o reducere cu 7% a densității, astfel încât plăcile să-și mențină manevrabilitatea), dar proprietățile fizico-mecanice scad sub valorile standardizate sau ajung foarte aproape de limita admisibilă;

- este posibilă reducerea simultană a densității și a emisiei de formaldehidă a PAL, fără a afecta proprietățile mecanice și costul de producție al plăcilor, dar numai prin utilizarea unui aditiv în rețeta adezivului;

- utilizarea în rețeta de miez a plăcilor de densitate redusă (cu 7%) a unei cantități de aditiv MDI pe bază de izocianat permite:

- reducerea emisiei de formaldehidă cu până la 21,98%;
- reducerea umflării în grosime cu până la 51,11%;
- creșterea rezistenței la încovoiere cu până la 14,41%;

față de plăcile cu densitate normală de aceeași grosime; coeziunea internă și modulul de elasticitate scad, dar nu cu mult;

- adăugarea cantității de MDI într-o proporție mică (0,25%) s-a dovedit a fi soluția mai avantajoasă atât din punct de vedere al modificării (reducerii) emisiei de formaldehidă, cât și din punct de vedere economic;

- rețetele de PAL cu densitate redusă și adaos de 0,25% MDI permit reducerea costului de producție cu până la 4,35 €/m³ față de plăcile cu densitate normală de aceeași grosime, ceea ce la nivelul unei capacități de producție de 530000 m³/an se soldează cu o economie de 2,3 mil. €/an.

Prin cercetările efectuate, a fost atins obiectivul general al tezei, acela de a aduce contribuții tehnologiei actuale de fabricare a plăcilor din aşchii de lemn (PAL) în vederea îmbunătățirii unor proprietăți ale acestora fără a afecta costul de producție. Mai mult chiar, a fost posibilă reducerea costului de producție a plăcilor atât prin implementarea sistemului de preparare in-line a emulsiei de parafină, cât și prin găsirea unor rețete care să asigure proprietăți îmbunătățite ale PAL la un cost mai redus și prin reducerea cheltuielilor legate de aprovizionare, depozitare și logistică.

6.2 Contribuții originale

Contribuțiile originale ale autorului se regăsesc în toate etapele de elaborare a tezei. Dintre cele mai importante pot fi amintite următoarele:

- proiectarea constructivă și dimensională a sistemului de preparare in-line a emulsiei de parafină; implementarea acestuia pe linia industrială de producție PAL de la SC Kastamonu România SA și testarea funcționalității acestuia;
- evaluarea efectelor implementării acestui sistem asupra calității plăcilor și asupra costului de producție ;
- stabilirea metodologiei de experimentare și realizarea plăcilor după rețetele stabilite a fi testate;
- crearea unei baze de date privind proprietățile PAL în funcție de rețeta de materii prime (material lemnos și adeziv/aditiv) aplicată;
- evaluarea cantitativă, după o metodă riguros științifică, a cantității de aditiv (MDI) care să permită reducerea simultană a densității și emisiei de formaldehidă, fără a mări costul de producție, iar economiile realizate prin

reducerea consumurilor prin reducerea densității să depășească substanțial costurile suplimentare generate de consumul necesar de aditiv;

- crearea unui programul de analiză comparativă în mediul de programare Excel, conceput ca instrument de selecție pe baza proprietăților cerute de client a produsului (PAL) care răspunde cel mai bine acestor cerințe;
- interpretarea rezultatelor și formularea concluziilor pentru practica industrială.

6.3 Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat au fost diseminate în cadrul a **5 articole** (vezi Bibliografie), dintre care **1 articol** în **revistă indexată ISI**, **3 articole** în **reviste indexate BDI** și **1 articol** prezentat la o **conferință internațională** de profil și publicat în buletinul acesteia.

Totodată rezultatele obținute au fost aduse la cunoștința fiecărui departament de producție al grupului Kastamonu Entegre din cele 10 locații ale acesteia din lume, și în unele fabrici deja se studiază oportunitatea implementării acestuia.

6.4 Direcții viitoare de cercetare

În ceea ce privește direcțiile viitoare de cercetare în prima fază se dorește extinderea cercetărilor și pe alte categorii de produs (de exemplu, Super E0).

O altă direcție de cercetare posibilă este definirea rețetelor de producție în cazul produselor speciale din categoria celor rezistente la umiditate (de ex. P3) sau portante radiale etc.

Totodată se pune în discuție și folosirea de produse de tip MDI pe stratul de suprafață, în cantități suficient de mici pentru ca produsul să nu fie influențat negativ din punct de vedere al costului de producție.

BIBLIOGRAFIE (selecție)

Alves P.A. (2011). Hydrophobic Agents for Particleboards: Formulation and A Laboratorial Scale Testing Method Development. Extended abstract, online at: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143402971/Extended%20abstract%20-%20Pedro%20Alves.pdf>

ANSI A 208.1 & 2 Particleboard (standard American privind valorile-limită admisibile pentru emisia de formaldehidă din PAL)

AS/NZS 1859–1 & 2 (standard valabil în Australia și Noua Zeelandă privind valorile-limită admisibile pentru emisia de formaldehidă din PAL)

Ayrılmis N, Nemli G (2017). Effect of adhesive type on the quality properties of particleboard. In: Scientific Proceedings of the XIV Int. Congress „Machines, Technologies, Materials”, Varna (Bulgaria), 13-16 September, pp. 519-520.

Baharoglu M., Nemli G., Sari B., Ayrılmis N., Bardak S., Zekovic E. (2014). Effect of Paraffin Application Technique on the Physical and Mechanical Properties of Particleboard. [Science and Engineering of Composite Materials 21\(2\):191-195.](#)

Barbu MC (1999). Materiale compozite din lemn. Editura LuxLibris Braşov, I SBN 973-9240-80-1.

Barbu MC (2013) Forest and Wood Industry . Keynote Address : PRO LIGNO Vol. 9 N° 4 pp.3-6. Online la : http://www.proligno.ro/ro/articles/2013/4/Introductory%20Note_final.pdf

Barbu MC, Paulitsch (2015). Development of wood-based products worldwide. PRO LIGNO 11(4): 104 -109 . Online la: http://www.proligno.ro/ro/articles/2015/4/Barbu_development_final.pdf

Belciu B (2016) Online: <http://www.dailybusiness.ro/stiri-companii/pwc-suprafata-a-forestier-na-ional-a-crescut-la-cel-mai-ridicat-nivel-de-la-1929-ncoace-110876/>

Bunyamin S., Gokay N., Baharoglu M., Bardak S., Zekovic E. (2012). The role of solid content of adhesive and panel density on the dimensional stability and mechanical properties of particleboard. *Journal of Composite Materials* 47(10):1247-1255.

Colakoglu G. (1993). The effects of plywood manufacturing factors on the formaldehyde emission and technological properties. PhD dissertation, Karadeniz Teknik University, Trabzon, Turkey.

Coşereanu C, Brenci L, Zeleniuc O, Fotin A. (2015). Effect of particle size and geometry on the performance of single-layer and three-layer particleboard made from sunflower seed husks. *BioResources* 10(1):1127-1136.

Cuk N, Kunaver M, Medved S (2011). Properties of particleboards made by using an adhesive with added liquified wood. *Materials and technology* 45(3):241-245.

Danghui D., Li F., Zhao T. (2012). Effects of Preparation Parameters on Paraffin Wax Microemulsion. *China Petroleum Processing and Petrochemical Technology* 14(1):15-19.

Dräger Accuro Operation Manual © Dräger Safety AG & Co. KGaA 8th edition - December 2005

Elbadawi M, Osman Z, Paridah T, Nasroun T, Kantiner W (2015). Properties of particleboards made from *Acacia seyal var seyal* using UF-tannin modified adhesives. *Cellulose Chemistry and Technology* 49(3-4):369-374.

EN 312:2010. Particleboards. Specifications.

EN 326-1:1994 (confirmed 2014). Wood-based panels: Sampling and cutting of test pieces and inspection.

Grigoriou A (1987) Formaldehyde emissions from the edges and faces of various wood based materials. *Holz als Roh- und Werkstoff* 45(2):63-67.

Hundhausen U, Stohldreier R, Militz H, Mai C (2009). Procedural influence on the properties of particleboards made from AKD modified chips. *European Journal of Wood and Wood Products* 67(3):303-311.

Istrate V. (1983). *Tehnologia produselor aglomerate din lemn*. Editura Didactică și Pedagogică, București.

JIS A 5908 & 5905 (standard japonez privind valorile-limită admisibile pentru emisia de formaldehidă din PAL)

Juliana AH, Paridah MT, Rahim S, Azowa IN, Anwar UMK (2012). Properties of particleboard made from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) as function of particleboard geometry. *Materials and Design* 34(2012):406-411.

Kazakevics AAR (1984). Studies on the reduction of formaldehyde emission from particleboard by polymers. Teză de doctorat. Universitatea din Auckland (Noua Zeelandă). Online la: <https://researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/2432>.

Lengyel K, Barbu MC, Câmpean M, Bădin N, Bedeleian B. (2018). Improving properties of particleboards with reduced density. *BioResources* 13(1):1289-1302.

Lengyel K, Câmpean M (2018). Influence of isocyanate additive upon some selected properties of particleboards. *Pro Ligno* 14(3):29-35.

Lengyel K, Bădin N, Câmpean M (2017). In-line preparation system for the paraffin emulsion used within a particleboards manufacturing line. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II, Vol. 10 (59) No.1*, pp. 43-48.

Lengyel K, Câmpean M. (2017). Industrial research concerning the simultaneous reduction of density and formaldehyde emission of particleboards. In: *Proceedings of International Conference „Wood Science and Engineering in the Third Millennium” - ICWSE 2017*, pp. 302-312.

Lengyel K. (2016). Reutilizarea apelor uzate rezultate din procesul fabricării plăcilor aglomerate din lemn cu ajutorul unui separator dublu vertical / Waste water reusing system with vertical double separator in a wood composite board factory. Revista "Creativitate și inovare", Vol. 8, p.034 – 7 pagini.

Lunguleasa A. (2005) Semifabricate II Tehnologia produselor Stratificate si aglomerate . Tipografia Universitatii "Transilvania" din Brasov

Mantanis GI, Athanassiadou ET, Barbu MC, Wijnendaele K (2017) Adhesive systems used in the European Particleboard, MDF and OSB Industries.

Wood Material Science & Engineering, 2017. Online at:

https://www.teilar.gr/dbData/ErErgo/Adhesive_systems_used_in_the_European_particleboard_MDF_and_OSB_industries.pdf

Mihai D., Zeleniuc O., Petrovici V. (2010) . Materiale tehnologice pentru industria lemnului. Editura Universitatii "Transilvania" Brasov .

Myers GE (1989). Advances in methods to reduce formaldehyde emission. In: Composite board products for furniture and cabinets-Innovations in manufacture and utilization: Proceedings 47357; 1986 November 11-13; Greensboro, NC. Madison, WI: Forest Products Research Society; 1989: 58-64.

Niemz P, Sonderegger W (2017). Holzphysik. Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag.

Petrovici V, Agache C. (2003). Aspecte și tendințe în standardizarea internă și internațională privind emisia de aldehydă formică din industria lemnului In: Proceedings of National Conference „Wood Science and Engineering in the Third Millenium”, Brașov-Romania, noiembrie 2003.

Sackey EK, Semple KE, Oh S-W, Smith GD (2008). Improving core bond strength of particleboard through particle size distribution. Wood and Fiber Science 40(2):214-224.

Salem MZM (2011) Estimation of formaldehyde emission from composite wood products. PhD Thesis, defended at Czech University of Life Sciences, Prague.

Schwab H, Marutzki R, Mayer B (2007) European Regulations for Formaldehyde. Online at:

<http://owic.oregonstate.edu/sites/default/files/pubs/Schwab.pdf>

SR EN 120/1995. Plăci pe bază de lemn. Determinare a conținutului de aldehydă formică. Metoda de extracție numită metoda cu perforator.

SR EN 310:1996. Plăci pe bază de lemn. Determinare a modulului de elasticitate la încovoiere și a rezistenței la încovoiere

SR EN 311:2003. Plăci pe bază de lemn. Smulgerea suprafeței. Metodă de încercare

SR EN 317:1996. Plăci de așchii și plăci de fibre. Determinarea umflării în grosime după imersie în apă.

SR EN 319:1997. Plăci de așchii și plăci de fibre. Determinare a rezistenței la tracțiune perpendiculară pe fețele panoului.

SR EN 322:1996. Plăci pe bază de lemn. Determinare a umidității

SR EN 323:1996. Plăci pe bază de lemn. Determinare a densității.

SR EN 382-1:1997. Plăci de fibre de lemn. Determinare a absorbției de suprafață.

SR EN 717-1/2005. Plăci pe bază de lemn. Determinarea emisiei de aldehydă formică. Partea 1: Emisia de aldehydă formică prin metoda camerei.

SR EN 717-3/1998. Plăci pe bază de lemn. Determinarea emisiei de aldehydă formică. Partea 3: Emisia de aldehydă formică prin metoda flaconului.

SR EN ISO 12460-3:2016. Plăci pe bază de lemn. Determinarea emisiei de aldehidă formică. Partea 3: Metoda analizei gazului.

Standfest G, Petutschnigg A, Dunky M, Zimmer B (2008). Rohdichtebestimmung von Holzwerkstoffen mittels Computertomographie. *European Journal of Wood and Wood Products* 67(1):83-87.

Thoemen H., Irle M. Sernek M. (2010) *Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists*. Brunel University Press. ISBN: 978-1-902316-82-6 Online la : <http://www.cost.eu/media/publications/10-35-Wood-Based-Panels-An-Introduction-for-Specialists>.

Timar M. C. (2006) *Wood adhesives*. Editura Universitatii Transilvania din Brasov.

Vargha V (1998). Urea-formaldehyde resins and free formaldehyde content. *Acta Biologica Hungarica* 49(2-4):463-475.

Wang S-Y, Yang T-H, Lin L-T, Lin C-J, Tsai M-J (2007). Properties of low-formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. *Building and Environment* 42 (2007):2472-2479.

Warmbier K, Wilkzynski M (2016). Resin content and board density dependent mechanical properties of one-layer particleboards made from willow (*Salix viminalis*). *Drvna Industrija* 67(2):127-131.

Younesi-Kordkheili H, Pizzi A, Niyatzade (2015). Reduction of particleboard emission from particleboard by phenolated Kraft lignin. *Journal of Adhesion* 92(6):485-497.

Zeleniuc O (2016) Standards and regulations concerning the formaldehyde emissions from wood panels. *RECENT Journal* Vol. 17, N° 3(49) November 2016, pp. 266-271.

Scurt rezumat

Teza de doctorat abordează o temă de actualitate în domeniul ingineriei fabricării PAL, cu aplicabilitate directă în practica industrială. Cercetările tezei s-au axat pe două obiective. Primul obiectiv a constat în găsirea unei soluții tehnologice eficiente pentru înlocuirea emulsiei industriale de parafină, cu un conținut ridicat de ulei, care constituie principala cauză a apariției unor pete uleioase pe suprafața plăcilor. După implementarea soluției propuse la SC KASTAMONU ROMANIA Reghin, s-au evaluat și efectele acesteia asupra proprietăților PAL și a costurilor de fabricație.

Al doilea obiectiv a constat în testarea mai multor rețete de materii prime și fabricarea unor loturi industriale de PAL cu densitate normală, apoi cu densitate redusă cu 7% față de cea normală și apoi cu densitate redusă dar și cu aditiv pe bază de diizocianat. S-au determinat comparativ mai multe proprietăți ale PAL, vizând în principal reducerea simultană a densității și emisiei de formaldehidă, dar fără a afecta umflarea în grosime, rezistența la încovoiere sau costurile de producție. Cercetarea experimentală laborioasă, realizată în premieră pe o linie industrială de producție, a avut ca finalitate alcătuirea unei baze de date, care se constituie ca un instrument util în procesul de decizie asupra rețetei celei mai indicate pentru a obține anumite performanțe dorite ale PAL.

Short summary

The doctoral thesis deals with a current issue in PB manufacturing technology, with direct applicability in industrial practice. The researches focused on two objectives. The first objective was to find an efficient technological solution for replacing the industrial paraffin emulsion, which has a high oil content, causing oily stains on the surface of the boards. After implementing the proposed solution at SC KASTAMONU ROMANIA Reghin, its effects upon the properties of PB and the manufacturing costs were also assessed.

The second objective was to test several raw materials recipes by manufacturing industrial batches of PB with normal density boards, then with a 7% lower density without additive, and then, by using a di-isocyanate-based additive as well. Several properties of the PB were determined, but simultaneous reduction of density and formaldehyde emission, without affecting the swelling in thickness, the bending strength or the manufacturing costs, was the main task envisaged. The laborious experimental research, performed for the first time on an industrial production line, lead as main outcome to a database, which can be a useful instrument in the decision process concerning the most appropriate recipe when certain PB performances are targeted.

CURRICULUM VITAE**INFORMAȚII PERSONALE**

Nume și prenume Lengyel Karoly
 Adresa
 Telefon
 E-mail karoly.lengyel@kastamonu.ro

**EDUCAȚIE ȘI FORMARE**

- 01.10.2015 – prezent Studii doctorale / Universitatea Transilvania din Brasov
- 1990 – 1995 Diploma de licență / Universitatea Tehnica Cluj Napoca
- 1984 – 1988 Diploma de bacalaureat / Liceul Nr. 2 Reghin

CURSURI DE CALIFICARE

Perioada / Calificarea : 2010 – 2011/ Executiv MBA / Hako Business Co
 2010 / Dieffenbacher Service Training for Conti Panel Systems/ Eppingen
 2004 / Auditor sistem management al mediului / TUV București
 2003 / Auditor extern sistem de management al calității / TUV Budapesta
 2003 / Reprezentantul managementului pentru calitate / TUV Budapesta
 2003 / Specialist în sisteme de calitate / TUV București
 2002 / Auditor intern sisteme de calitate / Prisma Quality System Ploiești

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

Perioada / Funcția 2016 – prezent / Director Producție și Mentenanță Kastamonu România
 2001 -2016 / Director Producție Kastamonu România (Prolemn)
 1995 – 2001 / Șef secție Agroindustrială SA Reghin

Activitate publicistică - 6 articole științifice, publicate pe parcursul elaborării tezei de doctorat, dintre care 5 ca prim autor: 2 articole în reviste indexate ISI, 3 în reviste indexate BDI și 1 articol prezentat la o conferință internațională de profil și publicat în buletinul acesteia.

COMPETENȚE

Competente lingvistice - Romana citit, scris și vorbit – excelent (C2)
 Maghiara citit, scris și vorbit – excelent (C2)
 Engleza citit, scris și vorbit – bine (B2)

Alte aptitudini și competențe - competențe în utilizarea calculatorului; serios ; automotivat; coordonat; proactiv.

CURRICULUM VITAE

PERSONAL INFORMATION

Name and surname Lengyel Karoly
Address
Phone
E-mail karoly.lengyel@kastamonu.ro



EDUCATION AND TRAINING

- 01.10.2015 – present Doctoral Studies / Transilvania University of Brasov
- 1990 – 1995 Bachelor Engineer Degree / Technical University of Cluj Napoca
- 1984 – 1988 Baccalaureate Diploma / High School Nr. 2 Reghin

TRAINING COURSES

Period / Qualification: 2010 – 2011/ Executive MBA / Hako Business Co
2010 / Dieffenbacher Service Training for Conti Panel Systems/ Eppingen
2004 / Environmental Management System Auditor / TUV Bucharest
2003 / External Auditor for Quality Management Systems / TUV Budapest
2003 / Quality Management Representative / TUV Budapest
2003 / Specialist in Quality Systems / TUV Bucharest
2002 / Internal Auditor for Quality Systems / Prisma Quality System Ploiesti

PROFESSIONAL EXPERIENCE

Period / Function 2016 – present / Production and Maintenance Director of Kastamonu Romania
2001 –2016 / Production Director of Kastamonu Romania (Prolemn SA)
1995 – 2001 / Head of Department Agroindustrial SA Reghin

Publishing activity: 6 scientific articles published during the elaboration of the doctoral thesis, among which 5 as first author: 2 in ISI-indexed journals, 3 in BDI indexed journals and 1 article presented at an international conference in the field and published in its proceedings.

COMPETENCES

Language skills - Romanian read; written and spoken – excellent (C2)
Hungarian read; written and spoken – excellent (C2)
English read; written and spoken – good (B2)

Other skills and competences - computer-competent; serious; self-motivated; coordinated; proactive.