



ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Design de mobilier și inginerie a lemnului

Ing. Sergiu Valeriu GEORGESCU

**CERCETĂRI PRIVIND REALIZAREA UNOR PANOURI
INOVATIVE PE BAZĂ DE LEMN CU PROPRIETĂȚI TERMO ȘI
FONO-IZOLANTE CU APLICAȚII ÎN MEDIUL EXTERIOR**

**RESEARCH ON THE CONSTRUCTION OF INNOVATIVE
WOOD-BASED PANELS WITH THERMAL AND SOUND-
INSULATING PROPERTIES WITH OUTDOOR APPLICATIONS**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof. dr. ing. Camelia Coșereanu

BRAȘOV, 2021

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov
Nr. 11185 din 13-04-2021

Conf. dr. ing. Alin OLĂRESCU, Președinte,
Universitatea Transilvania din Brașov

Prof. dr. ing. Camelia COȘEREANU, Conducător științific,
Universitatea Transilvania din Brașov

Prof. dr. ing. Dorina Nicolina ISOPESCU, Referent oficial,
Universitatea Tehnică "Gh. Asachi", Iași

CS I dr. ing. Ionel POPA Referent oficial,
Stațiunea de Cercetare, Dezvoltare și Experimentare Cîmpulung Moldovenesc

Prof. dr. ing. Mihai ISPAS, Referent oficial,
Universitatea Transilvania din Brașov

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

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util,
pe adresa sergiugeorgescu@unitbv.ro

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

Vă mulțumim.



MULȚUMIRI

În primul rând mulțumesc conducătorului de doctorat, Prof. univ. dr. ing. Camelia Coșereanu, care de-a lungul întregii perioade doctorale a fost mentor științific și sub a cărei îndrumare s-a realizat această teză.

Mulțumesc colectivului Facultății de Ingineria Lemnului de la care, de-a lungul timpului, am primit încurajări, sprijin moral și științific în continuarea evoluției mele în acest domeniu numit Inginerie Forestieră.

Mulțumesc familiei mele pentru suportul moral și devotamentul de care au dat dovadă, sprijinindu-mă la nevoie și fiindu-mi parteneri morali la realizarea prezentei teze.

Braşov, 2021

Drd. Ing. Sergiu Valeriu Georgescu

	Pg. teza	Pg. rezumat
CUPRINS		
LISTA DE NOTAȚII	1	1
LISTA DE ABREVIERI	3	2
LISTA DE FIGURI	5	-
LISTA DE TABELE	8	-
LISTA DE ANEXE	10	-
INTRODUCERE.....	11	4
1. Stadiul actual al cercetărilor în domeniul materialelor de construcții cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante	14	6
1.1. Considerații teoretice privind unele proprietăți fizice ale materialelor termoizolante și fono-absorbante.....	14	6
1.2. Materiale și panouri cu proprietăți termoizolante și fono-absorbante utilizate în prezent în construcția locuințelor.....	19	10
1.3. Reglementări referitoare la casele eficiente din punct de vedere energetic.....	32	10
1.4. Stadiul actual al cercetărilor privind proprietățile termoizolante și fonoabsorbante ale unor materiale și structuri.....	35	13
1.5. Concluzii privind stadiul actual al cercetărilor. Oportunitatea alegerii temei.....	42	15
2. Obiectivele tezei.....	44	17
3. Cercetări experimentale privind proprietățile termoizolante și fonoabsorbante ale materiilor prime utilizate la realizarea panourilor.....	47	19
3.1. Obiectivele cercetării experimentale.....	47	19
3.2. Planul experimental.....	47	19
3.3. Materialele utilizate în cercetarea experimentală.....	48	19
3.4. Metode și echipamente utilizate în cercetarea experimentală.....	49	21
3.4.1. Determinarea umidității și densității materialelor lignocelulozice.....	49	21
3.4.2. Determinarea experimentală a coeficientului de conductivitate termică...	51	21
3.4.3. Determinarea experimentală a coeficientului de absorbție acustică.....	53	22
3.5. Rezultatele cercetării experimentale.....	55	22
3.5.1. Densitatea și umiditatea materialelor investigate.....	55	22
3.5.2. Coeficientul de conductivitate termică.....	56	23
3.1.1. Coeficientul de absorbție acustică.....	62	28
3.6. Concluzii privind cercetările experimentale asupra proprietăților materialelor investigate.....	63	29

4. Realizarea panourilor în condiții de laborator și testarea performanțelor termice și acustice ale acestora	66	31
4.1. Obiective.....	66	31
4.2. Realizarea experimentală a panourilor	67	31
4.3. Testarea panourilor și rezultatele experimentale privind determinarea coeficientului de conductivitate termică.....	71	34
4.4. Testarea panourilor și rezultatele experimentale privind determinarea coeficientului de absorbție acustică.....	81	41
4.5. Concluzii privind performanța termică și acustică a panourilor investigate.....	87	46
5. Cercetări aplicative privind utilizarea panourilor termoizolante și fonoabsorbante propuse și a materialelor termoizolante în vrac în structuri de pereți exteriori pentru case din lemn.....	90	49
5.1. Obiectiv.....	90	49
5.2. Realizarea structurilor de pereți exteriori utilizați în cercetarea experimental.....	90	49
5.3. Calculul teoretic al transmitanței termice pentru structurile de pereți de exterior pentru case din lemn, cu considerarea panourilor propuse.....	94	51
5.3.1. Măsurarea coeficientului de conductivitate termică, a rezistenței termice pentru structurile de pereți exteriori pentru case din lemn, cu utilizarea panourilor propuse.....	95	52
5.3.1.1. Metoda și echipamentele utilizate în cercetare.....	95	52
5.3.1.2. Rezultate experimentale. Coeficientul de conductivitate termică.....	95	52
5.3.1.3. Rezultate experimentale. Rezistența termică.....	99	55
5.4. Transmitanța termică măsurată în condiții reale (in situ).....	111	60
5.4.1. Metoda și echipamentele utilizate în cercetare.....	111	60
5.5. Structuri de pereți de exterior pentru case din lemn, propuse pentru îndeplinirea conceptului de casă pasivă pentru zonele reci.....	119	63
5.6. Flux termic unitar. Flux unitar de vapori.....	125	65
5.7. Considerații experimentale privind proprietățile fonoabsorbante ale structurilor propuse pentru pereți de exterior pentru case din lemn.....	134	68
5.8. Concluzii privind utilizarea panourilor propuse în structuri de pereți exteriori pentru case din lemn cu diferite materiale de umplutură.....	137	71
6. Concluzii generale. Contribuții originale. Diseminarea rezultatelor. Direcții viitoare de cercetare.....	140	73

6.1. Concluzii generale.....	140	73
6.2. Contribuţii originale.....	141	74
6.3. Diseminarea rezultatelor.....	142	75
6.4. Direcţii viitoare de cercetare.....	144	76
Bibliografie	146	78
Anexa 1. Vată minerală de sticlă.....	151	-
Anexa 2. Vată minerală bazaltică.....	152	-
Anexa 3. Placi de polistiren expandat.....	152	-
Anexa 4. Placi din plută expandată.....	153	-
Anexa 5. Folii bariere de vapori.....	153	-
Anexa 6. Calcul fibre celulozice.....	154	-
Anexa 7. Descrierea principalelor componente a sistemului de măsurare.....	155	-
Rezumat teză.....	166	83

	Pg. teza	Pg. rezumat
Contents		
LIST OF NOTATIONS		1
LIST OF ABREVIERS		2
LIST OF FIGHTS		-
LIST OF TABLES		-
ANNEX LIST		-
INTRODUCTION.....	11	4
1. Current state of research in the field of building materials with thermal and phonoabsorbent properties	14	6
1.1. Theoretical considerations concerning certain physical properties of heat-insulating and phono-absorbent materials	14	6
1.2. Materials and panels with thermal insulating and phono-absorbent properties currently used in the construction of dwellings	19	10
1.3. Regulations on energy-efficient homes	32	10
1.4. Current state of research on the thermal and phonoabsorbent properties of materials and structures	35	13
1.5. Conclusions on the current state of the research. Opportunity to choose the theme	42	15
2. Objectives of the thesis.....	44	17

3. Experimental research on the thermal insulating and phonoabsorbent properties of the raw materials used in the manufacture of panels.....	47	19
3.1. Objectives of experimental research	47	19
3.2. Experimental plan	47	19
3.3. Materials used in experimental research	48	19
3.4. Methods and equipment used in experimental research.....	49	21
3.4.1. Determination of humidity and density of lignocellulosic materials	49	21
3.4.2. Experimental determination of thermal conductivity coefficient.....	51	21
3.4.3. Experimental determination of the acoustic absorption coefficient	53	22
3.5. Results of experimental research	55	22
3.5.1. Density and humidity of investigated materials	55	22
3.5.2. Thermal conductivity coefficient.....	56	23
3.1.1. Acoustic absorption coefficient.....	62	28
3.6. Conclusions on experimental research on the properties of the investigated materials	63	29
4. Making panels under laboratory conditions and testing their thermal and acoustic performance	66	31
4.1. Objectives.....	66	31
4.2. Experimental construction of panels	67	31
4.3. Testing of panels and experimental results for the determination of the coefficient of thermal conductivity	71	34
4.4. Testing of panels and experimental results for the determination of the acoustic absorption coefficient	81	41
4.5. Conclusions on the thermal and acoustic performance of the investigated panels	87	46
5. Application research on the use of proposed heat-insulating and phonoabsorbent panels and bulk heat-insulating materials in exterior wall structures for wooden houses	90	49
5.1. Objective.....	90	49
5.2. Making exterior wall structures used in experimental research.....	90	49
5.3. Theoretical calculation of thermal transmission for outdoor wall structures for wooden houses, with consideration of proposed panels	94	51
5.3.1. Measurement of the coefficient of thermal conductivity, thermal resistance for exterior wall structures for wooden houses, using the proposed panels	95	52

5.3.1.1. Method and equipment used in research	95	52
5.3.1.2. Experimental results. Thermal conductivity coefficient	95	52
5.3.1.3. Experimental results. Thermal resistance.....	99	55
5.4. Thermal transmission measured under real conditions (in situ)	111	60
5.4.1. Method and equipment used in research	111	60
5.5. Outdoor wall structures for wooden houses, proposed for the fulfilment of the concept of passive house for cold areas	119	63
5.6. Unit thermal flow. Unit vapour flow	125	65
5.7. Experimental considerations concerning the phonoabsorbent properties of the proposed structures for exterior walls for wooden houses	134	68
5.8. Conclusions on the use of proposed panels in exterior wall structures for wooden houses with different fillers	137	71
6. General conclusions. Original contributions. Dissemination of results. Future Research Directions	140	73
6.1. General Conclusions	140	73
6.2. Original contributions.....	141	74
6.3. Dissemination of results	142	75
6.4. Future Research Directions.....	144	76
Bibliografie	146	78
Annex 1. Glass mineral wool.....	151	-
Annex 2. Basaltic mineral wool.....	152	-
Annex 3. Expanded polystyrene plates.....	152	-
Annex 4. Expanded cork tiles.....	153	-
Annex 5. Vapour barrier foils.....	153	-
Annex 6. Calculation of cellulosic fibres.....	154	-
Annex 7. Description of the main components of the measuring system.....	155	-
Summary (RO/EN).....	166	83

LISTA DE NOTAȚII

Denumire parametru	Simbol utilizat în cadrul tezei	Unitatea de măsură
Aria	A	m^2
Coeficient de absorbție acustică	α	-
Coeficient de conductivitate termică	λ	W/mK
Coeficient permisivitatea la vapori	Sd	m
Densitate	ρ	kg/m ³
Densitate aparentă	ρ_a	kg/m ³
Diferența de temperatura	ΔT	°C
Flux de căldură	Q	W
Flux termic unitar	q	W/m ²
Flux unitar de vapori	qv	Kg/m ² s
Grosime	t	mm
Grosime	L	m
Grosimea de calcul a stratului	d	m
Logaritmi naturali	ln	-
Masa finală	Wf	g
Masa inițială	Wi	g
Masă	m	Kg
Presiunea parțială a stratului 1	$Pv1$	Pa
Presiunea parțială a stratului 2	$Pv2$	Pa
Rezistența la transferul de vapori	Rv	m/s
Rezistența suprafeței externe	R_{se}	m ² K/W
Rezistența suprafeței interne	R_{si}	m ² K/W
Rezistența termică	R	m ² K/W
Rezistența termică a tuturor straturilor + Rsi și Rse	R_{tot}	m ² K/W
Rezistența termică a peretelui	R_p	m ² K/W
Rezistența termică specifică pe strat	R_s	m ² K/W
Temperatura exterioară	t_e	°C
Temperatura interioară	t_i	°C
Temperatura pe suprafața exterioară a peretelui	t_{p2}	°C
Temperatura pe suprafața interioară a peretelui	t_{p1}	°C
Timpul	t	s
Transmitanță termică	U	W/m ² K
Umiditatea materialului	H	%
Unitatea de timp	Dt	secunde
Volumul	Va	m ³
Volumul	V	m ³

LISTĂ DE ABREVIERI

Denumire detaliată	Abreviere utilizată în cadrul tezei
Acrilonitril butadien stiren	ABS
Beton celular autoclavizat	BCA
Card memorie (Secure Digital)	Card SD
Cauciuc	C
Fibre de lemn	FL
Folie de aluminiu	FAI
Hârtie măcinată	H
Institutul de Cercetare - Dezvoltare al Universităţii Transilvania din Braşov	ICDT
Lână	L
Instalaţie pentru măsurarea fluxului de căldură model 436 (Heat flow meter)	HFM Lambda 436/6
Organizaţia pentru standarde internaţionale	ISO
Panou cu cauciuc și ABS	C-ABS
Panou cu fibre de lemn cu aracet	FL
Panou cu fibre de lemn și ABS	FL-ABS
Panou cu fibre de lemn, ABS și stuf	FL-ABS-S
Panou cu fibre de lemn, cauciuc și ABS	FL-C-ABS
Panou cu fibre de lemn, polietilenă și ABS	FL-PE-ABS
Panou cu hârtie măcinată cu aracet	Hm
Panou cu hârtie măcinată și ABS	H-ABS
Panou cu hârtie măcinată, fibre de lemn și ABS	H-FL-ABS
Panou cu lână ABS cu grosime 20 mm	L-ABS-20
Panou cu lână ABS cu grosime 50 mm	L-ABS-50
Panouri din lemn de frasin tratat termic	PFTT
Panouri din lemn netratat	PFNT
Panouri vată bazaltică cu grosime de 20 mm	VB-20
Plăci aglomerate din aşchii de lemn	PAL
Plăci aglomerate din fibre de lemn	PFL
Plăci aglomerate din puzderie fibrolemnoasă	PAF
Plăci din aşchii de lemn lungi, dreptunghiulare, orientate	OSB
Plăci din fibre de lemn cu densitate medie	MDF
Polietilena de joasă densitate	PE
Rezistenţa termică determinată pe întreaga structură cu ajutorul instalaţiei HFM Lambda 436/6	R_{HFM}

Standard britanic european	BS EN
Standard de stat	STAS
Standard român european	SR EN
Statistical Office of the European Communities	EUROSTAT
Structură clasică cu trei plăci de ABS și lână	S3P
Structură clasică cu trei plăci de ABS și lână cu două straturi de material termoizolant	S3P2S
Structură clasică cu trei plăci de ABS și lână cu două straturi de material termoizolant	S3P4S
Stuf	S
Suma rezistențelor calculată pe baza coeficientului de conductivitate termică determinat de HFM LAMBDA 436/6 pentru fiecare strat de material	R_{SS}
Transmitanța termică determinată prin calculul sumei rezistențelor termice pentru fiecare strat rezultate din testele Lambda pe instalația HFM Lambda 436/6	U_{RSS}
Transmitanța termică obținută prin calcul rezistenței termice totale ale structurii obținute de la instalația HFM Lambda 436/6	U_{RHFM}
Transmitanța termică măsurată in SITU	U_{SITU}
Uniunea Europeană	UE

INTRODUCERE

Prezenta temă abordează un domeniu important al cercetărilor actuale și anume cel al materialelor termoizolante pentru pereți exteriori ai caselor cu structură din lemn și pe bază de lemn. Rezultatele acestei cercetări aduce beneficii atât din punct de vedere ecologic, cât și economic, deoarece vizează utilizarea unor materiale naturale și a unor materiale reciclabile cu perioadă mare de biodegradare, respectiv materiale plastice și cauciuc.

În prezent, oamenii au constatat că poluarea mediului înconjurător devine îngrijorătoare, pe de-o parte datorită utilizării în exces a unor materiale sintetice dăunătoare sănătății și pe de altă parte, datorită stocurilor mari de deșeuri care se descompun în zeci, sau sute de ani și care sunt depozitate deseori în sol, sau apele terestre, influențând totodată și pânzele freatice. Astfel, materialele naturale încep să revină în atenția cercetărilor, în special cele regenerabile, neutilizate până în prezent și cu caracteristici care le potențiază pentru a fi folosite în anumite aplicații, în care cele sintetice erau până acum suverane.

Gestionarea deșeurilor reprezintă o provocare majoră, atât pentru România, cât și pentru întreg mapamondul. Producția industrială la nivel european, conform Parlamentului European, trebuie să se bazeze pe o economie circulară. Economia circulară este un model de producție și consum care implică sortarea, reutilizarea, repararea, renovarea și reciclarea materialelor și produselor existente, cât mai mult posibil. În acest fel, ciclul de viață al produselor se extinde. În practică, această directivă duce la reducerea la minimum a deșeurilor. Când un produs ajunge la sfârșitul duratei sale de viață, există ca alternativă reintroducerea materialelor din care este produs în circuitul economic, acolo unde este posibil. Reutilizarea acestora aduce o valoare adăugată suplimentară și evident, are și efecte economice și ecologice. Acest plan de acțiune adoptat în 2015 de către Comisia Europeană (**European, 2018**) este în atenția tuturor țărilor din Uniunea Europeană, inclusiv România.

Prezenta teză de doctorat se aliniază acestui principiu, reutilizând, reciclând și prelungind durata de viață a unor materiale cu perioadă îndelungată de biodegradare și totodată utilizând unele materiale naturale regenerabile cu pondere redusă de industrializare, pentru realizarea de panouri cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante destinate pereților exteriori pentru case cu structură din lemn.

Astfel, lucrarea de față este o contribuție la inovarea de produse noi, ecologice, care să protejeze mediul înconjurător prin reciclarea unor deșeuri aflate în exces, oferind astfel variante alternative la materialele sintetice aflate astăzi încă pe piață, și a căror producție are un aport negativ asupra emisiei de CO₂ și efectului de seră. Utilizarea unor resurse vegetale și animale regenerabile precum stuful și lâna contribuie, de asemenea, la caracterul ecologic al produselor propuse de această teză de doctorat. Cercetările întreprinse s-au extins și asupra proprietăților fonoabsorbante ale panourilor concepute, cu intenția de a lărgi aria lor de utilizare.

Lucrarea este structurată pe șase capitole, pornind de la stadiul actual al cercetărilor în domeniul materialelor termo- și fono-izolante și care constituie punctul de plecare în formularea obiectivelor pentru rezolvarea temei propuse. Pe scurt, conținutul tezei este următorul:

Capitolul 1 intitulat „Stadiul actual al cercetărilor în domeniul materialelor de construcții cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante” sintetizează rezultatele unei ample activități de documentare referitoare la proprietățile termoizolante și fonoabsorbante/ fonoizolante ale unor

materiale, utilizate ca atare sau înglobate în structuri de pereți pentru case din lemn și de asemenea, concepute de produse noi, rezultate din combinația diverselor materiale cu caracteristici favorabile acestor proprietăți.

Capitolul 2 intitulat „Obiectivele tezei” prezintă obiectivele operaționale care au stat la baza rezolvării temei propuse în teza de doctorat.

Capitolul 3 intitulat „Cercetări experimentale privind proprietățile termoizolante și fonoabsorbante ale materiilor prime utilizate la realizarea panourilor” prezintă materialele selectate pentru a fi utilizate în structura panourilor cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante și investigațiile privind proprietățile fizice, termice și acustice ale acestora.

Capitolul 4 intitulat „Realizarea panourilor în condiții de laborator și testarea performanțelor termice și acustice ale acestora” prezintă variantele de combinare a materialelor utilizate și tehnologia de realizare a panourilor în condiții de laborator, în scopul de a obține proprietăți termoizolante și fonoabsorbante superioare ale acestora. Aceste panouri au fost testate pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică și a coeficientului de absorbție acustică. Rezultatele obținute au stat la baza cercetării aplicative privind utilizarea lor în structuri de pereți exteriori pentru case din lemn.

Capitolul 5 intitulat „Cercetări aplicative privind utilizarea panourilor termoizolante și fonoabsorbante propuse și a materialelor termoizolante în vrac în structuri de pereți exteriori pentru case din lemn” constituie o parte importantă a lucrării și prezintă investigarea panourilor din punct de vedere al izolării termice într-o structură de perete exterior pentru case din lemn. Cercetările prezentate în acest capitol au avut drept scop identificarea structurilor cu performanța de izolare termică cea mai bună și raportarea rezultatelor la valorile reglementate pentru case eficiente din punct de vedere energetic. În acest scop au fost realizate experimental structuri de pereți în care s-au utilizat panourile cu cel mai bun coeficient de conductivitate termică și s-au făcut măsurători ale coeficientului de conductivitate termică și a rezistenței termice în condiții de laborator. Pentru comparație, s-a extins cercetarea experimentală prin măsurare „in situ” a transmitanței termice pentru structurile respective de perete exterior, utilizându-se senzori de temperatură și flux termic amplasați în interior, în mediul exterior și în interiorul structurii. Rezultatele obținute au fost comparate cu cele obținute prin calcul și s-a stabilit valoarea erorii din calculul termic, estimând astfel valorile reale pentru structurile teoretice, calculate pentru toate tipurile de panouri propuse în capitolul anterior.

Capitolul 6 intitulat „Concluzii generale. Contribuții originale. Diseminarea rezultatelor. Direcții viitoare de cercetare” ilustrează rezultatele obținute și posibilitățile de valorificare a acestora în practică, trasând totodată câteva din direcțiile viitoare de cercetare pe care le-a deschis această teză de doctorat.

1. Stadiul actual al cercetărilor în domeniul materialelor de construcții cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante

1.1. Considerații teoretice privind unele proprietăți fizice ale materialelor termoizolante și fonoabsorbante

Materialele utilizate în structura pereților de exterior ai caselor trebuie să îndeplinească o serie de proprietăți fizice, care să conducă la o bună capacitate de izolare termică.

Densitatea

Densitatea reprezintă masa materialului raportată la volumul acesteia (SR EN 1602, 2013) și se exprimă în kg/m^3 . În cazul în care volumul nu ia în considerare volumul golurilor (volumul absolut), se obține prin calcul valoarea *densității absolute*. Cu cât aceasta este mai mare, cu atât rezistențele mecanice sunt mai ridicate, și se determină cu relația (1.1):

$$\rho = \frac{m}{V}, (\text{kg/m}^3) \quad (1.1)$$

în care: m este masa probei, în kg;

V - volumul absolut (fără goluri sau pori), în m^3 .

În cazul în care volumul luat în calcul este volumul aparent al epruvetei, care include volumul porilor și al golurilor interioare, se obține *densitatea aparentă* cu ajutorul relației (1.2):

$$\rho_a = \frac{m}{V_a}, (\text{kg/m}^3) \quad (1.2)$$

Conductivitatea termică

Conductivitatea termică este proprietatea materialelor de a permite trecerea căldurii prin masa lor, atunci când între fețele acestuia există o diferență de temperatură. Cu cât valoarea acesteia este mai mică, cu atât materialul este mai bun izolator.

Materialele cu un coeficient de conductivitate termică mic ca valoare sunt considerate materiale termoizolante. În principiu, în această categorie se înscriu materialele care au un volum mare de pori și densitate aparentă redusă.

Deoarece apa are un coeficient de conductivitate termică mai mare de 25 de ori decât aerul, rezultă că materialele umede sau saturate cu apă conduc mai bine căldura decât cele uscate, deci izolațiile termice care conțin apă, sau vapori de apă, au capacitate de izolare termică mai mică.

În acest caz, coeficientul de conductivitate termică (λ) se determină cu ajutorul Legii Fourier, fluxul de căldură transmis prin primul strat al peretelui este dat de relația (1.3) (Vilceanu et al., 2011):

$$Q = \lambda A \frac{\Delta T}{L}, (W) \quad (1.3)$$

în care: Q este cantitatea de căldură;

λ -coeficient de conductivitate termică, în W/mK ;

L – grosime, în m;

A – aria peretelui, în m^2 ;

ΔT - diferenţa de temperatură °C.

Rezistenţa termică

Rezistenţa termică este caracterizată prin capacitatea unui material de a izola termic (C107 1.2.3., 2005). Valoarea rezistenţei termice este influenţată de grosimea şi coeficientul de conductivitate termică a materialului. Cu cât rezistenţa este mai mare, cu atât materialul este mai bun din punct de vedere al izolării termice. Rezistenţa termică specifică (R_s) a unui strat omogen al materialului se determină cu relaţia (1.4):

$$R_s = \frac{d}{\lambda}, (m^2K/W) \quad (1.4)$$

în care: d este grosimea de calcul a stratului, în m;

λ - conductivitatea termică de calcul a materialului, în W/mK .

Rezistenţa termică totală (R_{tot}), a unei componente plane cu straturi omogene perpendiculare pe fluxul de căldură se calculează cu relaţia (1.5) (IS EN ISO 6946, 2017):

$$R_{tot} = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE} (m^2K/W) \quad (1.5)$$

în care: R_{tot} - rezistenţa totală, în m^2K/W ;

R_{SI} - rezistenţa suprafeţei interne , în $m^2 K/W$;

$R_1, R_2, R_3...R_n$ - rezistenţa termică a fiecărui strat , în $m^2 K/W$;

R_{SE} - rezistenţa suprafeţei externe , în m^2K/W .

Transmitanţa termică

Transmitanţa termică (U) reprezintă transferul de căldură prin material (C107 1.2.3., 2005). Este o proprietate caracteristică a structurilor de pereţi, acoperişuri sau binale. Cu cât structura unui perete are transmitanţa mai mică, cu atât structura este mai bună izolatoare. Transmitanţa termică a structurii este inversa rezistenţei termice totale.

Transmitanţa termică printr-o metodă simplificată se determină cu relaţia (1.6) (IS EN ISO 6946, 2017):

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, (W/m^2K) \quad (1.6)$$

în care: R_{tot} este rezistenţa totală.

Flux termic unitar

Fluxul termic unitar transmis printr-un perete plan

Fluxul termic unitar transmis în condiţii unidimensionale şi în regim staţionar printr-un perete plan cu suprafeţe paralele se determină cu ajutorul legii lui Fourier (Şova, 2014) şi reprezintă cantitatea de căldură transferată prin unitatea de suprafaţă, conform relaţiei (1.7).

$$q = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{R_p} = \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1.7)$$

în care: t_{p1} -temperatura pe suprafaţa interioară a peretelui, în °C;

t_{p2} -temperatura pe suprafaţa exterioară a peretelui, în °C;

R_p - rezistenţa termică a peretelui la transferul de căldură prin conducţie, în m^2K/W .

Dacă pereţele delimitează mediul (aer) interior de cel exterior (aer), aflate la temperaturi diferite, apare un transfer de căldură de la mediul cu temperatură mai mare către mediul cu temperatură mai mică. În acest caz, se vorbeşte despre un transfer global de căldură, iar fluxul termic unitar se exprimă prin relaţia (1.8):

$$q = \frac{t_i - t_e}{R_{tot}} = \frac{t_i - t_e}{R_{si} + R_p + R_{se}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1.8)$$

în care: t_i –temperatura medie a mediului interior, în °C;

t_e -temperatura medie a mediului exterior, în °C;

R_{tot} - rezistenţa termică totală, în m^2K/W ;

R_{si} - rezistenţa termică a suprafeţei interioare, în m^2K/W ;

R_{se} - rezistenţa termică a suprafeţei exterioare, în m^2K/W .

Rezistenţa termică a aerului suprafeţei interioare se calculează cu relaţia (1.9).

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} \left(\frac{m^2K}{W} \right) \quad (1.9)$$

în care α_i este coeficientul de transfer de căldură prin convecţie în mediul interior, în W/m^2K

Rezistenţa termică a aerului suprafeţei exterioare se determină cu relaţia (1.10).

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} \left(\frac{m^2K}{W} \right) \quad (1.10)$$

în care α_e este coeficientul de transfer de căldură prin convecţie în mediul exterior, în W/m^2K .

Dacă pereţele plan este format din mai multe straturi diferite ca grosime şi natură, atunci rezistenţa termică totală a structurii de perete se calculează cu relaţia (1.11).

$$R_p = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_7}{\lambda_7} + \frac{\delta_8}{\lambda_8} + \frac{\delta_9}{\lambda_9} + \frac{\delta_{10}}{\lambda_{10}} \left(\frac{m^2K}{W} \right) \quad (1.11)$$

în care $\delta_1.. \delta_{10}$ reprezintă grosimea fiecărui strat al structurii, în m;

$\lambda_1... \lambda_{10}$ reprezintă conductivitatea termică a fiecărui element de structură, în W/mK ;

Fluxul unitar de vapori (q_v) reprezintă cantitatea de vapori de apă din aer transferată în unitatea de timp prin unitatea de suprafaţă a unui perete. El se poate exprima în funcţie de presiunea parţială a vaporilor pe suprafeţele limită ale peretelui şi rezistenţa la transferul de vapori pe grosimea peretelui. Transferul de vapori se face prin perete în sensul descreşterii presiunilor parţiale ale vaporilor şi se calculează cu relaţia (1.12).

$$q_v = \frac{P_{v1} - P_{v2}}{R_v} \left(\frac{kg}{m^2 \cdot s} \right) \quad (1.12)$$

în care: P_{v1} este presiunea parțială a vaporilor pe suprafața interioară a peretelui, în Pa;

P_{v2} presiunea parțială a vaporilor pe suprafața exterioară a peretelui, în Pa;

R_v - rezistența la transferul de vapori, m/s.

Rezistența la transferul de vapori printr-un perete format din mai multe straturi se calculează cu relația (1.13).

$$R_v = \sum \delta_i \left(\frac{1}{K_D} \right) M_i [m/s] \quad (1.13)$$

în care: δ_i este grosimea unui element al structurii, în m;

$\left(\frac{1}{K_D} \right)$ - factorul rezistenței la transferul de vapori;

M_i este factorul de corecție în funcție de temperatura medie a elementului structurii, în s^{-1} .

Absorbția acustică (fonoabsorbția)

Absorbția acustică definește modul în care componentele suprafețelor din spații închise se comportă în raport cu undele sonore incidente. Prin absorbție acustică se urmărește ca o parte din energia sunetului din aer și care întâlnește o suprafață delimitatoare a unui spațiu, să nu fie reflectată, ci absorbită. Din punctul de vedere al fonoabsorbției nu interesează ce se întâmplă cu energia ce nu este reflectată. În mod obișnuit materialele și structurile fonoabsorbante nu sunt și izolatoare acustice (Normativ C125, 2012).

Pentru materialele fonoabsorbante utilizate în construcții, evaluarea se face în unul din următoarele moduri: prin **coeficienți de absorbție (α)**, determinați pentru fiecare bandă de frecvență standardizată (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz), prin **indicele de absorbție acustică ponderată (α_w)**, care reprezintă valoarea curbei de referință la 500 Hz după translatarea acesteia față de curba coeficienților de absorbție (α) (SR EN ISO 11654), prin includerea într-o **clasă de absorbție**. Se definesc, în funcție de valoarea indicelui (α_w) următoarele clase de absorbție acustică (SR EN ISO 11654, 2005) prezentate în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1. Clasele de absorbție acustică în funcție de valoarea indicelui (α_w)

Clasa de absorbție acustică	α_w
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,15; 0,20; 0,25
Fără clasă	0,00; 0,05; 0,10

1.2. Materiale și panouri cu proprietăți termoizolante și fono-absorbante utilizate în prezent în construcția locuințelor

Materialele termoizolante ale clădirilor sunt cele prin care se reduce transferul de căldură dintre exteriorul și interiorul clădirii. Acestea se pot clasifica după mai multe criterii: compoziție (materiale naturale sau sintetice), formă (saltele, panouri, folii, spume pulverizante), tipul construcției (pentru blocuri de beton, cărămidă izolatoare, panouri structurale, pentru structuri din lemn, baloți), modul de transfer termic (conducție, radiație sau convecție). Uneori, o suprafață reflectorizantă numită barieră radiantă este adăugată materialului izolator pentru a reduce transferul de căldură prin radiație, precum și conducție.

Alegerea unui material, sau a unei combinații de materiale pentru izolare termică a clădirii, depinde atât de domeniul de utilizare, cât și de modul de montaj sau exploatare.

În general, materialele termoizolante necesită protecție la umiditate și apă (mai ales cele naturale, pe bază de fibre de lemn, celuloză, lână sau paie). Prezența apei în material scade proprietățile termoizolante și poate conduce chiar la degradarea acestora, mai ales dacă este vorba de materiale naturale (celuloză, lână sau paie). Dispunerea se va face pe mai multe rânduri, pe direcții diferite, pentru a diminua efectul de punte termică.

Materialele fonoizolante și fonoabsorbante se pot utiliza în spații cum ar fi: birouri, show-room-uri, restaurante, cafenele, posturi de radio, home cinema, platouri de filmare, teatre, săli de repetiții, muzee, depozite, hoteluri, săli de sport, spitale, clinici. În funcție de utilizare pot fi decorative, casetate, defletoare, acustice sau izolatoare.

1.3. Reglementări referitoare la casele eficiente din punct de vedere energetic

Noile cerințe referitoare la eficiența energetică a clădirilor și reducerea emisiei de CO₂ impun concepte noi de clădiri independente energetic. În prezent, există trei tipuri de clădiri care se aliniază politicilor globale de protecție a mediului: clădirile verzi, casele pasive și casele sustenabile. Cele trei tipuri de concept de case urmăresc implementarea de materiale și structuri inovative și tehnologii de vârf.

Astfel, se încearcă integrarea materialelor tradiționale aflate în zona respectivă a construcției, materiale ecologice cu impact redus asupra mediului înconjurător atât în timpul fabricării, cât și pe durata lor de viață, dar și materiale reciclabile, reducând astfel semnificativ impactul asupra mediului.

Materialele caselor eficiente din punct de vedere energetic trebuie să atingă anumite valori ale coeficientului de transfer termic, în funcție de zona climatică în care acestea sunt utilizate, conform criteriilor EnerPHit and PHI (Passive House Institute) Low Energy Building. Casele pasive reprezintă un concept dezvoltat în Germania pentru arhitectura sustenabilă, iar proiectarea acestora presupune adaptarea la zona climatică respectivă. O casă sustenabilă presupune caracteristici ale caselor verzi și pasive deopotrivă și tehnologii prietenoase cu mediul. Casele pasive se caracterizează printr-o izolație termică foarte bună a pereților exteriori, exprimată prin coeficientul de transfer termic (λ), sau prin transmitanță (U). Pentru zona temperat continentală (specifică României), coeficientul de transfer termic recomandat pereților exteriori este între 0,30 W/m²K și 0,50 W/m²K, conform criteriilor caselor pasive eliberate prin certificare de către Institutul de Case Pasive din Germania (**Passive House Institute Darmstadt, 2016**) și 0,56 W/m²K conform Ordinului 2641/2017 eliberat de Ministerul

transporturilor construcţiilor şi turismului (**Ministerul transporturilor construcţiilor şi turismului 2641, 2017**). Rezistenţa termică minimă recomandată, conform aceluiaşi Ordin, este de $1,80 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.

În Europa Centrală au fost realizate peste 25.000 de locuinţe certificate din punct de vedere al eficienţei energetice, unele dintre ele aflate şi în România (**Materiale&Tehnologii pentru Construcţii, 2016**). Aproape 5.000 de locuinţe dintre cele menţionate mai sus sunt acreditate ca fiind case pasive de către institutul de specialitate de la Darmstadt, Germania (Passive House Institute Darmstadt, 2020). În Tabelul 1.2 sunt prezentate câteva structuri pentru case din lemn, acreditate ca şi case pasive, menţionând totodată zona geografică şi valoarea transmitanţei (U).

Tabelul 1.2. Transmitanţa termică pentru diverse structuri de pereţi pentru case pasive din lemn

Nr crt.	Țară	Oraş	Materiale folosite	Grosime (mm)	Grosime totală (mm)	U (W/m ² K)
1	România	Cluj	gips carton	13	498	0,094
			spaţiu tehnic (gol aer)	38		
			perete din lemn laminat (CLT)	60		
			izolaţie fibre de lemn "Steico flex"	320		
			izolaţie fibre de lemn "Steico Protect"	60		
			tencuială albă "Nanopor"	7		
2	România	Corbeanca (B)	CLT	100	700	0,113
			vată minerală	300		
			cărămidă	290		
			tencuială	10		
3	România	Bragadiru(B)	CLT	100	410	0,135
			izolaţie din fibre de lemn "Steico Wall"	240		
			fibre de lemn	60		
			tencuială	10		
4	Canada	Braeside	perete dublu	150	506	0,082
			celuloză	356		
5	Estonia	Õssu	vată minerală "Isover RKL-31"	30	572	0,079
			vată minerală "Steico Universal"	24		
			vată celulozică	500		
			OSB	18		
6	USA	California(sant a cruz	gips carton	16	207	0,244
			ramă din lemn umplut cu celuloză	89		
			placaj	19		
			vată minerală "Roxul TopRock DD"	83		
7	USA	Pacific Grove	izolaţie de spumă	140	229	0,326
			izolaţie de spumă suflată	79		
			placaj	10		
8	USA	Fra	ciment	50	193	0,33

			gips carton	16		
			polistiren	25		
			placaj	13		
			ramă	89		
9	USA	Sunnyvale	gips carton	13	192	0,22
			fibră de sticlă	90		
			placaj	13		
			spumă poliizocianurat (PIR)	76		
10	Belgia	Fidais	gips carton	13	486	0,086
			vată minerală	140		
			OSB	15		
			celuloză	300		
			fibre de lemn	18		
11	Germania	Schule	gips carton BA13	13	426	0,094
			vată de sticlă pe structură de lemn	300		
			OSB	13		
			fibre de lemn	100		
12	Elveția	Hausen	tencuială	5	483	0,09
			gips carton	12.5		
			OSB	15		
			vată bazaltică	280		
			polistiren	160		
			tencuială exterioară	10		
13	Elveția	Montreux am Genfer See	gips carton	20	442	0,135
			aer	30		
			PAL	15		
			izolație cu lemn	280		
			spațiu difuzie	15		
			spațiu ventilație	60		
			lambriu	22		
14	Franța	Saint Léry	placă de fibră din lemn "Agepan DWD"	16	296	0,15
			vată de celuloză	220		
			plăci de fibră din lemn "Pavatherm"	60		
15	Franța	Truchtersheim	polistiren expandat	120	463	0,102
			OSB	15		
			lână de lemn	240		
			OSB	15		
			lână de lemn	60		
			gips carton BA13	13		
16	Franța	Prauth	placă din lână de lemn	35	466	0,136
			lână de celuloză	350		

			lemn	15		
			spațiu de aer	48		
			tencuială	18		
17	Slovenia	Ig pri Ljubljani	gips carton BA13		480	0,081
			lemn			
			placa de fibră din lemn	60		
			izolație de celuloză	360		
			placă de fibră din lemn	60		
			OSB			

În graficul din Fig. 1.1 se poate observa că pentru zona României, cu pereți având grosimea cuprinsă între 310 mm și 700 mm s-au obținut valori ale coeficientului de transfer termic (U) între 0,088 W/m²K și 0,135 W/m²K.

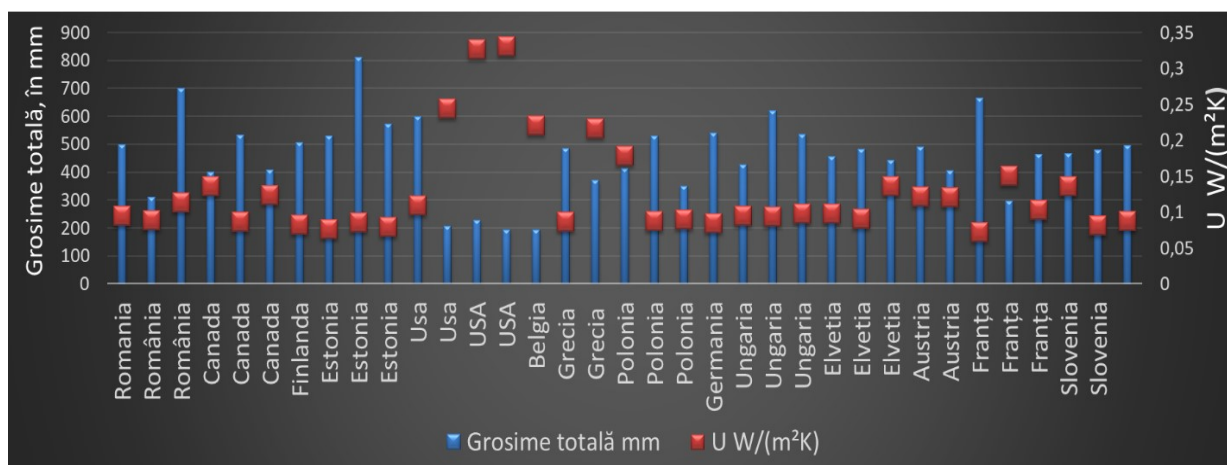


Fig. 1.1. Valori ale transmitanței (U) în raport cu grosimea totală a peretelui exterior, pentru diverse regiuni geografice .

1.4. Stadiul actual al cercetărilor privind proprietățile termoizolante și fonoabsorbante ale unor materiale și structuri

Potrivit datelor Comisiei Europene, 40% din consumul de energie și 36% din emisiile de CO₂ la nivelul Uniunii Europene aparțin clădirilor. Pentru creșterea eficienței consumului energetic al clădirilor este necesară reducerea consumului de energie și a emisiei de CO₂ (Ministerul Dezvoltării Regionale, 2017).

În prezent, aproximativ 35% dintre clădirile din UE au peste 50 de ani vechime, iar eficiența lor din punct de vedere energetic este scăzută. Prin implementarea unor măsuri în acest sens, consumul total de energie în UE ar putea fi redus cu 5-6% și emisiile de CO₂ cu aproximativ 5% (Parlamentul European, 2016).

Pe de altă parte, unele materiale precum plasticul sau cauciucul, concepute pentru a fi durabile, au devenit o problemă globală datorită cantităţilor mari de deşeuri acumulate în mediul înconjurător, ameninţând vieţuitoarele marine şi terestre din cauza timpului mare de fragmentare şi degradare. Plasticul, de exemplu, îl găsim în diverse aplicaţii sub formă de polietilenă, polipropilenă, polistiren, poli-etilen-tereftalat, cu persistenţă mare în mediul înconjurător şi care se fragmentează timp de secole în particule mai mici prin fotodegradare, degradare fizică şi biologică (Kubowicz , 2017).

Problema ecologică cauzată de folosirea excesivă a plasticului a dus la o aglomerare globală de deşeuri pe bază de plastic şi în final la revenirea la materiale ecologice în cele mai multe domenii. Această tendinţă de readucere a materialelor ecologice în industrie este tot mai accentuată la nivelul comunităţii internaţionale. Consiliul UE a adoptat interdicţia utilizării plasticului în unele obiecte, cum ar fi cele de unică folosinţă. Decizia a fost anunţată într-un comunicat de presă din luna mai, anul 2019 (Consiliu European, 2019) .

Tendenţele actuale în domeniul construcţiilor civile se îndreaptă către proiectarea şi execuţia clădirilor cu un consum redus de energie pe de-o parte şi utilizarea materialelor ecologice, pe de altă parte. În acest sens, cercetătorii s-au orientat către studiul metodelor de anvelopare cu alte materiale decât cele clasice, extrase din petrol.

Cercetările privind influenţa densităţii şi orientării lemnului asupra valorii coeficientului de conductivitate termică (Amel et al., 2016) au arătat faptul că odată cu scăderea densităţii scade şi conductivitatea termică. Cercetările au demonstrat totodată că fluxul termic de căldură este mai mare pe direcţia transversală a lemnului. Concluzia acestui studiu este faptul că odată cu creşterea masei structurilor creşte şi valoarea coeficientului de conductivitate termică şi scade rezistenţa termică a structurilor stratificate tip "sandwich".

Materialele cu timp îndelungat de biodegradare, cum ar fi plasticul şi cauciucul, sunt reciclate în produse noi, cu proprietăţi termoizolante sau fonoabsorbante şi folosite în construcţii. Cauciucul, de exemplu, poate fi reciclat şi înglobat în ciment, obţinându-se plăci mai uşoare (Kashani et al., 2017).

O altă utilizare a cauciucului reciclat în materiale fonoabsorbante (Borlea et al., 2012) cu porozitatea ridicată se referă la compozite realizate cu liant poliuretanic combinat cu rumeguş de brad şi particule de cauciuc reciclat ca materiale de armare. În cazul probelor realizate cu un procent mai mare de particule de cauciuc s-a observat o creştere semnificativă a coeficientului de absorbţie acustică, odată cu creşterea grosimii probei, în special la frecvenţele joase şi medii. Astfel, proba realizată din cauciuc reciclat, cu 15% liant şi cu grosimea de 40 mm a avut cel mai mare coeficient de absorbţie acustică şi anume 0,935, la frecvenţa de 1,25 kHz.

(Papadopoulos, 2005) a dovedit că izolaţiile termice din spumă, cum sunt polistirenul expandat, polistirenul extrudat, sau poliuretanul, au un impact negativ asupra mediului de 10 până la 24 ori mai mare decât materialele naturale, care au la bază pluta sau hârtia. Unii cercetători (Pásztor et al., 2015) au utilizat în structurile de pereţi exteriori pentru case din lemn foi de carton, situate la distanţe de 3 mm, respectiv 5 mm între ele, acestea fiind şi grosimile straturilor de aer din structură. Aceşti cercetători au constatat că spaţiile de aer mai mici au dus la obţinerea unor structuri mai bune izolatoare din punct de vedere termic.

Multe cercetări s-au oprit asupra fenomenelor care se petrec în interiorul structurii pereţilor din lemn, din punct de vedere al transferului de vapori și influența acestora asupra coeficientului de conductivitate termică a structurii, sau materialelor componente ale acesteia. (Labat et al., 2015) au demonstrat că există o legătură dinamică între transferul de vapori și cel de căldură. Cercetătorii au folosit șase structuri de pereți de case diferiți și le-au testat în condiții climatice reale și similare. Materialele folosite în structurile pereților au fost PAL, OSB și plăci de gips carton pentru placările exterioare și vată minerală, fibre de lemn și celuloză pentru umplutură. Rezultatele au arătat că fluxul de căldură care străbate peretele vertical al casei este influențat de fluxul de vapori care trece prin materialele de izolare cu o higroscopicitate înaltă.

Tot în această direcție, cercetările efectuate asupra unor structuri de pereți de 336 mm grosime, cu tencuială de 4 mm și MDF la exterior, OSB 12 mm la interior și umplutură din vată minerală, vată bazaltică și cânepă (Durica et al., 2015) au dovedit că în straturile cu difuzie închisă a vaporilor (vată minerală și bazaltică), coeficientul de conductivitate termică s-a păstrat aproape constant, în timp ce în stratul de cânepă (considerat a fi cu difuzie deschisă), coeficientul de conductivitate termică a crescut cu 30%, datorită transportului de umiditate. În stratul de MDF a crescut de asemenea umiditatea și odată cu aceasta și coeficientul de conductivitate termică. Acest lucru nu a afectat însă conductivitatea termică a structurilor cu vată minerală și bazaltică.

Caracteristica principală a materialelor fonoabsorbante constă în aceea că ele au o structură poroasă. Porozitatea materialelor depinde în mare măsură de corelarea între cantitățile de liant utilizat ca matrice și materialul de armare, precum și de forța de presare la compactare (Borlea et al., 2012).

Pe plan internațional există numeroase cercetări privind producerea materialelor fonoabsorbante din diferite deșeuri de cauciuc, paie de grâu și orz, fibre de nucă de cocos, frunze de ceai, fibre de bambus, lemn, etc. (Sukontasukkul, 2009).

Absorbția acustică a unui perete constă în împiedicarea trecerii sunetului de la o parte a peretelui la cealaltă parte, fără a crea reverberație. Obiectivul este acela de a minimiza sunetul perceput din partea opusă a sursei, fără a amplifica zgomotul perceput în interiorul camerei de emisie prin fenomenul de reverberație. În schimb, izolarea acustică a unui perete constă în împiedicarea trecerii sunetului de pe o parte a peretelui către cealaltă parte. Prin urmare, obiectivul este acela de a minimiza sunetul perceput pe partea opusă sursei de zgomot.

1.5. Concluzii privind stadiul actual al cercetărilor. Oportunitatea alegerii temei

În urma studiului bibliografic efectuat, se pot trage următoarele concluzii:

1. S-a dovedit posibilă izolarea termică și acustică a clădirilor cu plăci pe bază de fibre naturale și fibre poliesterice ca liant, plăcile având λ cuprins în intervalul 0,0399 W/mK – 0,050 W/mK. S-a dovedit că odată cu creșterea temperaturii și umidității relative a aerului, proprietățile termoizolante ale acestor plăci se degradează, datorită absorbției de apă. Acest aport de umiditate s-a redus însă în combinație cu fațade și acoperișuri cu plante, dar se poate reduce și prin amplasarea unei folii impermeabile la apă în partea exterioară a structurii peretelui.

2. S-au investigat performanţele termice ale unor resurse de biomasă pentru construcţiile de locuinţe şi anume coaja de lemn, stuful, paie, cânepa, dar şi ale altor materiale naturale, precum celuloza, fibrele de lemn, taninul sau lignina şi care au dovedit o capacitate bună de izolare termică pentru anumite grosimi ale peretelui sau structurii.

3. Cercetările privind influenţa densităţii materialelor sau structurilor asupra valorii coeficientului de conductivitate termică au arătat faptul că odată cu scăderea densităţii scade şi acest coeficient, deci creşte capacitatea lor de izolare termică.

4. Materiale reciclabile precum cauciucul, polietilena, deşeurile textile, hârtia, cartonul, au fost de asemenea obiectul unor investigaţii din punct de vedere al performanţelor termice. Cauciucul, de exemplu, poate fi reciclat în produse noi pentru construcţii, în combinaţie cu cimentul, sau cu rumeguşul de lemn în prezenţa unui liant poliuretanic, obţinându-se astfel proprietăţi termoizolante sau fonoabsorbante mai bune, în situaţia în care procentul de utilizare a cauciucului în produs creşte.

5. Studiile privind performanţa higrotermică a structurilor de case din lemn s-au realizat măsurând parametrii de temperatură, umiditate şi flux termic, cu ajutorul senzorilor amplasaţi în diferite puncte ale structurii. S-a constatat că în straturile cu difuzie deschisă, coeficientul de conductivitate termică creşte datorită transportului de umiditate, în condiţii de creştere a umidităţii aerului.

6. Pentru zona temperată continentală (specifică României), coeficientul de transfer termic (transmitanţa U) recomandat pereţilor exteriori este între 0,30 W/m²K şi 0,50 W/m²K, conform criteriilor caselor pasive eliberate prin certificare de către Institutul de Case Pasive din Germania, iar pentru zonele reci acest coeficient se recomandă a fi de maxim 0,15 W/m²K. Această ultimă valoare a fost atinsă în România la casele pasive cu grosimea pereţilor între 410 mm şi 700 mm.

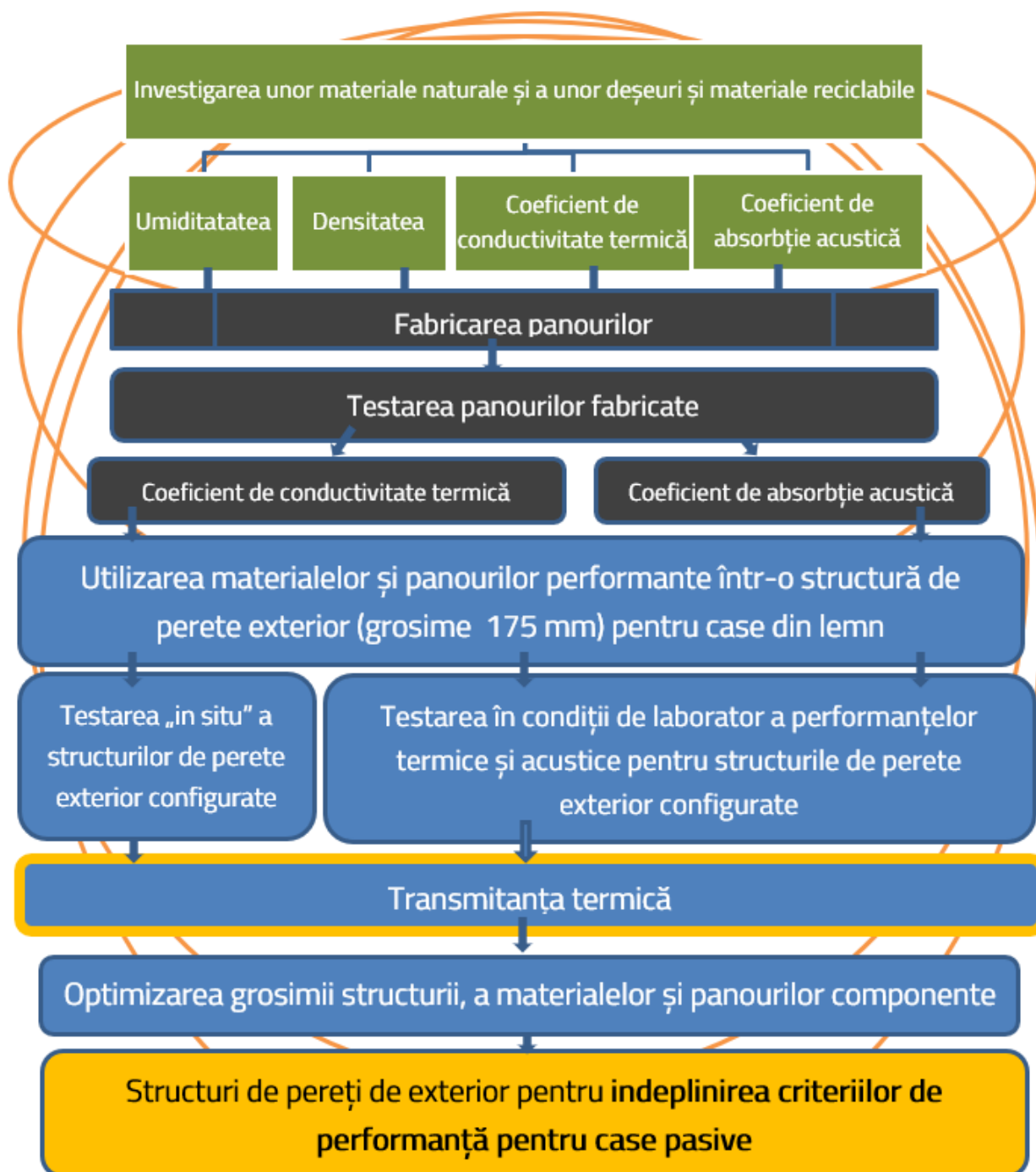
Concluziile studiului bibliografic indică faptul că există încă multe resurse naturale şi reciclabile care pot fi investigate din punct de vedere al utilizării în structuri de pereţi exteriori pentru case de lemn şi care ar putea oferi proprietăţi termoizolante comparabile cu cele ale produselor sintetice aflate încă pe piaţă. Acest lucru este cu atât mai necesar, cu cât la nivel european există directive referitoare la instituirea unei economii circulare în ţările UE, în vederea prelungirii ciclului de viaţă al produselor cu timp mare de biodegradare, cum este plasticul, şi ale căror deşeuri, datorită utilizării excesive, au ajuns la stocuri uriaşe. Revenirea la materialele naturale, ecologice şi sustenabile este, de asemenea, de mare actualitate în cele mai multe domenii şi nu numai la nivel european, ci la nivel internaţional.

Aşadar, tema tezei de doctorat se încadrează în acest context actual, propunând utilizarea materialelor naturale precum aşchiile de lemn, fibrele de lemn, stuful, lâna, dar şi materiale reciclabile, respectiv granule de cauciuc, polietilenă de joasă densitate şi deşeuri de ABS rezultate din procesul de producţie a mobilierului din PAL melaminat, pentru fabricarea de panouri cu proprietăţi termoizolante şi eventual fonoabsorbante, destinate pereţilor exteriori pentru case din lemn.

2. Obiectivele tezei

Obiectivul general al prezentei cercetări îl constituie realizarea de panouri cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante destinate pereților exteriori pentru case cu structură din lemn, utilizând materiale naturale sustenabile și materiale reciclabile.

Strategia de abordare a cercetării experimentale și teoretice presupune realizarea următoarelor etape:



Pornind de la obiectivul general, cercetările întreprinse în prezenta teză de doctorat au converș către îndeplinirea următoarelor **obiective specifice**:

1. Investigarea unor materiale naturale și a unor deșeuri și materiale reciclabile, din punct de vedere al proprietăților fizice și al performanțelor termice și acustice, în vederea utilizării lor în structura unor panouri termoizolante și fonoabsorbante destinate pereților exteriori ai caselor din lemn.
2. Realizarea experimentală, în condiții de laborator, a unor panouri cu densitate redusă și cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante performante, utilizând combinații ale materialelor investigate, în funcție de performanța termică și acustică a acestora, rezultată în urma testărilor anterioare.
3. Testarea panourilor în condiții de laborator pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică (λ) pe echipamentul HFM Lambda 436/6 și a coeficientului de absorbție acustică (α) cu ajutorul tubului acustic Kundt și selectarea panourilor cu rezultatele cele mai performante.
4. Cercetări teoretice și experimentale de laborator și „in situ” privind comportamentul termic și acustic al unei structuri de perete exterior pentru case din lemn cu grosime uzuală de 175 mm, care să conțină panourile propuse, în mai multe variante de așezare, utilizând pentru cercetarea experimentală senzori de temperatură și flux termic.
5. Propuneri de structuri de pereți de exterior pentru case din lemn destinate caselor pasive pentru zone reci.

Pentru a atinge obiectivul general propus, a fost necesară parcurgerea mai multor etape de cercetare și anume:

- Cercetare de documentare privind stadiul actual al cercetărilor, în vederea stabilirii posibilităților de rezolvare a temei de doctorat.
- Cercetare experimentală pentru determinarea proprietăților termice și acustice ale materialelor alese pentru a fi utilizate în componența panourilor termoizolante și fonoabsorbante și pentru determinarea comportamentului higrotermic al structurilor de pereți de exterior pentru case din lemn.
- Cercetare experimentală pentru realizarea și testarea panourilor termoizolante și fonoabsorbante, dar și a structurilor de pereți de exterior, în condiții de laborator, utilizând echipamentul HFM Lambda 436/6 pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică și tubul Kundt pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică și senzori de temperatură.
- Cercetare experimentală și aplicativă „in situ” pentru determinarea transmitanței termice (U) a structurii de perete exterior care are în componența sa panourile termoizolante propuse, cu utilizarea senzorilor de temperatură, umiditate și flux termic și proiectarea, executarea și programarea unui sistem *Arduino* de înregistrare și colectare a datelor.
- Cercetare teoretică pentru determinarea prin calcul a transmitanței termice (U) pentru structurile de perete exterior și compararea rezultatelor cu cele obținute experimental.
- Abordare interdisciplinară din domenii precum materialele compozite, fizică, termotehnică, electronică, informatică, construcții de case din lemn.

3. Cercetări experimentale privind proprietățile termoizolante și fonoabsorbante ale materiilor prime utilizate la realizarea panourilor

3.1. Obiectivele cercetării experimentale

Proprietățile fizice, capacitatea de izolare termică și caracteristicile de absorbție acustică ale materialelor luate în calcul pentru realizarea de panouri termoizolante și fonoabsorbante reprezintă punctul de plecare pentru stabilirea rețetelor de combinare a acestora și pentru a forma panourile cu performanțele dorite.

Astfel, cercetările experimentale privind materialele utilizate ca materii prime în fabricarea panourilor au în vedere următoarele obiective:

- Determinarea umidității materialelor pe bază de lemn;
- Determinarea densității în vrac a materialelor;
- Determinarea coeficientului de conductivitate termică;
- Determinarea coeficientului de absorbție acustică;

3.2. Planul experimental

Planul experimental aplicat are în vedere două aspecte: faptul că materialele utilizate sunt sub formă de vrac, iar al doilea aspect este legat de modalitatea de testare pe echipamentele de determinare a coeficientului de conductivitate termică (λ), respectiv a coeficientului de absorbție acustică (α).

Astfel, planul experimental a parcurs următorul protocol:

- Determinarea umidității materialelor lignocelulozice cu ajutorul echipamentului UM 2000 Laboratory Moisture Meter;
- Determinarea densității materialelor în vrac, în stare necompactată, prin calcul, utilizând o ramă de lemn, identică pentru toate materialele testate;
- Determinarea coeficientului de conductivitate termică cu ajutorul echipamentului HFM Lambda 436/6 și utilizarea unei rame în care se introduce materialul în vrac, necompactat.
- Determinarea coeficientului de absorbție acustică cu ajutorul tubului de impedanță Kundt și utilizarea unui inel circular din lemn, în care se introduce materialul în vrac, necompactat și se solidarizează cu ajutorul unei folii.

3.3. Materialele utilizate în cercetarea experimentală

Următoarele tipuri de materiale au fost utilizate în prezenta cercetare științifică: materiale naturale și sintetice (Fig. 3.1) și materiale reciclate (Fig. 3.2).

Ca materiale naturale s-au utilizat cele lignocelulozice pe bază de lemn și anume așchii de lemn (AL) și fibre de lemn (FL) achiziționate de la producătorul de panouri S.C. Kastamonu S.A din România și

tulpini de stuf (S) provenite de la două specii ale genului *Phragmites* din Delta Dunării, dar și lână de oaie (L) achiziționată direct de la o fabrică din Braşov.

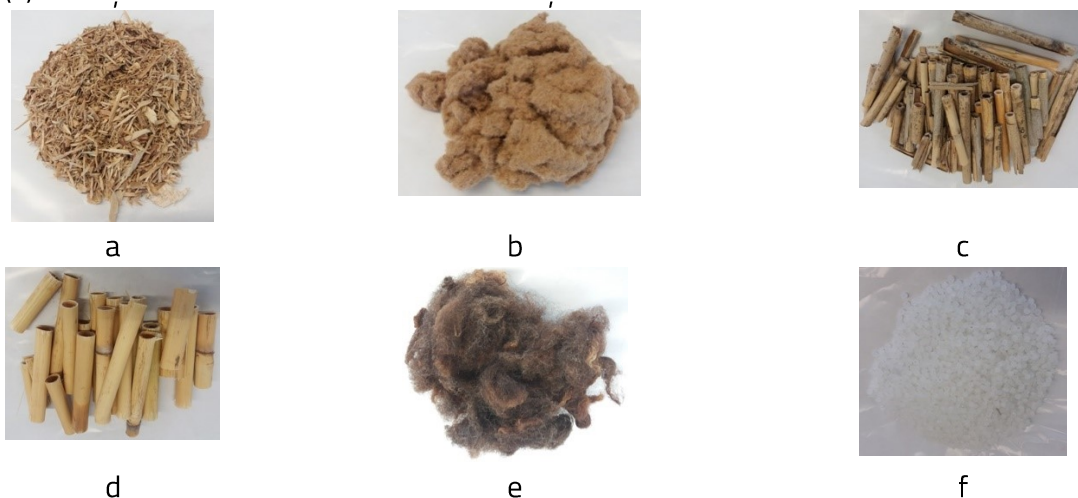


Fig. 3.1 Materialele naturale și sintetice; a – așchii de lemn; b – fibre de lemn; c – stuf mic; d - stuf mare; e –lână de oaie; f – granule de polietilenă de joasă densitate.

Ca materiale reciclabile s-au utilizat hârtia măcinată (Hm) și hârtia bucăți (Hb), polietilena de joasă densitate (PE) și cauciuc (C) sub formă de granule, dar și acrilonitril butadien stiren (ABS) sub formă de particule fine, rezultate în urma procesului de producție a mobilierului din PAL melaminat, după frezarea surplusului de la canturile de ABS aplicate panourilor, operație care se realizează la agregatele de aplicat cant. Acest material a fost colectat de la echipamentul din dotarea Laboratorului polifuncțional al Facultății de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului din Braşov. Au mai fost luate în calcul la acest tip de materiale și granule de polistiren (P), utilizate ca materiale de umplură pentru perne decorative. ABS-ul și polietilena sunt cunoscute ca materiale termoplastice cu perioadă mare de biodegradare. De aceea, aceste materiale sunt pe lista celor pentru care se caută variante de reciclare (Hopewell et al., 2009).

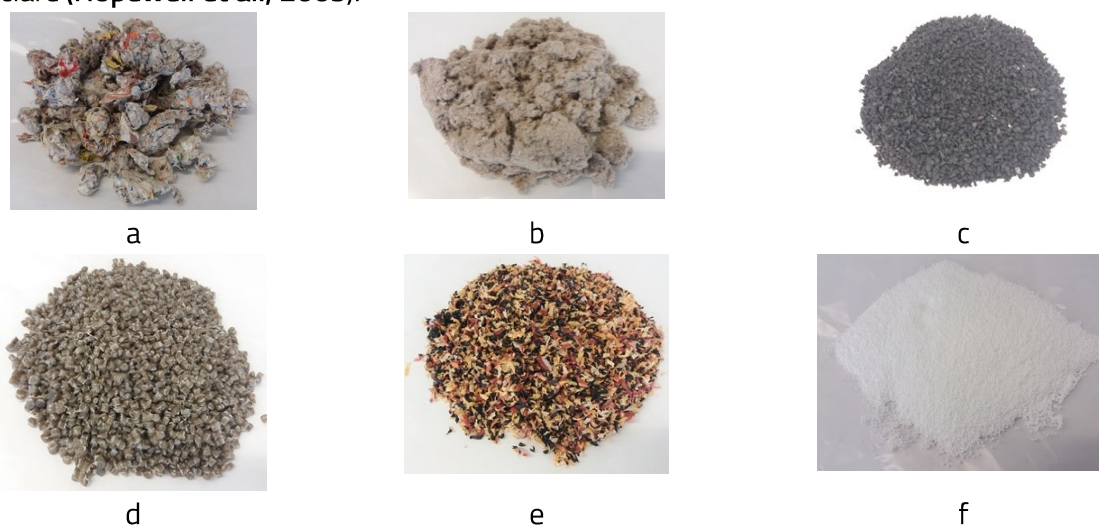


Fig. 3.2. Materialele reciclate; a – hârtie reciclată (bucăți); b – hârtie reciclată (măcinată); c – granule de cauciuc reciclat; d – polietilenă de joasă densitate reciclată; e – ABS; f - granule de polistiren.

3.4. Metode și echipamente utilizate în cercetarea experimentală

3.4.1. Determinarea umidității și densității materialelor lignocelulozice

Umiditatea materialelor lignocelulozice (H) s-a determinat cu ajutorul echipamentului UM 2000 Laboratory Moisture Meter, utilizând o probă extrasă din materialul de analizat. Proba se introduce în instalație. Aceasta cântărește proba, determinând masa inițială, apoi pornește procesul de uscare la temperatura de 110°C, urmat de cântăriri succesive, până se obține o masă constantă.

Pentru determinarea densității materialelor în vrac (granule, fibre, aşchii, tulpini de stuf), au fost utilizate rame din lemn cu dimensiuni interioare de 410 mm x 410 mm x 32 mm. Volumul interior al ramei s-a umplut pe rând cu materialele respective, fără a presa conținutul, efectuându-se cântăriri înainte și după umplerea ramei. Materialele investigate au fost cântărite, volumul interior al ramelor s-a calculat, iar densitatea s-a determinat cu ajutorul formulei de calcul.

3.4.2. Determinarea experimentală a coeficientului de conductivitate termică

Metoda de determinare a coeficientului de conductivitate termică este cea a transferului termic în regim staționar de la un platan cald cu temperatura T_2 către un platan rece cu temperatura T_1 . Metoda este standardizată (ISO 8301, 1991; SR EN 12667, 2009; SR EN 12939, 2002) și se aplică cu ajutorul echipamentului HFM Lambda 436/6, de producție germană NETZSCH.

În timpul experimentului au fost amplasați senzori de umiditate și temperatură în interiorul structurii către platanul superior și cel inferior, iar datele au fost achiziționate cu ajutorul unui sistem integrat de măsurare a parametrilor mediului, format din 2 senzori de temperatură și umiditate amplasați în interiorul structurilor de testare, un display, un modul de ceas, un modul de card SD, cabluri de legătură, un led, un difuzor, o placă de rețea ethernet, toate fiind conectate la placa de dezvoltare Arduino.

Pentru tot acest echipament a fost proiectat un program de execuție și urmărire cu ajutorul limbajului de programare C. Realizarea programului a presupus cunoștințe și competențe de programare C++, în condițiile cunoașterii fiecărui element din sistemul de măsurare. Schema de funcționare a sistemului este prezentată în Fig. 3.3.

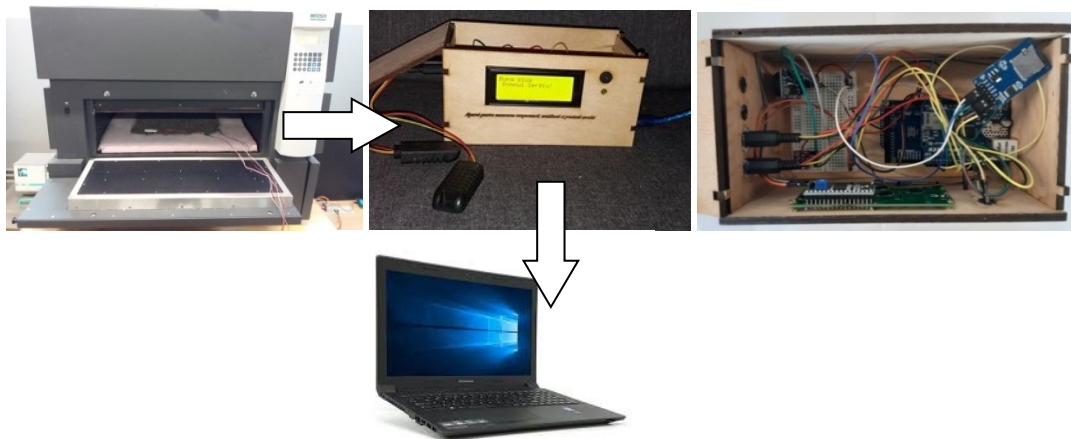


Fig. 3.3. Schema de funcționare și sistemul de măsurare Arduino a temperaturii și umidității

Diferența de temperatură între platanul superior și cel inferior (ΔT) a fost setată la valorile de 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, iar temperaturile T_1 și T_2 ale platanului inferior, respectiv cel superior sunt prezentate în Tabelul 3.1. Temperatura platanului superior s-a menținut la o valoare aproximativ constantă de 20° C, simulând temperatura mediului interior, iar temperatura platanului inferior a variat între -10 °C și +15° C, simulând astfel temperatura mediului exterior. Prin acest protocol al testărilor s-a urmărit variația coeficientului de conductivitate termică (λ) în funcție de variația temperaturii.

Tabelul 3.1. Protocolul testărilor pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică (λ)

Numărul testului	Temperatura T_1 , în °C	Temperatura T_2 , în °C	Diferența de temperatură ΔT , în °C	Temperatura medie
	<i>Platan inferior</i>	<i>Platan superior</i>	$T_2 - T_1$	$(T_1 + T_2)/2$
1	-10	20	30	5
2	-5	20	25	7,5
3	0	20	20	10
4	5	20	15	12,5
5	10	20	10	15
6	15	20	5	17,5

3.4.3. Determinarea experimentală a coeficientului de absorbție acustică

Determinarea experimentală a coeficientului de absorbție acustică s-a realizat prin metoda tubului de impedanță, conform standardului (SR_EN_ISO_10534-2, 2002). S-a utilizat în acest sens un tub Kundt SCS80 FA prevăzut cu un soft de achiziționare și de prelucrare a datelor, aflat în dotarea ICDT a Universității Transilvania din Braşov . Probele au fost testate la 75 dB.

3.5. Rezultatele cercetării experimentale

3.5.1. Densitatea și umiditatea materialelor investigate

Dimensiunile, densitatea și umiditatea materialelor investigate și care au fost utilizate la fabricarea panourilor termoizolante și fonoabsorbante sunt prezentate în Tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Caracteristici fizice ale materialelor investigate

Denumire material	Densitate în kg/m ³	Umiditate, în %	Dimensiuni, în mm		
			Lungime	Lățime	Grosime
Fibre de lemn	65	3,06-3,15	0,08- 1,08	0,05-0,5	0,1-0,3
Așchii de lemn	152	2,62-2-70	3-25	0,5-4	0,1-0,8
Hârtie (bucăți)	98	3,14-3,24	52-6,3	4,6-17,8	0,9-12,7
Hârtie (măcinată)	56	2,75-2,83	0,1-0,2		
Stuf (mare)	129	4-5	D int = 8,58-10; D ext = 10,1-13		
Stuf (mic)	79	5-6	D int = 3,42-5,13; D ext = 5,23-8,05		
Lână de oaie (fibre)	23	-	-	-	-
Abs (așchii)	77	-	2.5-12,8	0,8-3,4	0,1-0,5
Polistiren granule	41	-	Sub formă de sfere cu D = 1,1-1,5		
Polietilenă reciclată (granule)	596	-	3,3-3,5	4,5-4,6	3-3,1
Polietilenă virgină (granule)	571	-	2,9-3,2	4,3-4,4	3-3,1
Cauciuc (granule)	565	-	1-3	1,6-2,1	0,7-1,6

3.5.2. Coeficientul de conductivitate termică

Valorile medii ale coeficientului de conductivitate termică determinate pentru materialele testate în cazul variațiilor de temperatură între platanul superior și cel inferior (ΔT) conform Tabelului 3.1 sunt prezentate în graficul din Fig. 3.4.

Se poate observa că cele mai bune izolatoare termice dintre materialele investigate, sunt în ordine: granulele de polistiren, hârtie reciclată măcinată, fibre de lemn, particule de ABS și lână de oaie. Cele mai mari valori ale coeficientului de conductivitate termică, deci cele mai defavorabile din punct de vedere al izolării termice s-au dovedit a fi granulele de cauciuc și polietilenă (reciclate și virgine).

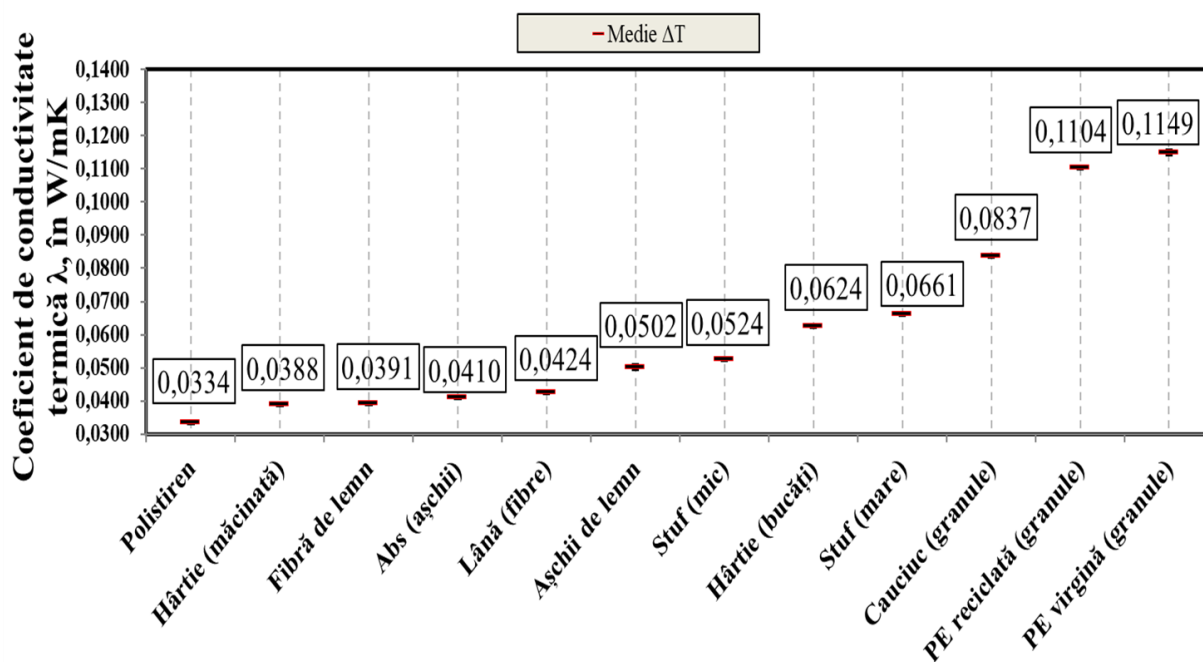


Fig. 3.4. Capacitatea de izolare termică a materialelor testate, exprimată prin coeficientul de conductivitate termică, măsurată experimental pentru medie ΔT

Creşterea coeficientului de conductivitate termică variază aproximativ cu creşterea densităţii (Fig. 3.5), așa cum a rezultat și din documentarea bibliografică.

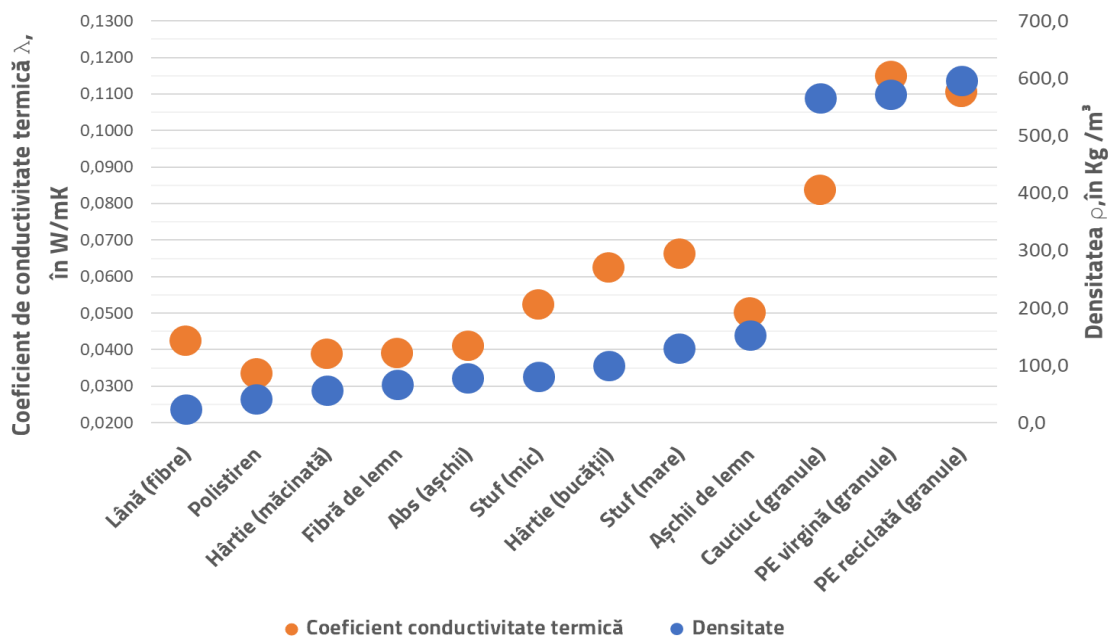


Fig. 3.5. Conductivitatea termică/Densitatea materialelor

Variațiile diferențelor de temperatură după cum se observă în Fig. 3.6 nu influențează semnificativ valoarea conductivității materialului.

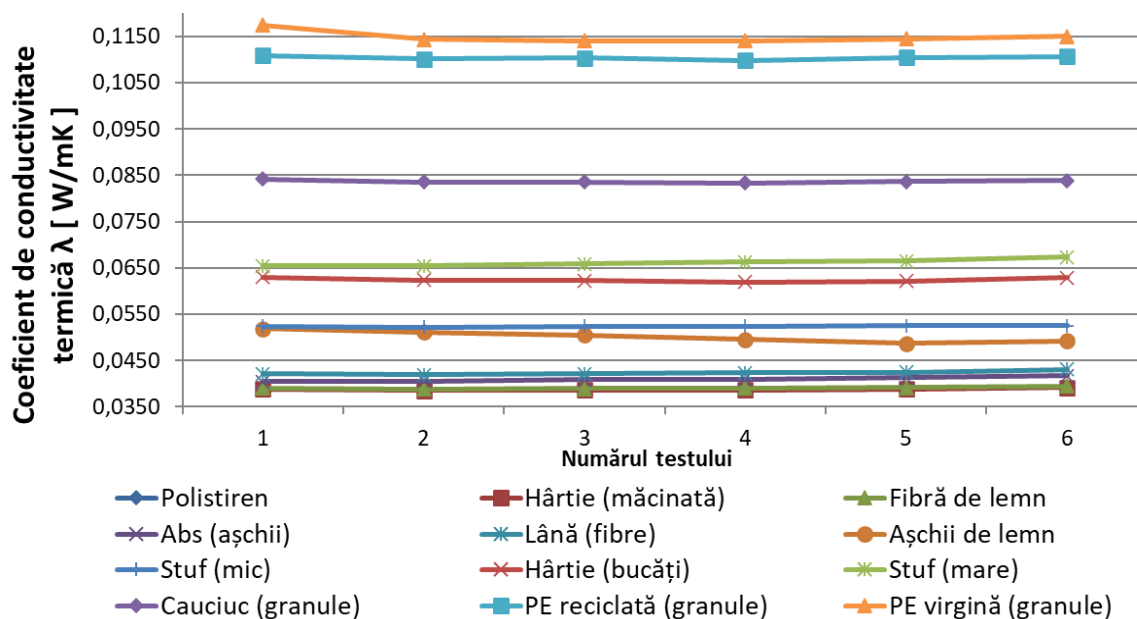


Fig. 3.6. Valorile coeficientului de conductivitate termică (λ) pentru diferite variații de temperatură (ΔT)

Prin amplasarea senzorilor de umiditate s-au determinat variațiile de umiditate în golurile de aer rămase între particule, granule sau fibre, odată cu variațiile de temperatură induse prin protocolul de testare. Rezultatele obținute dau indicii referitoare la intensitatea mișcărilor de circulație a aerului umed în materialul respectiv, odată cu creșterea sau scăderea temperaturii.

Pentru a studia acest fenomen, s-au prelucrat datele înregistrate de senzorii de umiditate amplasați în apropierea celor două platane ale echipamentului de testare.

Poziționarea senzorilor și mărimile fizice (temperaturi și umidități) înregistrate sunt prezentate în Fig. 3.7.

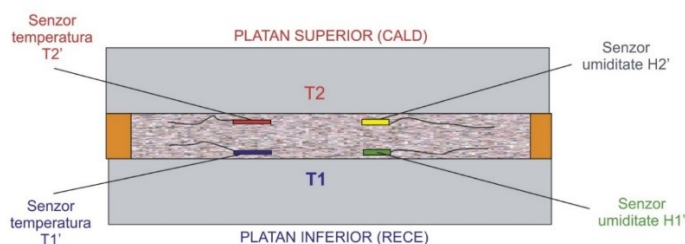
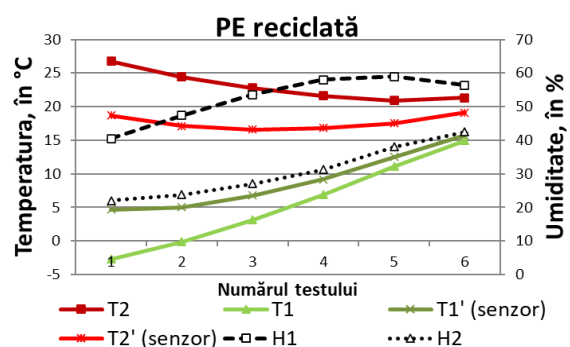
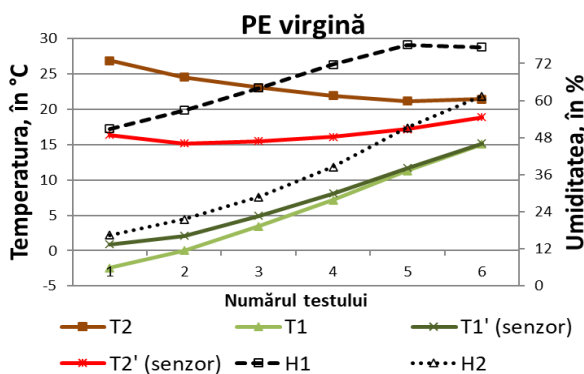
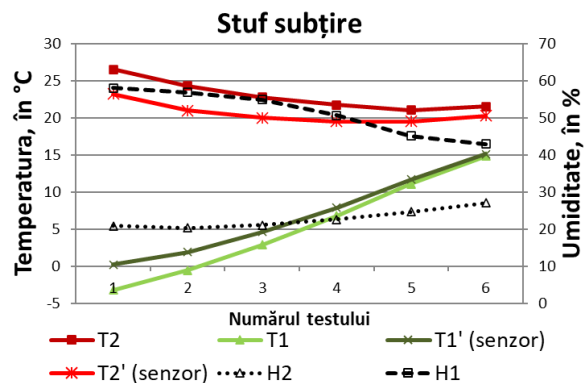
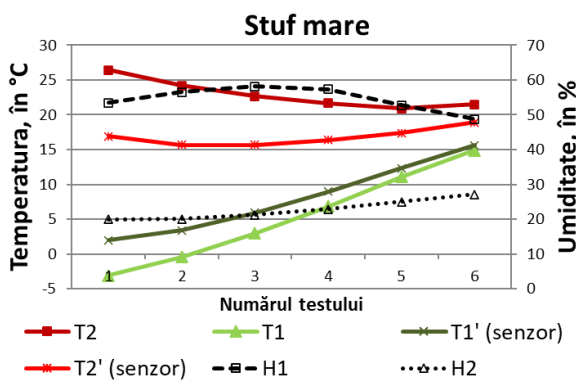
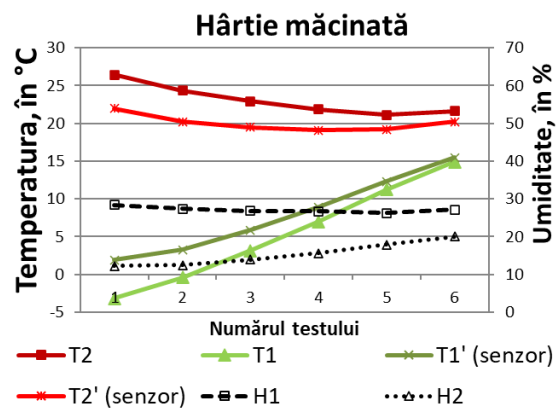
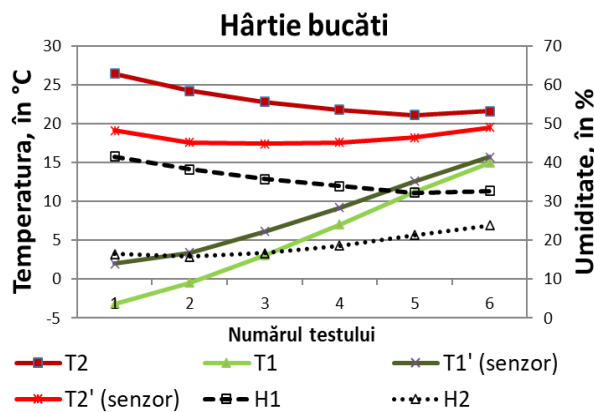
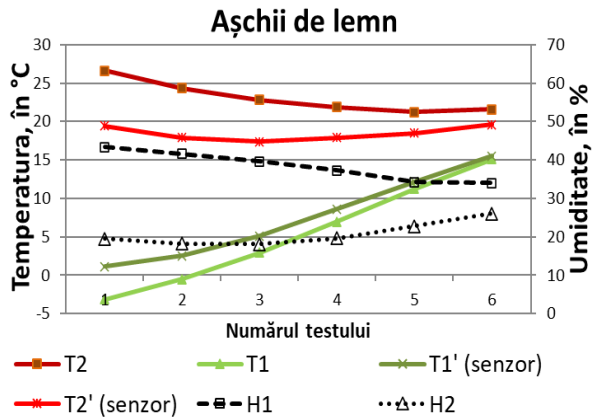
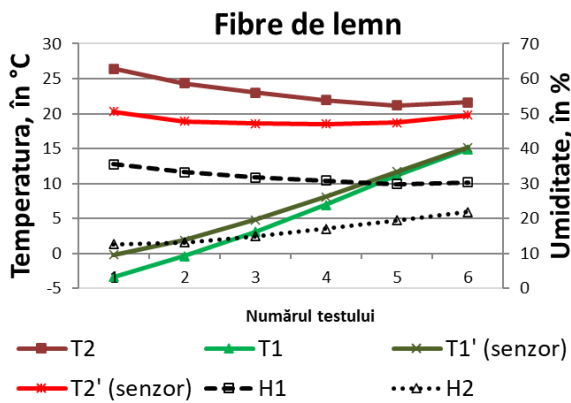


Fig. 3.7. Poziționarea senzorilor, temperaturile și umiditățile înregistrate în timpul desfășurării testului de măsurare a coeficientului de conductivitate termică pentru materialele în vrac

Evoluția temperaturilor și umidităților măsurate este prezentată în graficele din Fig. 3.8, pentru toate materialele testate. În aceste grafice se poate observa evoluția crescătoare a temperaturilor în paralel cu scăderea umidității corespunzătoare platanului rece și creșterea umidității aerului în zona platanului cald, pentru toate materialele cu excepția granulelor de polietilenă (PE) și a celor de polistiren, la care s-a înregistrat o creștere a umidității în zona ambelor platane, iar la ABS și granulele de cauciuc aceste variații au fost mici.

Odată cu creșterea temperaturii platanului inferior de la $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ la $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, pentru majoritatea materialelor, cu excepția granulelor de PE (virgina și reciclată), și a celor de polistiren, umiditatea

relativă a aerului a scăzut în zona acestui platan, ceea ce înseamnă că temperatura crescută a favorizat migrarea aerului încărcat cu vapori către platanul superior. Materialele lignocelulozice (aşchii și fibre de lemn și stuful), hârtia, lână, dar și granulele de cauciuc și ABS (într-o măsură mai mică) au permis trecerea vaporilor de la un platan la celălalt, în timp ce polietilena și polistirenul nu au permis acest lucru.



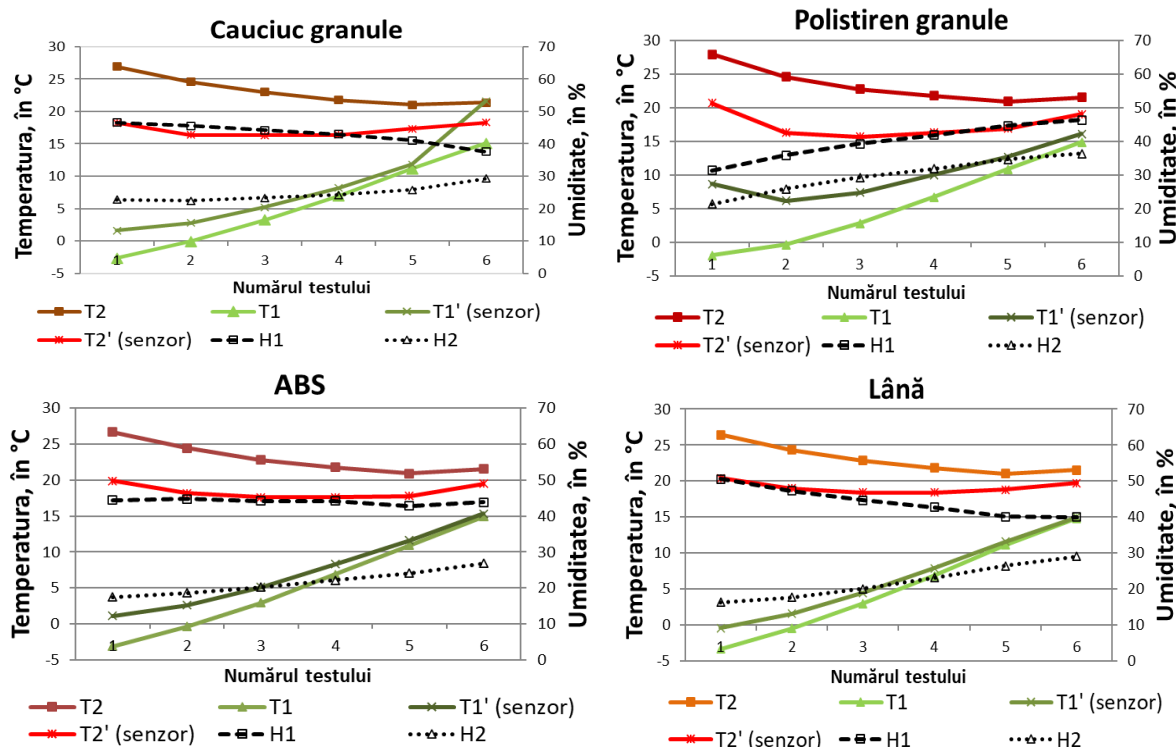


Fig. 3.8. Temperaturile și umiditățile înregistrate în timpul testului.

Se poate observa că, pe întreg parcursul testului, diferențele de umiditate între zonele celor două platane ($\Delta H = H1 - H2$) au scăzut treptat pentru materialele lignocelulozice (fibre și așchii de lemn, stuf), hârtie, lână, ceea ce demonstrează o circulație mai intensă a aerului umed prin aceste materiale. În schimb, pentru granulele de polistiren, PE, cauciuc și ABS, diferențele de umiditate între cele două platane se mențin aproximativ constante, ceea ce indică lipsa unui transfer în acest sens, odată cu variațiile de temperatură.

Sintetizând rezultatele referitoare la variațiile de umiditate relativă a aerului, măsurate cu ajutorul senzorilor, s-a putut face o paralelă între aceste variații și valoarea coeficientului de conductivitate termică în condițiile în care temperatura platanului cald s-a menținut la 20 °C, iar temperatura platanului rece a crescut de la -5 °C la 15 °C.

Se poate observa faptul că materiale precum fibra de lemn, stuful, hârtia măcinată, ABS, lână și granulele de polistiren au avut un trend crescător al coeficientului de conductivitate termică odată cu creșterea temperaturii platanului inferior. Aceste materiale sunt însă cele la care s-au înregistrat cele mai mici valori ale λ . Deși bune izolatoare termice, în varianta testării lor în vrac, este posibil ca circulația aerului în zonele libere datorate necompactării materialelor să influențeze aceste creșteri. În schimb, la așchiile de lemn, valorile coeficientului λ au scăzut treptat în timpul testului, înregistrându-se o mică creștere în ultima etapă, deși variațiile de umiditate relativă a aerului în apropierea platanelor sunt similare cu cele ale fibrelor din lemn. Pentru celelalte structuri nu s-a putut observa o tendință clară pentru coeficientul λ , înregistrându-se atât creșteri, cât și descreșteri ale valorilor acestuia de-a lungul experimentului. Aceste materiale sunt cele care au dovedit calități mai slabe de izolare termică, motiv pentru care ele se vor folosi în viitoarele panouri proiectate doar pentru

întărirea rezistenţei structurii panourilor (în cazul cauciucului), sau cu funcţie de liant (în cazul polietilenei de joasă densitate).

3.1.1. Coeficientul de absorbţie acustică

Frecvenţa în jurul valorii de 1000 Hz este frecvenţa vorbirii obişnuite. Cercetări în domeniu arată că cele mai multe sunete din exterior (ca cele ale maşinilor) se încadrează în spectrul de frecvenţe de 700 Hz – 1300 Hz şi ating un maxim în jurul valorii de 1000 Hz (Sandberg, 2003). De aceea, rezultatele obţinute la testul acustic pentru materialele investigate vor fi comparate pentru frecvenţe situate în jurul valorii de 1000 Hz. Probele vor fi testate la 75 dB. Rezultatele obţinute la testarea acustică a materialelor în vederea determinării coeficientului de absorbţie acustică sunt prezentate în graficul din Fig. 3.9. Pe grafic este marcată zona frecvenţelor luate în calcul la compararea rezultatelor obţinute pentru materialele testate.

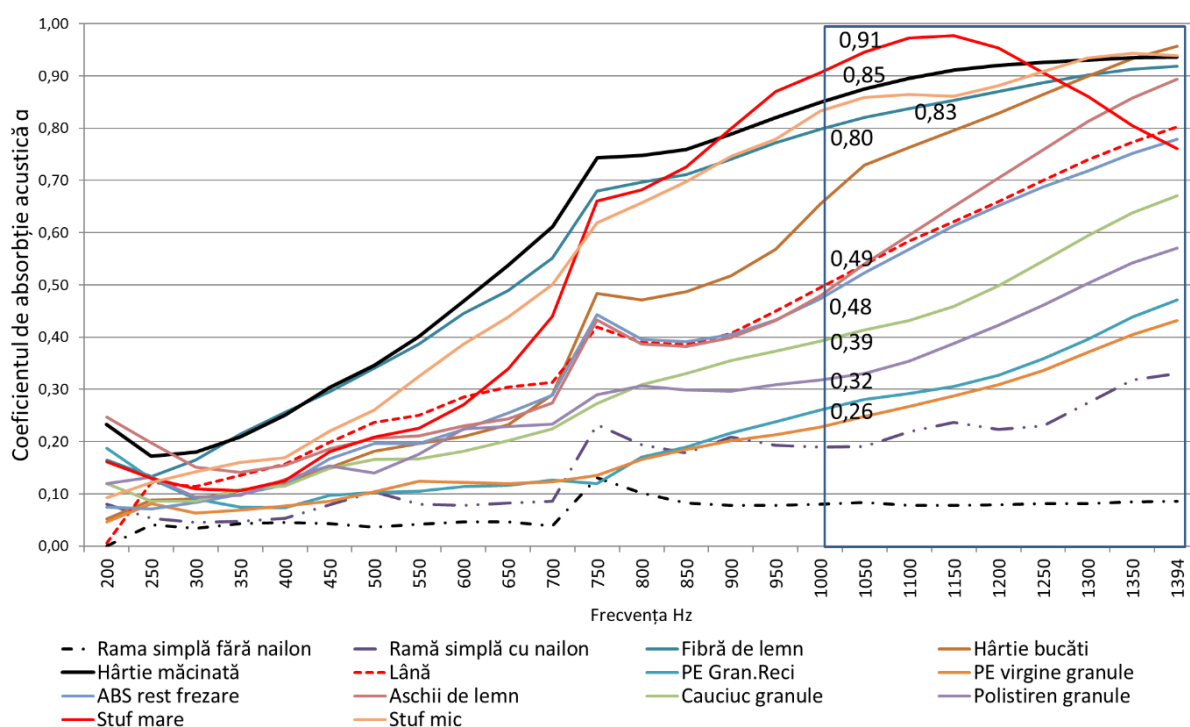


Fig. 3.9. Coeficientul de absorbţie acustică determinat experimental pentru materialele testate

Dintre materialele testate, performanţa acustică cea mai mare a înregistrat-o stuful cu diametru mare ($\alpha=0,91$), urmat de hârtia măcinată ($\alpha=0,85$) şi de stuful cu diametru mic ($\alpha=0,83$), fibra de lemn ($\alpha=0,80$) şi hârtia bucăţi ($\alpha=0,66$). Apoi, cu valori destul de apropiate în intervalul de frecvenţe luate în calcul s-au dovedit a fi lâna ($\alpha=0,49$), aşchiile de lemn ($\alpha=0,48$) şi ABS-ul ($\alpha=0,47$), iar la distanţă mare cauciucul ($\alpha=0,39$), polistirenul ($\alpha=0,32$) şi granulele de polietilenă ($\alpha=0,26$).

3.6. Concluzii privind cercetările experimentale asupra proprietăţilor materialelor investigate

Pentru a proiecta structura unor panouri termo şi fono-izolante din aceste materiale, pe baza rezultatelor cercetărilor experimentale efectuate asupra materialelor naturale, sintetice şi reciclate luate în calcul, s-a realizat o ierarhizare în funcţie de performanţa lor termică şi acustică, aşa cum se poate observa în schema din Fig. 3.10. Unele materiale s-au dovedit a fi performante atât din punct

de vedere termic, cât și din punct de vedere al absorbției acustice. Este cazul hârtiei măcinate, a fibrei de lemn și a lânii.

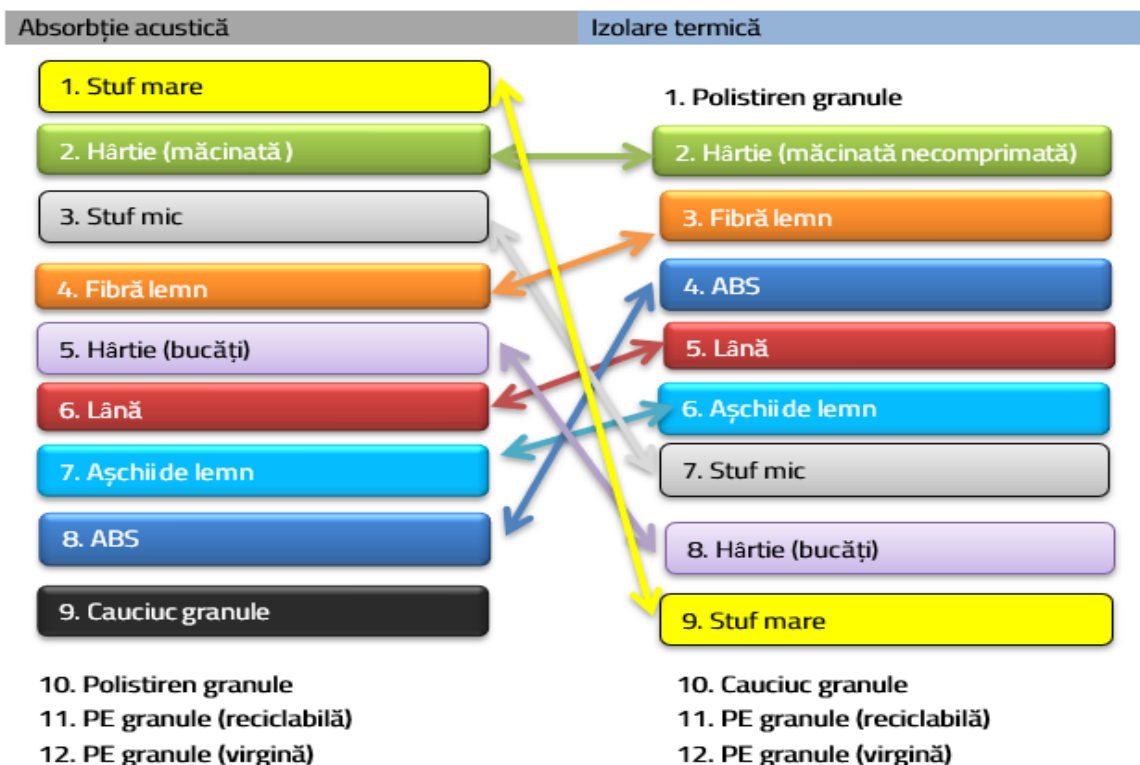


Fig. 3.10. Performanța de izolare termică și absorbție acustică a materialelor testate, în ordine descrescătoare

Schema din Fig. 3.10 va fi folosită la proiectarea structurilor de panouri. Fibra de lemn, hârtia măcinată, ABS-ul, lâna și combinații ale acestora pot constitui componente de bază ale panourilor. Deși ABS-ul nu este performant din punct de vedere al absorbției acustice, are avantajul că este termoplast și poate îngloba celelalte materiale ca fibra de lemn și hârtia măcinată, care sunt și bune absorbante acustice. De asemenea, stuful poate fi înglobat în structură, fără ca panourile să fie supuse presiunii în timpul formării, astfel încât să nu se distrugă forma tubulară a tulpinii. În cazul în care nu se folosește în structură un material termoplast, pentru fibra de lemn sau hârtie se va avea în vedere utilizarea unui adeziv ecologic (de exemplu polivinilic), care să realizeze adeziunea fibrelor.

Granulele de cauciuc pot fi folosite pentru mărirea rezistenței unor structuri de panouri fragile, în timp ce polietilena (fie cea virgină sau reciclată) pot avea și rol de adeziune a fibrelor, având un caracter termoplast. Totodată, aceste materiale ar conferi o rezistență mai mare la apă a panourilor, deoarece din cercetarea de documentare și din cercetarea experimentală anterioară a rezultat că materialele bune izolatoare termic au și o permisivitate ridicată față de aerul umed.

Deoarece stuful cu diametru mic are proprietăți termice mai bune decât stuful cu diametru mare, pentru fabricarea panourilor se va utiliza doar prima categorie.

De asemenea, deoarece nu sunt diferențe însemnate între proprietățile granulelor de PE și cauciuc reciclate și cele virgine, se vor folosi în continuare în fabricarea panourilor doar cele reciclate.

În urma analizei proprietăților materialelor selectate pentru studiu și în baza rezultatelor cercetărilor experimentale efectuate privind capacitatea de izolare termică și absorbție fonică, se vor realiza rețete posibile de panouri cu proprietăți termice și acustice.

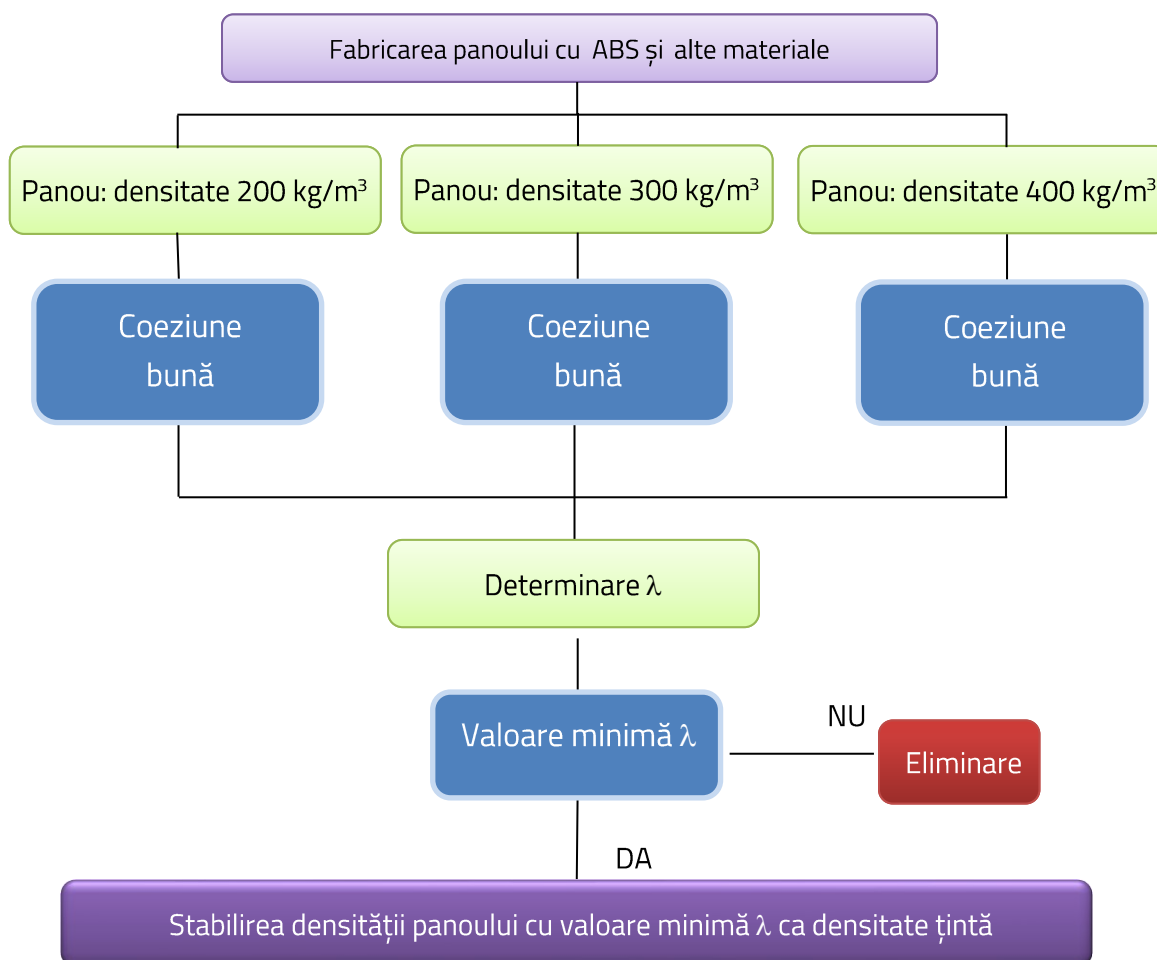
4. Realizarea panourilor în condiții de laborator și testarea performanțelor termice și acustice ale acestora

4.1. Obiective

Obiectivele stabilite pentru această fază a cercetării:

- Stabilirea unei densități țintă, în baza densităților materialelor determinate anterior.
- Elaborarea unor rețete de combinare a materialelor testate din punct de vedere termic și acustic, pe baza performanțelor înregistrate, conform testelor anterioare;
- Realizarea experimentală, în condiții de laborator, a panourilor termoizolante și fonoabsorbante din materialele studiate în capitolul anterior, conform rețetelor stabilite.

Stabilirea densității țintă presupune parcurgerea următoarelor etape conform schemei :



4.2. Realizarea experimentală a panourilor

Panourile au fost obținute prin presare la cald. Acestea au fost formate în rame cu dimensiunile de 420 mm x 420 mm x 16 mm.

Materialele componente s-au amestecat bine cu o paletă timp de 5 minute. Compoziția s-a turnat apoi în rame și s-a acoperit cu o folie termorezistentă pe ambele părți, pentru a evita lipirea compoziției de platanele preseii. Temperatura de presare utilizată a fost de 160 °C, iar presiunea utilizată a fost o presiune liberă, fără compactare, timp de 20 minute. Panourile s-au condiționat apoi timp de 48 ore și au fost formatizate la dimensiunea finală de 300 mm x 300 mm x 16 mm, pentru testul de determinare a coeficientului de conductivitate termică. Presarea s-a executat în presa din dotarea Laboratorului de materiale compozite al Facultății de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului.

Conform strategiei stabilite, s-au realizat inițial panouri cu densități de 400 kg/m³, 300 kg/m³ și 200 kg/m³ utilizând ABS și alte materiale în procente de 90%, respectiv 10% pentru toate variantele. S-a considerat procentul maxim de ABS, deoarece acesta este un material termoplast (cu rol de liant) în compoziția panourilor propuse, iar dacă acest procent nu satisface condiția de compactitate (rezistență bună la manipulare), atunci nici panourile cu aceeași compoziție, dar procent mai mic de ABS nu pot avea această însușire.

Dintre panourile realizate experimental, cel cu densitate de 200 kg/m³ a dovedit o rezistență slabă la manipulare, fiind fragil și sfărâmicios. Cele cu densități mai mari s-au dovedit a fi compacte. Ele au fost testate pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică (λ), rezultând o valoare mai mică (0,0448 W/mK) pentru panoul cu densitate de 300 kg/m³ față de cea a panoului cu densitate de 400 kg/m³ (0,0523 W/mK). Astfel, densitatea țintă rezultată în urma acestor determinări a fost stabilită la 300 kg/m³ pentru toate panourile în care se vor îngloba materialele alese în acest studiu, iar grosimea propusă este de 16 mm.

Compoziția și procentul de utilizare a materialelor în structura panourilor realizate sunt prezentate în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Compoziția panourilor proiectate și executate în prima fază (Planul experimental 1)

Tip componente			Procente de participare, %			Observații
M1	M2	M3	M1	M2	M3	
FL	ABS	-	10	90	0	
FL	ABS	-	20	80	0	
FL	ABS	-	30	70	0	
FL	ABS	-	40	60	0	
FL	ABS	-	50	50	0	Ușor fragile
FL	C	ABS	5	5	90	
FL	C	ABS	10	10	80	
FL	C	ABS	15	15	70	
FL	C	ABS	20	20	60	
FL	C	ABS	25	25	50	Ușor fragile
FL	PE	ABS	5	5	90	
FL	PE	ABS	10	10	80	
FL	PE	ABS	15	15	70	

FL	PE	ABS	20	20	60	
FL	PE	ABS	25	25	50	Uşor fragile
C	ABS	-	10	90	0	
C	ABS	-	20	80	0	
C	ABS	-	30	70	0	
C	ABS	-	40	60	0	
C	ABS	-	50	50	0	Uşor fragile

* Notații:

FL – fibre de lemn;

ABS – deșeuri de acrilonitril butadien stiren;

C – granule de cauciuc reciclat;

PE – granule de polietilenă reciclată;

Așa cum se poate observa în Tabelul 4.1., în rețetele panourilor nu s-a utilizat un procent mai mic de 50% de ABS, deoarece s-a constatat că la acest procent panourile devin ușor fragile, cu rezistență mai mică la manipulare. De aceea, s-a considerat în cercetările următoare că panourile cu cel mai mic conținut de ABS, care pot fi utilizate în scopul termoizolării, sunt cele cu procent de ABS mai mare de 60%.

În continuarea cercetărilor s-a verificat dacă acest lucru este valabil și pentru celelalte materiale neinvestigate încă, respectiv lâna (L) și hârtia măcinată (Hm) și s-a studiat totodată posibilitatea utilizării stufului cu diametru mic (S) în interiorul unei structuri și influența sa asupra proprietăților termice și acustice ale structurii respective.

S-a propus, de asemenea, în planul experimental următor, realizarea unor structuri fără ABS, utilizând hârtia, ca material celulozic și fibrele de lemn, ca material lignocelulozic și adeziv polivinilic pentru încheiere. Materialele componente și procentele lor de participare în acest al doilea plan experimental sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Componenta panourilor proiectate și executate în al doilea plan experimental

Tip componente*			Procente de participare, %			Observații
M1	M2	M3	M1	M2	M3	
Hm	ABS	-	40	60	-	
Hm	ABS	FL	20	60	20	
L	ABS	-	40	60	-	
FL	ABS	S	30	60	10	
Hm	-	-	100	-	-	Adeziv polivinilic ca liant
FL	-	-	100	-	-	Adeziv polivinilic ca liant

* Notații:

FL – fibre de lemn;

ABS – deşeuri de acrilonitril butadien stiren;

S - stuf cu diametru mic;

Hm – hârtie măcinată

L - lână

În vederea realizării unor structuri de pereţi exteriori pentru construcţii din lemn, s-a testat performanţa de izolare termică şi acustică a unor panouri din lemn de frasin tratat termic (PFTT) şi rezultatele s-au comparat cu cele ale unor panouri din lemn netratat termic (PFNT), cu intenţia de a utiliza panoul tratat termic în exteriorul structurii peretelui. În acest sens s-a determinat coeficientul de conductivitate termică (λ) pentru cele două variante de panouri. Pentru fabricarea acestora s-au folosit lamele cu dimensiunile de 600 mm x 65 mm x 27 mm din lemn tratat termic şi 600 mm x 150 mm x 27 mm din lemn netratat termic au fost încleiate cant la cant cu poliacetat de vinil KLEIBERIT 303 (D3 cu întăritor) formându-se panouri cu dimensiunile de 630 mm x 630 mm x 27 mm. Lamelele din lemn de frasin au fost achiziţionate de la HOLVER S.R.L. Consumul specific al adezivului utilizat la încleierea lamelor, a fost 200 g/m².

Acestea s-au presat la rece timp de 24 de ore. Panourile au fost formatizate la dimensiunile finale de 600 mm x 600 mm x 27 mm şi cântărite, în vederea calculării densităţii, ca raport între masa şi volumul acestora (Tabelul 4.3).

Tabelul 4.3. Proprietăţi fizice frasin tratat şi netratat termic

Cod panou	Dimensiuni panou			Volum [m ³]	Masă [Kg]	Densitatea [Kg/m ³]
	L[mm]	l[mm]	g[mm]			
PFNT	600	600	27	0,00972	6,41	659,47
PFTT	600	600	27	0,00972	6,12	629,63

4.3. Testarea panourilor şi rezultatele experimentale privind determinarea coeficientului de conductivitate termică

Metoda de determinare a coeficientului de conductivitate termică este cea a transferului termic în regim staţionar de la un platan cald cu temperatura T_2 către un platan rece cu temperatura T_1 , cu ajutorul echipamentului HFM Lambda 436/6. Testul s-a desfăşurat similar cu cel realizat pentru materialele componente ale panourilor, inclusiv pentru temperaturile T_1 şi T_2 , care au fost menţinute la aceleaşi valori pentru a păstra protocolul de testare stabilit anterior (Tabelul 3.1).

Pentru fiecare dintre tipurile de panouri realizate din materialele lignocelulozice şi reciclate prezentate anterior, s-a debitat o epruvetă de testare cu dimensiunile de 300 mm x 300 mm, pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică.

Pentru combinaţia dintre fibrele de lemn (FL) şi ABS reciclat, se poate observa că valorile λ sunt destul de bune, intervalul de variaţie fiind 0,044 W/mK – 0,048 W/mK, valori similare cu cele ale plăcilor şi pâslei de vată minerală utilizate în prezent ca materiale termoizolante în construcţia caselor. Se poate observa din graficul din Fig. 4.1. că procentul pentru care acest tip de panouri are cele mai bune proprietăţi de izolator termic este de 80% ABS şi 20% FL. Se mai poate observa că odată cu creşterea procentului de FL, performanţele de izolare termică sunt mai reduse. Deşi în cercetările

experimentale privind materiile prime utilizate la fabricarea panourilor coeficientul de conductivitate termică a înregistrat valori mai bune pentru FL (0,040 W/mK) față de ABS reciclat (0,041 W/mK), gradul de compactare a fibrelor din lemn în componența panourilor duce la reducerea performanței de izolare termică a acestui material.

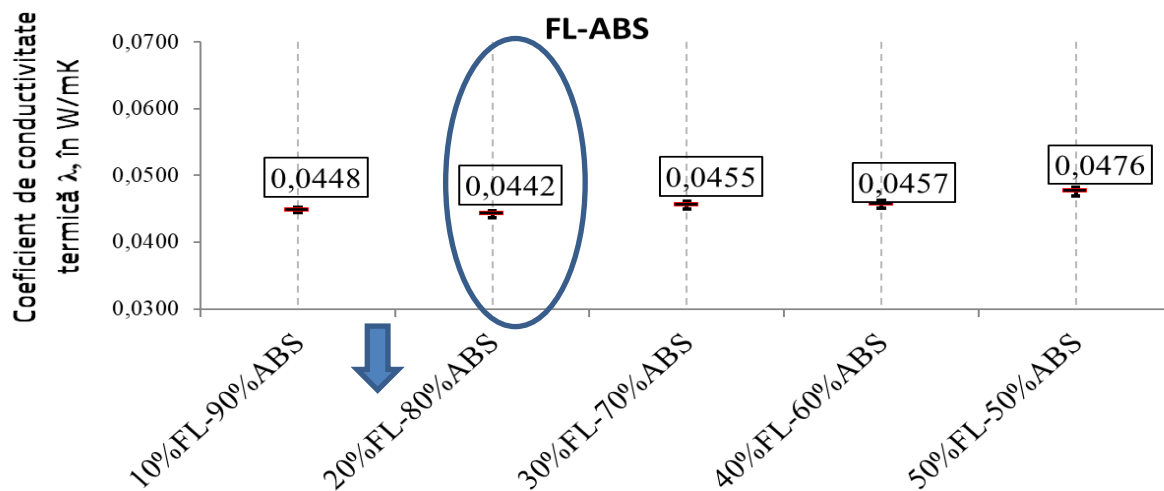


Fig. 4.1. Valorile medii ale coeficientului de conductivitate termică pentru panourile obținute din combinația, în diferite procente, a fibrelor din lemn (FL) cu ABS reciclat

Pentru panourile obținute din fibre de lemn (FL), polietilenă (PE) și ABS se observă că rezultatele coeficientului de conductivitate termică sunt bune, intervalul de variație fiind între 0,0475 W/mK și 0,0559 W/mK (Fig. 4.2) valori similare cu cele ale plăcilor din vată minerală utilizate în prezent. Se poate observa creșterea procentului de polietilenă reciclată (PE) și creșterea procentului de fibre de lemn influențează coeficientul de conductivitate termică reducând performanțele de izolare termică. Totuși, în comparație cu testările precedente, ale materiilor prime, unde rezultatele coeficientului de conductivitate termică pentru polietilenă reciclată (PE) au fost de 0,116 W/mK, în combinație cu alte materiale cum este și în cazul acesta cu fibre de lemn (FL) și ABS rezultatul este de 0,0559 W/mK, la jumătate din valoare pentru FL 25%- PE 25%-ABS 25 (%).

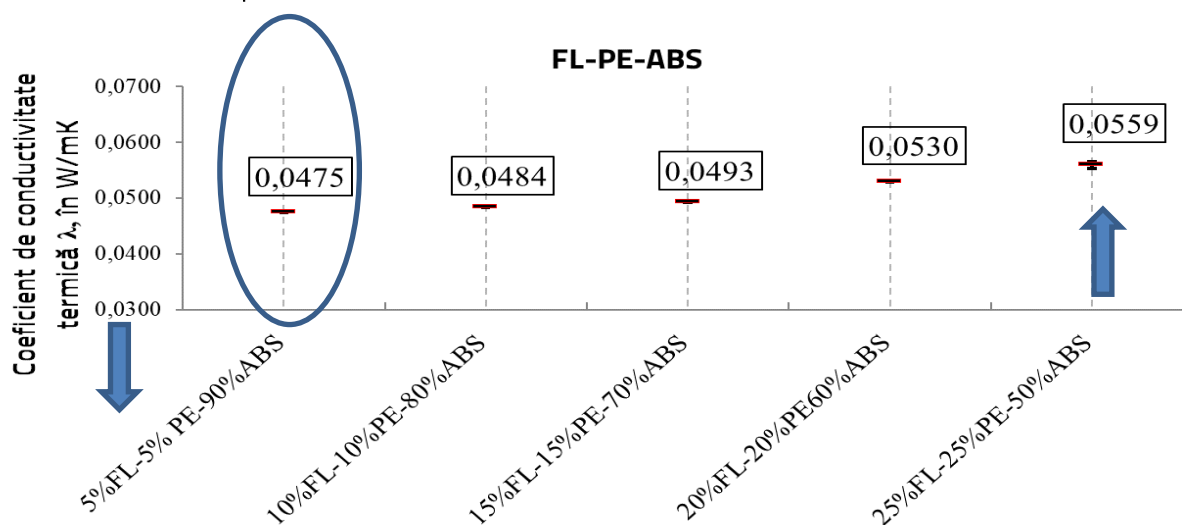


Fig. 4.2. Valorile coeficientului de conductivitate termică pentru panourile obținute din combinația, în diferite procente, a fibrelor din lemn (FL) cu polietilenă (PE) și ABS reciclat

Pentru plăcile din cauciuc reciclat (C) și ABS, rezultatele coeficientului de conductivitate termică au fost cuprinse între 0,0490 W/mK și 0,0546 W/mK (Fig. 4.3), cel mai bun rezultat fiind la placa cu 10% C și 90% ABS. Rezultatele pot fi comparate cu conductivitatea termică a unei cărămizi pline termobloc tip HD de la SICERAM unde λ este de 0,049 W/mK cu o densitate de 1530 kg/m³ (Siceram, 2020). Valorile λ în acest caz sunt superioare celei corespunzătoare granulelor de cauciuc din cercetările precedente ($\lambda=0,0853$ W/mK), datorită conținutului de ABS, care are un aport pozitiv în combinație.

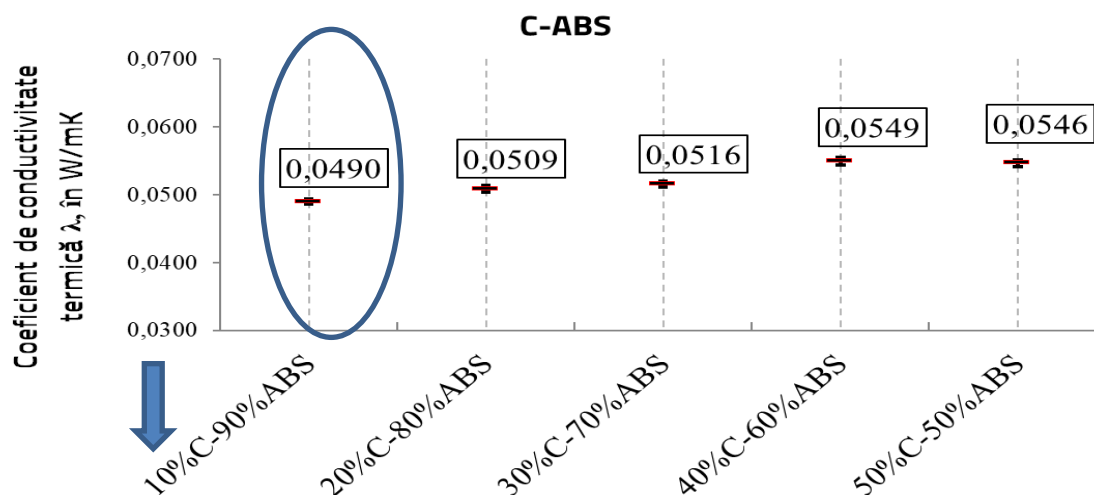


Fig. 4.3. Valorile coeficientului de conductivitate termică pentru panourile obținute din combinația, în diferite procente, a cauciucului reciclat (C) și ABS reciclat

Pentru combinația din panourile cu fibre de lemn (FL), cauciuc (C) și ABS (Fig. 4.4.) rezultatele coeficientului de conductivitate termică au fost între 0,0467 W/mK și 0,0508 W/mK. Fața de combinația de plăci anterioare cu cauciuc și ABS, se observă o ușoară îmbunătățire, aceasta fiind dată de introducerea fibrei de lemn în compoziție.

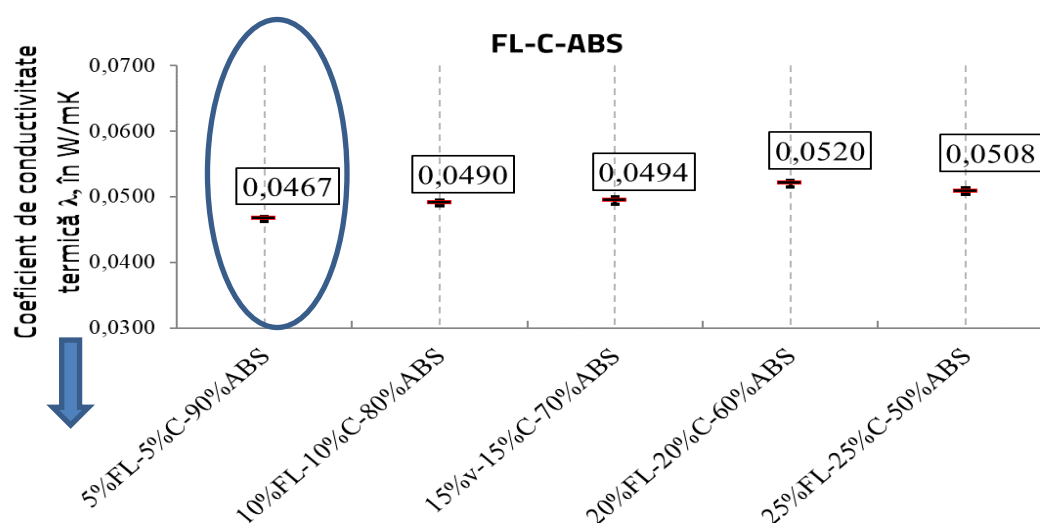


Fig. 4.4. Valorile coeficientului de conductivitate termică pentru panourile obținute din combinația, în diferite procente, a fibrelor din lemn (FL), cauciucului reciclat (C) și ABS reciclat

Pentru panourile din cel de-al doilea plan experimental, respectiv cele cu un procent de 60% ABS și 40% alte materiale, respectiv lână (L), hârtie măcinată (Hm) simplă și combinată în procente egale cu fibra de lemn (FL).

În structura ABS-FL s-a introdus stuful (S), cu un coeficient de absorbție acustică ridicat, conform testelor efectuate în capitolul 3. S-a menținut procentul de ABS la 60% din totalul materialelor și s-a alocat stufului un procent de 10%. S-a constatat însă, că stuful, amplasat în centrul miezului panoului, nu a reușit să se „integreze” în structura acestuia, nerealizându-se o adeziune suficientă între amestecul ABS-FL și exteriorul tulpinilor de stuf. Totuși, acest panou a putut fi supus testului de determinare a coeficientului de conductivitate termică.

Interpretarea datelor s-a făcut în continuare prin comparația valorilor λ pentru panourile care au avut în componența lor 60% ABS din totalul materialelor utilizate în structura acestora. Această comparație se poate observa în graficul din Fig. 4.5, pentru valorile medii ale λ și în Fig. 4.6 pentru valorile λ înregistrate pentru fiecare ΔT în parte.

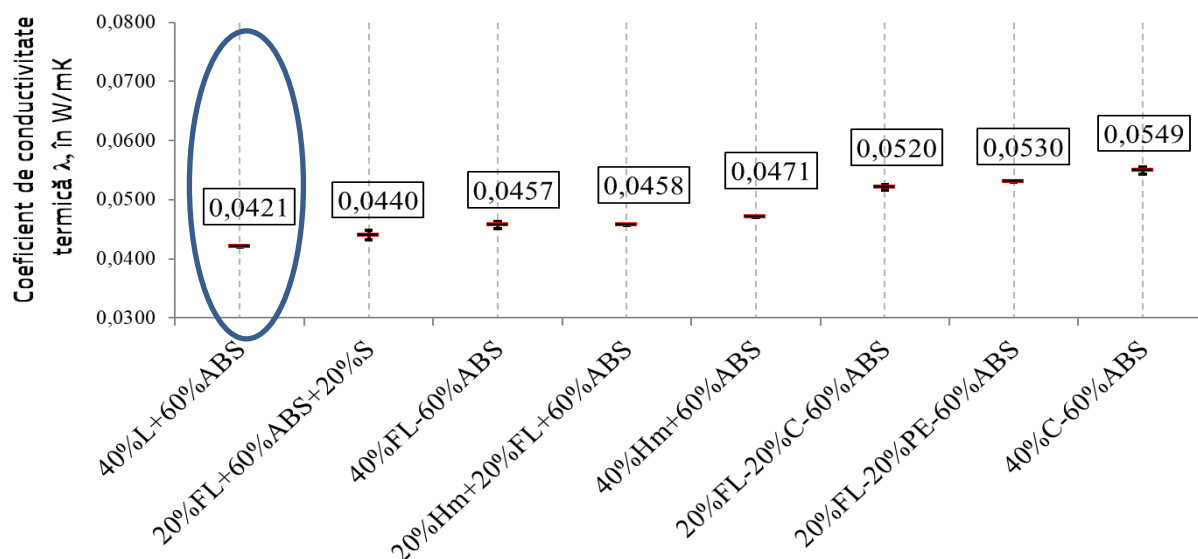


Fig. 4.5. Valorile medii ale coeficientului de conductivitate termică pentru panourile din combinații materiale termoizolante cu ABS 60 %

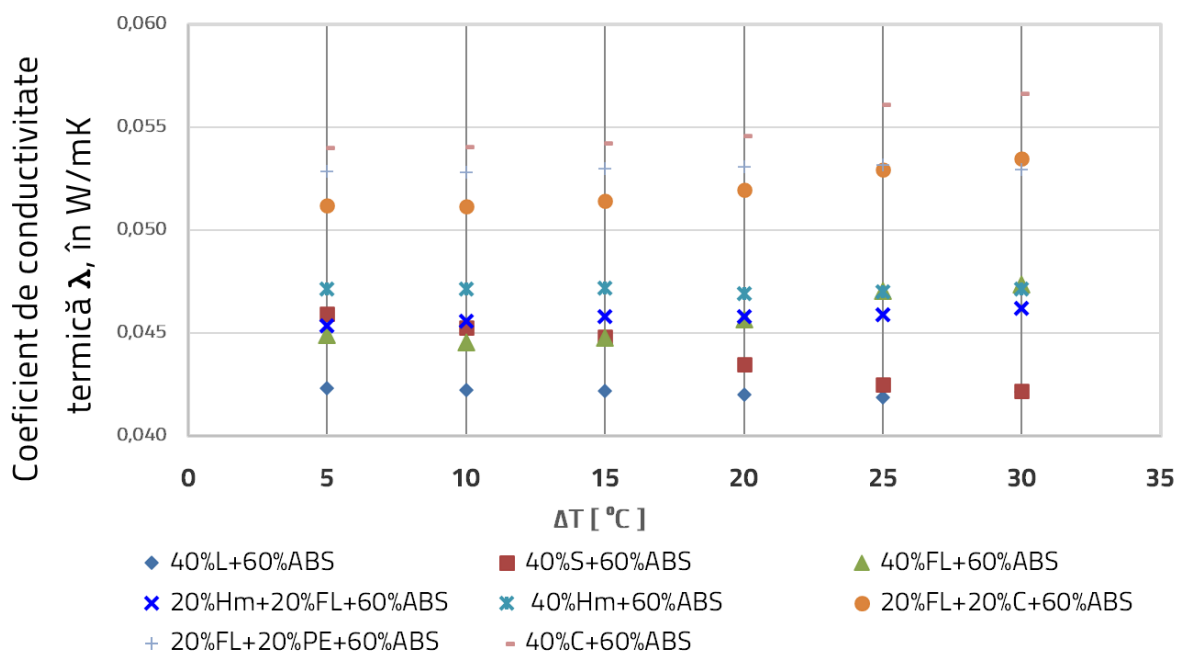


Fig. 4.6. Valorile λ (pentru fiecare ΔT în parte) pentru panourile realizate din combinații între ABS (60%) și alte materiale.

Din graficul din Fig. 4.5 se poate observa că cele mai bune valori ale λ s-au înregistrat pentru combinația dintre 40% lână (L) și 60% ABS.

Valorile experimentale obținute pentru λ în condiții variabile de temperatură, la testarea panourilor obținute din hârtie măcinată, sau fibre de lemn, utilizând ca liant poliacetatul de vinil (160 g adeziv + 300 g apă) nu sunt, însă, atât de performante ca cele obținute la alte panouri, λ înregistrând valori mai mari de 0,05 W/mK.

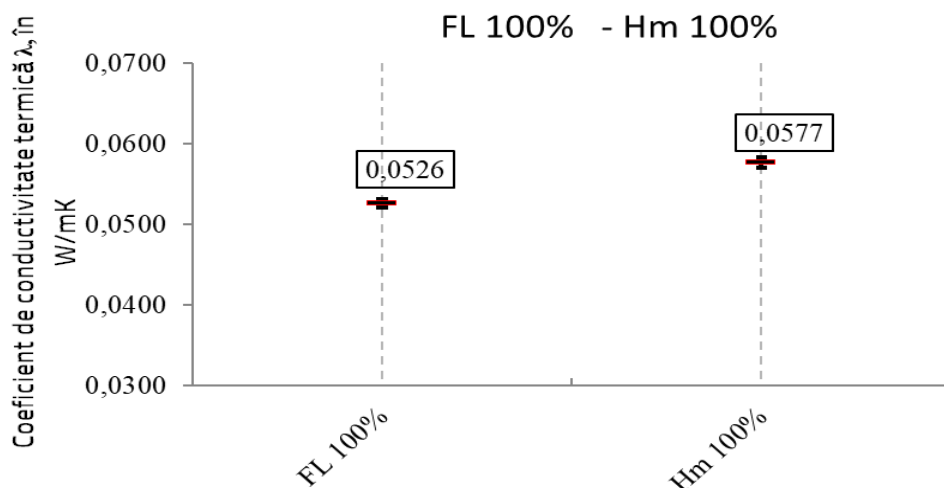


Fig. 4.7. Valorile coeficientului de conductivitate termică pentru panourile FL și Hm

Rezultatele finale obținute pentru coeficientul de conductivitate termică λ , calculat ca valoare medie a valorilor obținute pentru toate variațiile de temperatură (ΔT), sunt prezentate în Tabelul 4.4.

Tabelul 4.4. Valorile medii ale λ , în W/mK, pentru toate panourile realizate și testate

Componente*			Procente de participare, %			Valoarea medie λ , în W/mK	STDEV
M1	M2	M3	M1	M2	M3		
FL	ABS	-	10	90	0	0,0448	0,00087
FL	ABS	-	20	80	0	0,0442	0,00101
FL	ABS	-	30	70	0	0,0455	0,00111
FL	ABS	-	40	60	0	0,0457	0,00122
FL	ABS	-	50	50	0	0,0476	0,00126
FL	C	ABS	5	5	90	0,0467	0,00072
FL	C	ABS	10	10	80	0,0490	0,00090
FL	C	ABS	15	15	70	0,0494	0,00109
FL	C	ABS	20	20	60	0,0520	0,00098
FL	C	ABS	25	25	50	0,0508	0,00098
FL	PE	ABS	5	5	90	0,0475	0,00022
FL	PE	ABS	10	10	80	0,0484	0,00021
FL	PE	ABS	15	15	70	0,0493	0,00015
FL	PE	ABS	20	20	60	0,0530	0,00014
FL	PE	ABS	25	25	50	0,0559	0,00121
C	ABS	-	10	90	0	0,0490	0,00069
C	ABS	-	20	80	0	0,0509	0,00091
C	ABS	-	30	70	0	0,0516	0,00094

C	ABS	-	40	60	0	0,0549	0,00115
C	ABS	-	50	50	0	0,0546	0,00100
Hm	ABS	-	40	60	0	0,0471	0,00011
Hm	ABS	FL	20	60	20	0,0458	0,00029
L	ABS	-	40	60	-	0,0421	0,00015
FL	ABS	S	30	60	10	0,0440	0,00122
Hm	-	-	100	-	-	0,0577	0,00125
FL	-	-	100	-	-	0,0526	0,00107

Rezultatele din atribuite valorii medii a coeficientului de conductivitate termică (λ) ne arată că cel mai bun izolator termic este panoul cu 40% lână (L) și 60% ABS.

Pentru validarea acestui rezultat, s-au realizat încă 3 panouri cu grosime de 20 mm și un panou cu grosime de 50 mm, cu aceeași participare a celor două materiale componente: 40% lână (L) și 60% ABS. Pentru comparație, s-a testat și un panou de vată bazaltică (VB) cu densitate de 150 Kg/m³ și cu grosime de 50 mm. Panourile s-au fabricat la densitatea de 300 kg/m³ și s-au testat în aceleași condiții cu cele prezentate anterior.

Rezultatele coeficientului de conductivitate termică, obținute pentru plăcile de lână cu ABS (40% L și 60% ABS), indică o ușoară diferență între cele cu grosime de 20 mm și cele cu grosime de 50 mm Fig. 4.8. Conform datelor teoretice (Marinescu, 1979), nu ar trebui să existe diferențe între valori, deoarece grosimea nu este o proprietate ce influențează coeficientul de conductivitate termică. Comparația cu placa din vată bazaltică arată că panourile propuse în prezenta cercetare nu ajung la performanțele termice ale acesteia, dar au valori apropiate, situându-se în categoria materialelor cu bune proprietăți termoizolante.

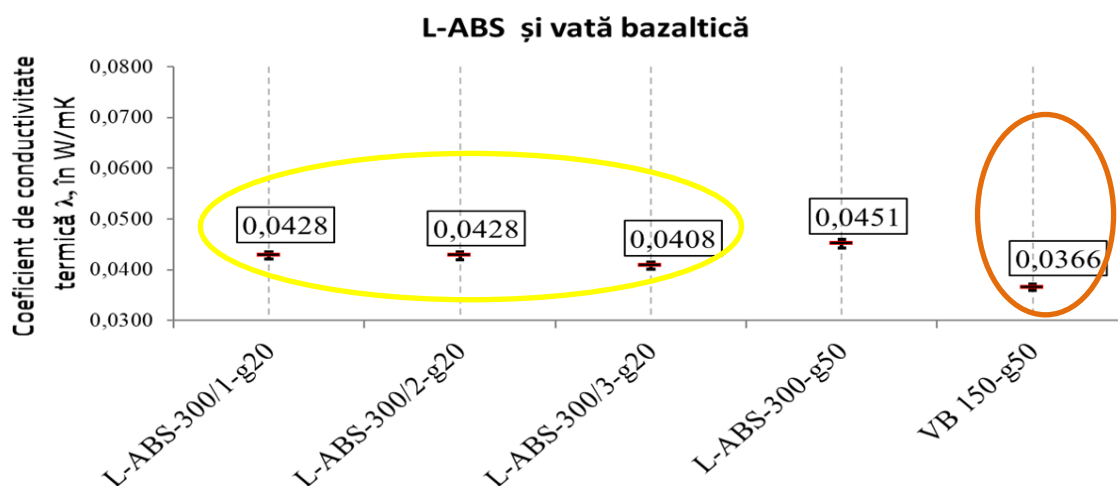


Fig. 4.8. Valorile medii ale coeficientului de conductivitate termică pentru panourile cu 40% L și 60% ABS comparativ cu cel al panourilor de vată bazaltică

Panourile din lemn de frasin tratat termic (PFTT) pot constitui învelișul exterior al structurilor de case din lemn, acoperind panourile termoizolante cu structurile prezentate în această cercetare. De aceea, s-au determinat atât coeficientul de conductivitate termică, cât și cel de absorbție acustică pentru acest tip de panouri, comparându-le cu cele din lemn de frasin netratat termic (PFNT).

Așa cum se poate observa din graficul din Fig. 4.9, valoarea coeficientului de conductivitate termică (λ) este în medie de 0.12 W/mK pentru ambele tipuri de panouri, înregistrând valori între 0,1147-0,1270 W/mK.

Unele cercetări arată avantajele lemnului tratat termic și anume scăderea umflării și contragerii acestuia, stabilitatea dimensională în condiții de umiditate ridicată (Westwood, 2008), ceea ce l-ar putea recomanda pentru placarea exterioară a pereților pentru structuri de case din lemn.

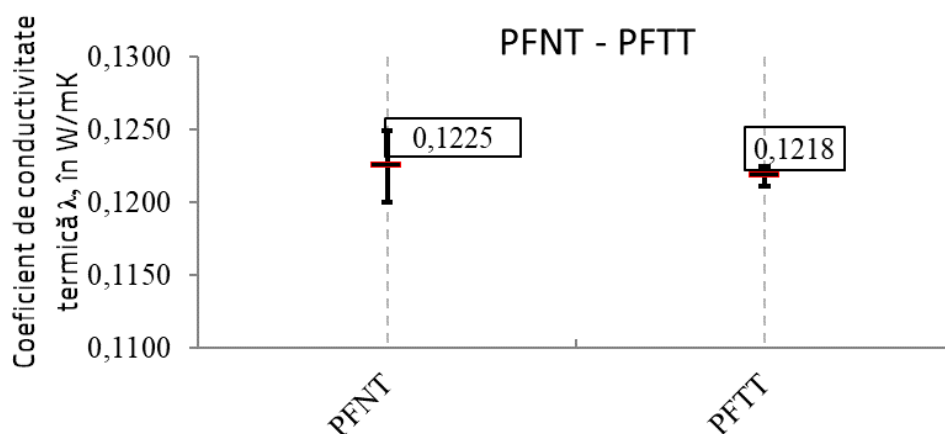


Fig. 4.9. Valorile medii ale coeficientului de conductivitate termică determinate experimental pentru panouri din lemn de frasin tratat termic (PFTT) și netratat termic (PFNT)

4.4. Testarea panourilor și rezultatele experimentale privind determinarea coeficientului de absorbție acustică

Pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică în cazul panourilor propuse, au fost debitate epruvete sub formă de cerc cu diametrul exterior de 100 mm (Fig. 4.10).

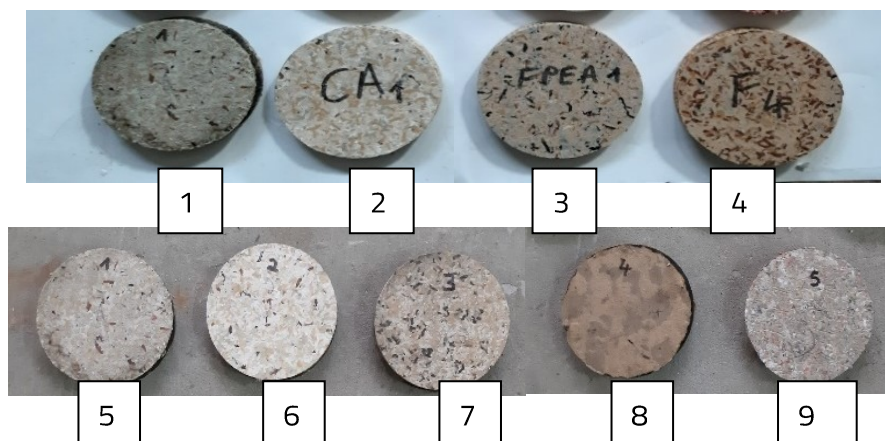




Fig. 4.10. Epruvete din plăci compozite pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică
1. FL-C-ABS, 2. C-ABS, 3. FL-PE-ABS, 4. FL-ABS, 5. Hm-ABS, 6. Hm-ABS-FL, 7. L-ABS, 8. FL, 9. Hm, 10. 11. 12. L-ABS, 13. FL-ABS-S

Determinarea experimentală a coeficientului de absorbție acustică s-a realizat prin metoda tubului de impedanță (SR EN ISO 10534-1, 2002), utilizându-se în acest sens tubul Kundt SCS80FA, prevăzut cu soft de achiziționare și de prelucrare a datelor. Toate probele au fost testate la 75 dB.

Pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică (α) pentru panourile din lemn de frasin tratat termic și netratat termic s-au debitat de asemenea probe cu diametrul $\varnothing = 100$ mm .

Rezultatele experimentale sunt prezentate pe grafic și este marcată zona frecvențelor luate în calcul la compararea rezultatelor obținute pentru materialele testate. Aceste frecvențe corespund vorbirii obișnuite, în jurul valorii de 1000 Hz, așa cum s-a explicat în subcapitolul 3.5.3. Dintre tipurile de materiale testate s-au obținut cele mai bune rezultate la placa cu fibre de lemn (FL), cauciuc (C) și ABS, cu următoarele procente: 25% FL, 25% C, 50% ABS. Pentru acest tip de placă, valoarea este $\alpha=0,70$ (Fig. 4.11) și se încadrează în clasa C de absorbție conform standardului (SR EN ISO 11654, 2005)

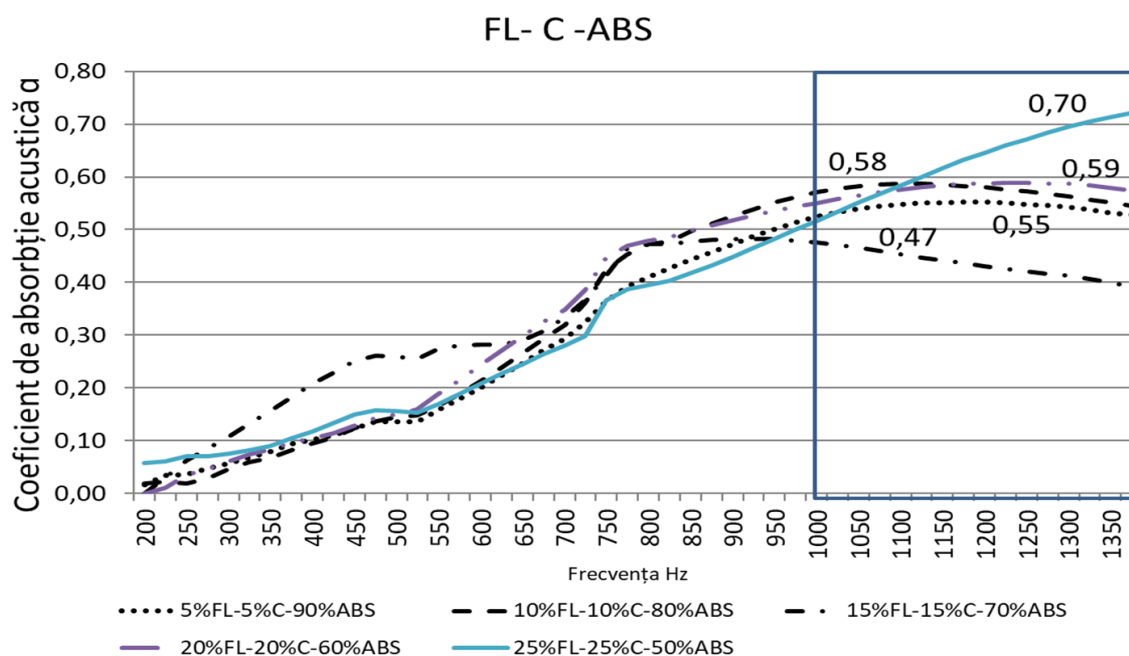


Fig. 4.11. Coeficient de absorbție acustică pentru plăci din fibre de lemn (FL), cauciuc (C) și ABS

Următorul panou ca și performanță din punct de vedere al absorbției fonice și care s-a încadrat în clasa C a fost cea cu cauciuc și ABS în următoarele procente: 20% C și 80% ABS, cu $\alpha=0,66$ (Fig. 4.12)

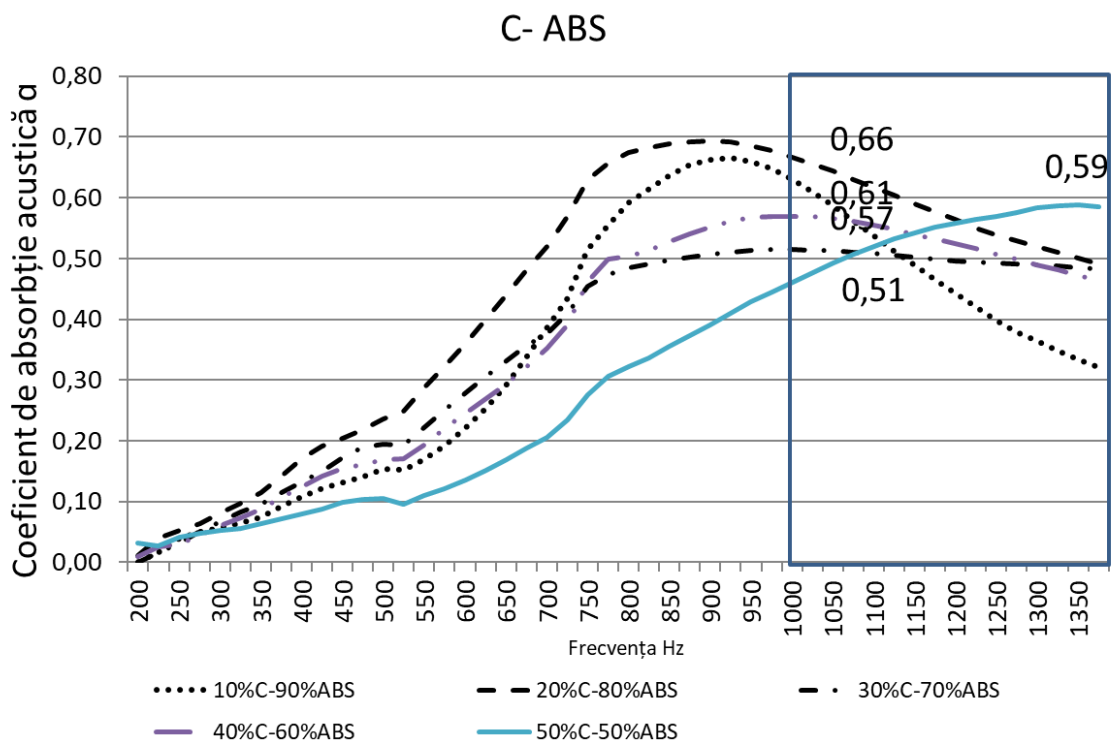


Fig. 4.12. Coeficientul de absorbție acustică pentru plăci din cauciuc (C) și ABS

Dintre plăcile cu fibre de lemn și ABS, cel mai bun rezultat l-a obținut placa cu 50% FL și 50% ABS, cu $\alpha=61$ (Fig. 4.13)

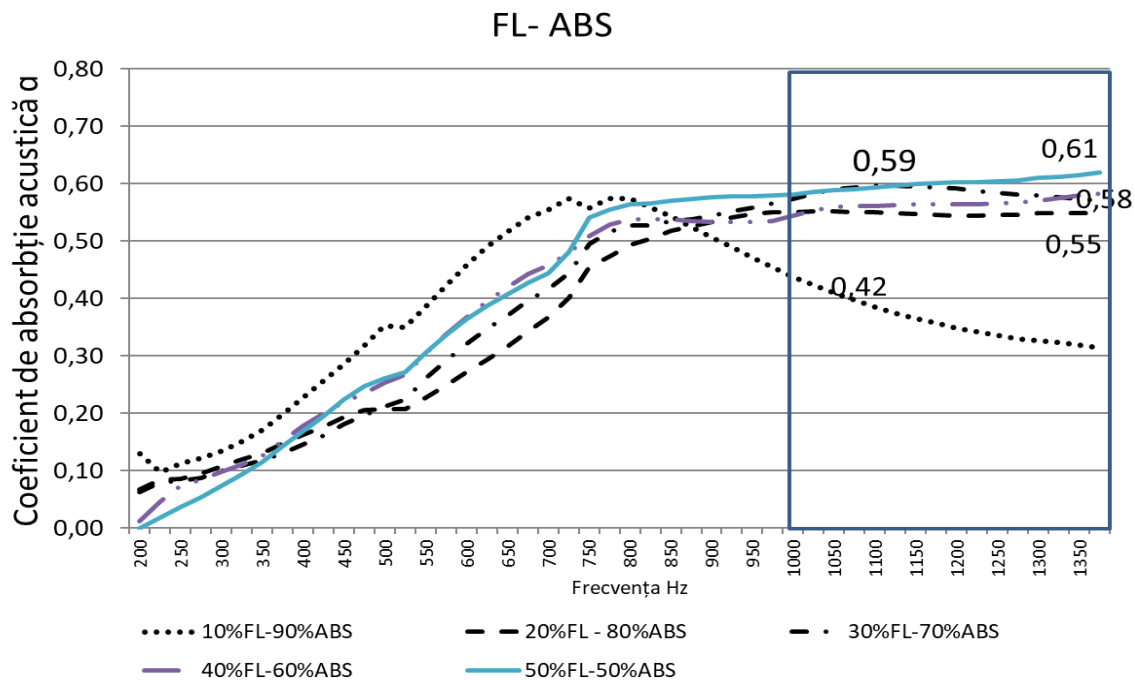


Fig. 4.13. Coeficientul de absorbție acustică pentru plăci din fibre de lemn (FL) și ABS

În ceea ce privește plăcile cu fibre de lemn, polietilenă și ABS, placa cu cel mai bun rezultat s-a dovedit a fi cea cu 5% FL, 5% PE și 90% ABS, cu $\alpha=0,58$, așa cum rezultă din Fig. 4.14.

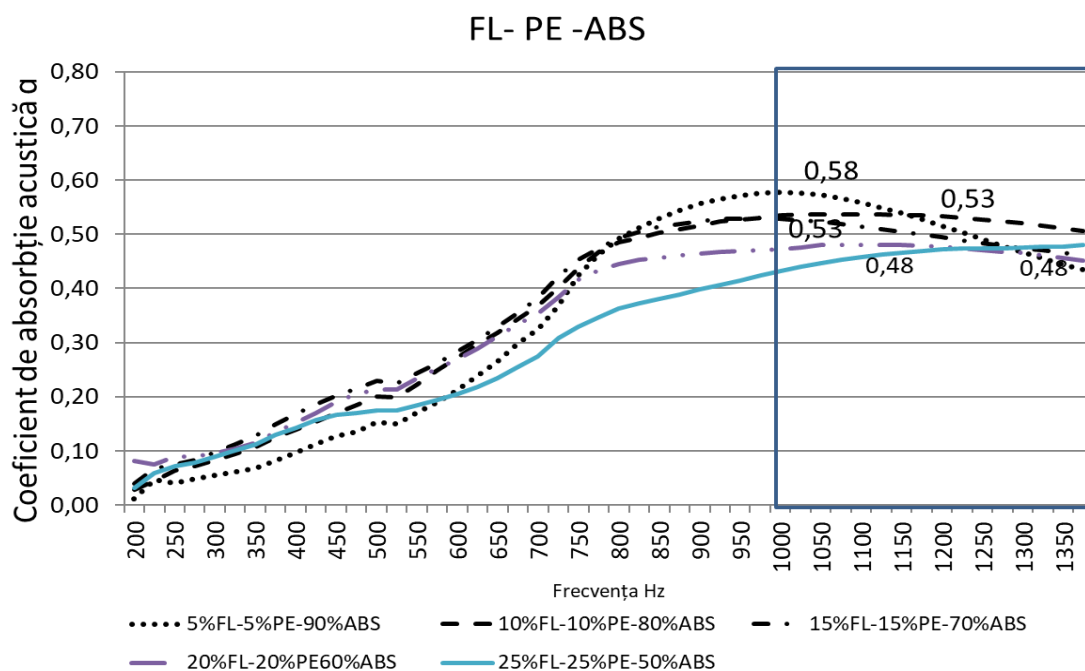


Fig. 4.14. Coeficient de bsorbție acustică plăci din fibre de lemn, polietilena reciclată (PE) și ABS

Pentru plăcile cu un procent de participare al ABS-ului de 60 %, în care s-au utilizat și celelalte materiale, respectiv lâna (L), hârtia măcinată (Hm) și stuful (S), rezultatele comparative ale coeficientului de absorbție acustică arată faptul că cele mai bune rezultate s-au obținut pentru panourile cu 30% FL, 10% S și 60% ABS, cu un $\alpha=0,72$ (clasa C), urmate de cele cu combinația 20% FL, 20% C și 60% ABS cu $\alpha=0,59$ (între clasa C-D), apoi cele cu 40% FL și 60% ABS, cu $\alpha=0,58$ (între clasa C-D) și în final cele cu 40% C și 60% ABS, cu $\alpha=0,57$ (între clasa C-D). Restul plăcilor se clasifică în clasa D de absorbție acustică (Fig. 4.15).

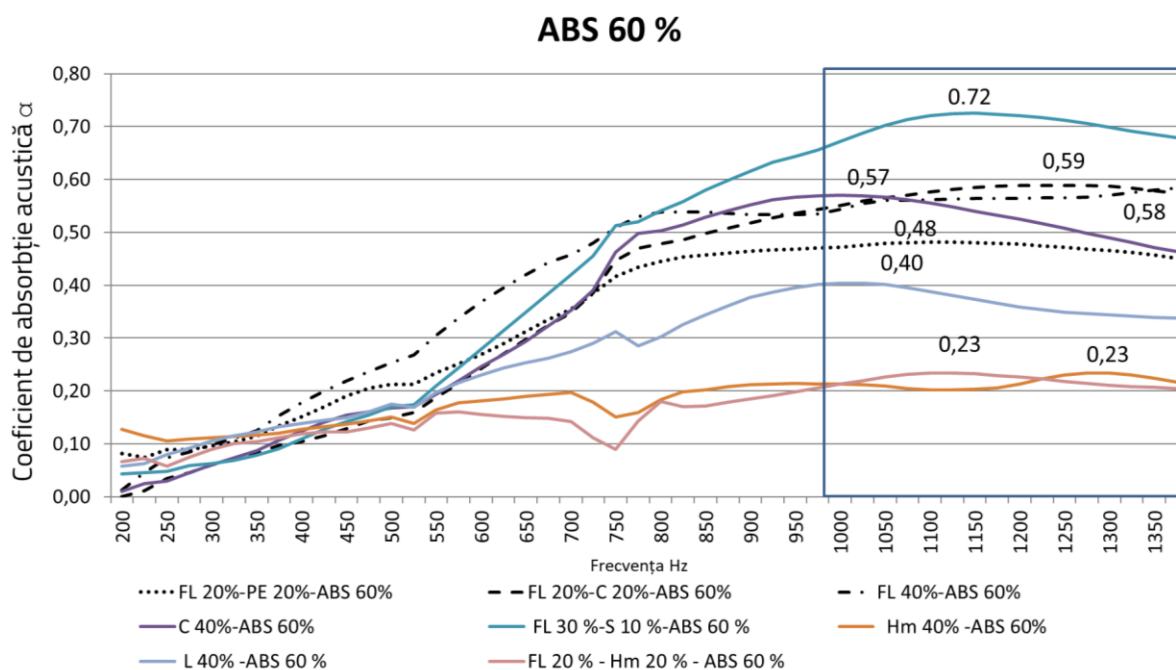


Fig. 4.15. Coeficientul de absorbție acustică pentru diferite tipuri de plăci cu materiale reciclabile cu 60% ABS

Pentru plăcile constituite din Hm, respectiv FL și adeziv polivinilic, valorile maxime ale indicelui de absorbție acustică au fost de $\alpha=0,33$ pentru placa Hm 100 % și $\alpha=0,32$ pentru FL 100 % (Fig. 4.16).

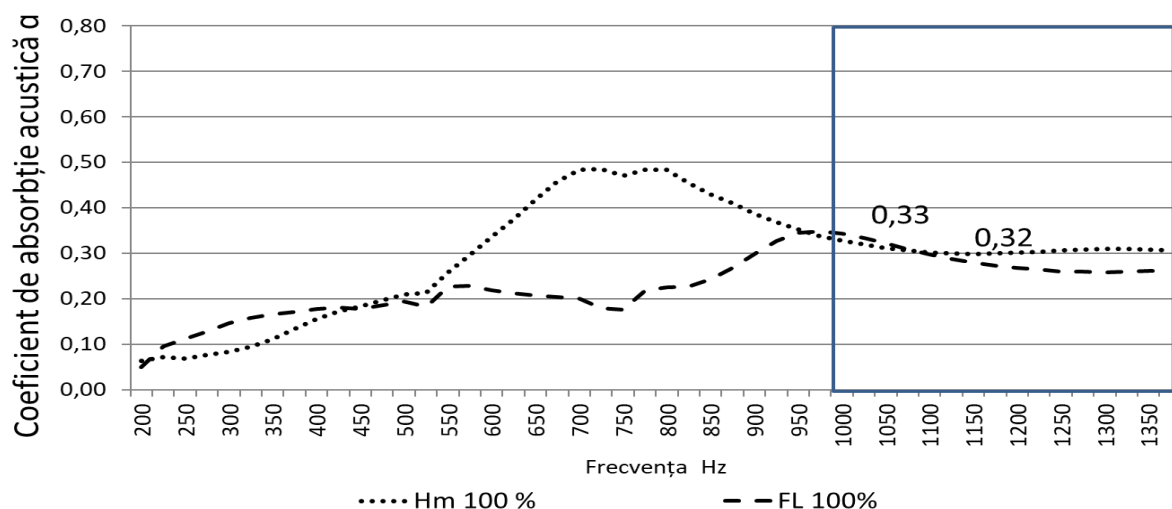


Fig. 4.16. Coeficientul de absorbție acustică pentru plăcile cu 100% hârtie măcinată (Hm) și 100% fibre de lemn (FL) încleiate cu aracet

Comparativ cu vata bazaltică (clasa C de absorbție acustică), care a înregistrat un coeficient de absorbție acustică de $\alpha=0,87$, s-au înregistrat valori apropiate pentru plăcile cu 30%FL, 10%S, 60%ABS, cea cu 25%FL, 25%C, 50% ABS, cea cu 20%C, 80% ABS și cea cu 10% C și 90% ABS (Fig. 4.17).

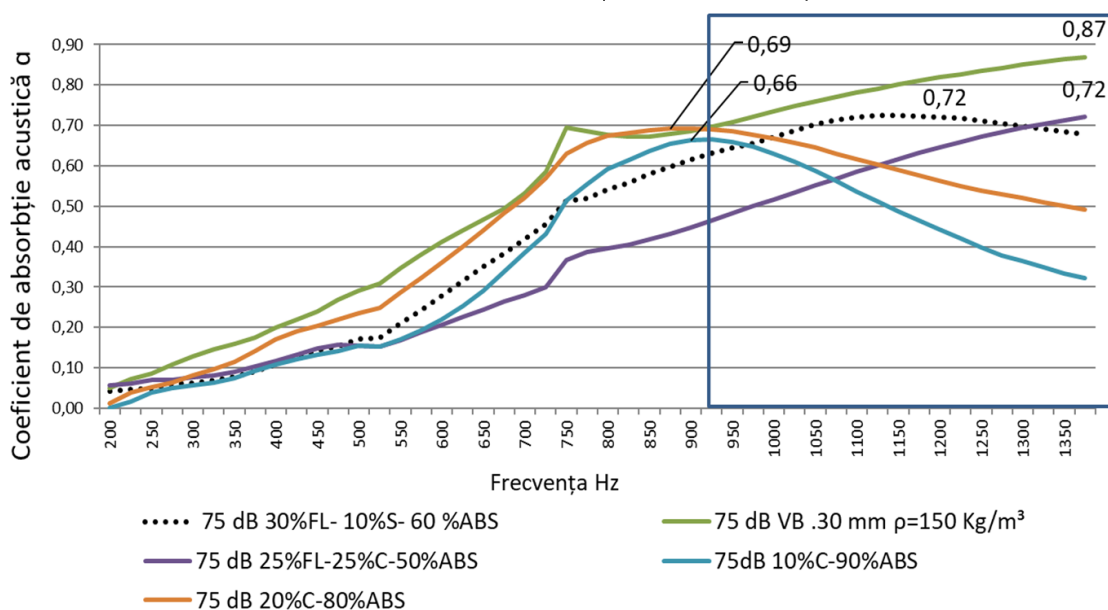


Fig. 4.17. Coeficientul de absorbție acustică clasa C pentru VB comparativ cu alte plăci

Rezultatele coeficientului de absorbție acustică pentru epruvetele obținute din lemn de frasin tratat termic și netratat, au demonstrat o absorbție acustică foarte scăzută a acestor materiale pentru frecvențe mai mari de 100 Hz, în jur de 0,1. Rezultatul confirmă necesitatea utilizării unor materiale poroase ca miezuri, astfel încât să se obțină o absorbție acustică satisfăcătoare. Lemnul de frasin netratat are un coeficient de absorbție acustică mai bun în comparație cu cel tratat termic. Explicația ar putea fi conținutul mai mare de aer din lemnul netratat stocat în celulele din lemn.

4.5. Concluzii privind performanţa termică și acustică a panourilor investigate

Centralizarea datelor experimentale referitoare la coeficientul de conductivitate termică (valoare medie) și la coeficientul de absorbție acustică (valoare maximă la o frecvență mai mare de 1000 Hz), pentru panourile investigate, este prezentată în

Tabelul 4.5, în ordinea performanțelor termice.

Tabelul 4.5. Centralizarea datelor experimentale referitoare la coeficientul de conductivitate termică și la coeficientul de absorbție acustică

Material componente și procent de participare	Grosime, în mm	λ , în W/mK	α	Observații
40%L - 60 % ABS	20	0,0395	0,33	
40%L - 60 % ABS	20	0,0415	0,32	
40%L - 60 % ABS	20	0,0418	0,33	
40%L - 60 % ABS	20	0,0421	0,4	
40%L - 60%ABS	50	0,0440	0,4	
20%FL - 80%ABS	16	0,0442	0,55	
10%FL-90%ABS	16	0,0448	0,48	
30%FL-70%ABS	16	0,0455	0,59	
40%FL-60%ABS	16	0,0457	0,58	
20%FL -20%Hm - 60%ABS	20	0,0458	0,23	
5%FL-5%C-90%ABS	16	0,0467	0,55	
40%Hm -60%ABS	20	0,0471	0,23	
5%FL-5%PE-90%ABS	16	0,0475	0,58	
50%FL-50%ABS	16	0,0476	0,61	Ușor fragilă
10%FL-10%PE-80%ABS	16	0,0484	0,53	
10%C-90%ABS	16	0,0490	0,61	
10%FL-10%C-80%ABS	16	0,0490	0,59	
15%FL-15%PE-70%ABS	16	0,0493	0,53	
15%FL-15%C-70%ABS	16	0,0494	0,47	
30%FL - 60%ABS - 10%S	30	0,0502	0,41	
25%FL-25%C-50%ABS	16	0,0508	0,7	Ușor fragilă
20%C-80%ABS	16	0,0509	0,66	
30%C-70%ABS	16	0,0516	0,51	
20%FL-20%C-60%ABS	16	0,0520	0,59	
100%FL	20	0,0526	0,32	
20%FL-20%PE60%ABS	16	0,0530	0,48	
50%C-50%ABS	16	0,0546	0,59	Ușor fragilă
40%C-60%ABS	16	0,0549	0,57	
25%FL-25%PE-50%ABS	16	0,0559	0,48	Ușor fragilă
100%Hm	20	0,0577	0,33	

În Fig. 4.18 sunt prezentate, comparativ, performanţele termice şi acustice ale panourilor investigate

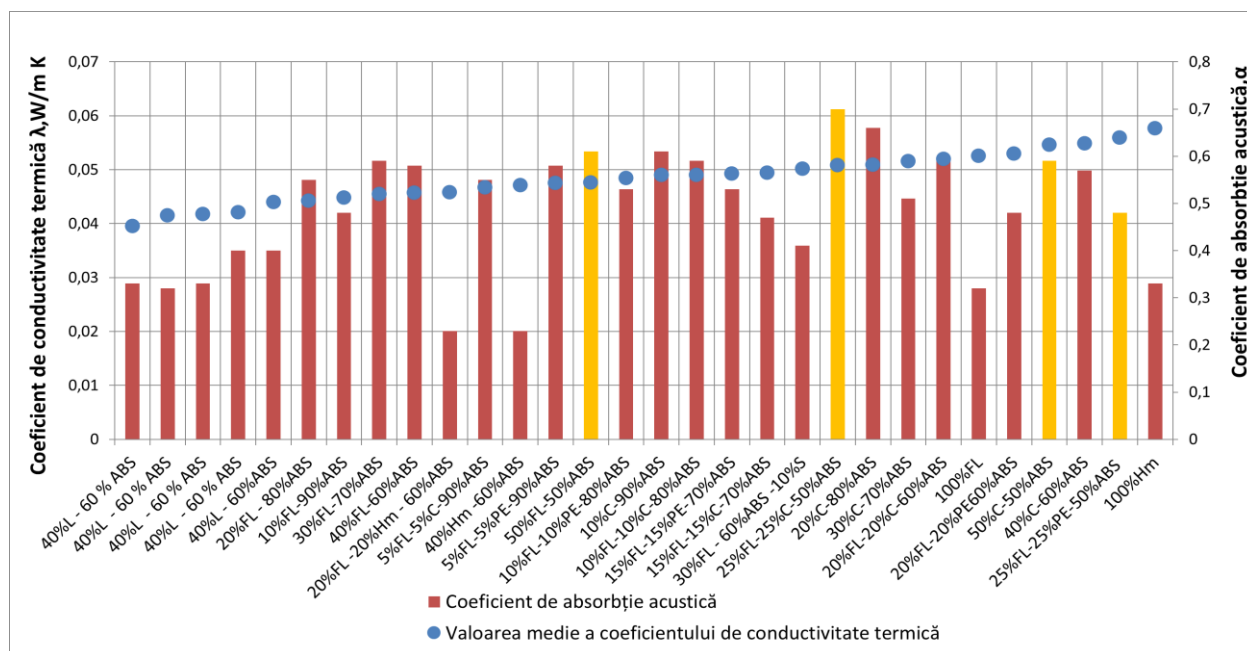


Fig. 4.18. Performanţele termice şi acustice ale plăcilor testate

Conform Normativului C 107/2-2005 (Anexa B /clasa de inerţie termică), un strat din structura unui element de construcţie se consideră termoizolant, dacă este realizat dintr-un material cu conductivitatea termică mai mică de 0,065 W/mK şi cu o grosime pentru care rezistenţa specifică la permeabilitatea termică să fie mai mare de 0,5 m²K/W. Din punct de vedere al coeficientului de conductivitate termică, toate panourile testate s-au dovedit a fi termoizolante, înregistrând valori în intervalul 0,0421 W/mK - 0,0577 W/mK, iar rezistenţele termice s-au încadrat în intervalul 0,048 W/mK şi 1,540 W/mK.

Panourile cu cea mai bună valoare înregistrată pentru coeficientul de conductivitate termică (0,0395 W/mK) sunt cele cu 40% lână şi 60% ABS. Acestea însă au dovedit a avea un coeficient de absorbţie acustică de doar $\alpha = 0,40$, ceea ce le încadrează în clasa D de absorbţie acustică conform SR EN ISO 11654:2005. Deşi panourile cu 50% ABS au dovedit a avea o structură ceva mai fragilă, acestea au înregistrat valori bune atât din punct de vedere termic, cât şi din punct de vedere al absorbţiei acustice (clasa C). Astfel, panoul cu 50% FL şi 50% ABS, a înregistrat o valoare $\lambda = 0,0476$ W/mK şi $\alpha = 0,61$, iar cel cu 50% C şi 50% ABS, o valoare $\lambda = 0,0546$ W/mK şi $\alpha = 0,59$.

Alte panouri cu $\lambda < 0,05$ şi coeficient de absorbţie în clasa C (clasa cea mai bună în care s-au încadrat panourile testate) au mai fost: panoul cu 30% FL şi 70% ABS, înregistrând o valoare $\lambda = 0,0455$ W/mK şi $\alpha = 0,59$, panoul cu 10% C şi 90% ABS, cu $\lambda = 0,0490$ W/mK şi $\alpha = 0,61$, panoul cu 10% FL, 10% C şi 80% ABS cu $\lambda = 0,0490$ W/mK şi $\alpha = 0,59$, precum şi panoul cu 5% FL, 5% PE şi 90% ABS, cu $\lambda = 0,0475$ W/mK şi $\alpha = 0,58$.

Aportul de hârtie în structura panourilor, respectiv în panoul cu 20% Hm, 20% FL şi 60% ABS, precum şi în panoul cu 40% Hm şi 60% ABS, nu a avut efecte negative asupra coeficientului de conductivitate

termică a panourilor, dar a influenţat negativ coeficientul de absorbţie acustică, încadrând aceste panouri în clasa E de absorbţie acustică ($\alpha=0,23$).

În urma analizei acestor rezultate, se alege panoul cu cea mai bună performanţă termică (40% lână și 60% ABS) pentru a fi testat în interiorul unei structuri de perete exterior pentru o casă din lemn din punct de vedere al performanţelor termice și acustice. Totodată, în combinaţie cu acestea, se vor testa ca și materiale de umplutură cele în vrac, ale căror rezultate obținute anterior le-au încadrat în bune izolatoare termice și acustice (fibre de lemn, lână, ABS, hârtie măcinată și stuf). Metodele de investigare și rezultatele obținute vor fi prezentate în capitolul următor.

5. Cercetări aplicative privind utilizarea panourilor termoizolante și fonoabsorbante propuse și a materialelor termoizolante în vrac în structuri de pereți exteriori pentru case din lemn

5.1. Obiectiv

Acest capitol are ca obiectiv o cercetare aplicativă, prin utilizarea panourilor propuse (40% lână și 60% ABS) într-o structură de perete pentru case din lemn. Determinările anterioare ale coeficientului de conductivitate termică, în condiții de laborator, vor fi utilizate pentru calculul teroretic al transmitanței termice (U), pentru a raporta aceste valori la cele prevăzute de normativele pentru case pasive, unde, pentru zona temperat-continentală (specifică României), coeficientul maxim de transfer termic recomandat trebuie să fie pentru pereți exteriori de $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ și pentru pereți interiori de $0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, conform criteriilor caselor pasive eliberate prin certificare de către Institutul de Case Pasive din Germania (**Passive House Institute Darmstadt, 2016**) și $0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$ conform Ordinului 2641/2017 eliberat de Ministerul transporturilor construcțiilor și turismului (**Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor, 2017**). Rezistența termică minimă recomandată, conform aceluiași Ordin, este de $1,80 \text{ m}^2\text{K/W}$.

În structura experimentală de perete exterior propusă pentru case din lemn va fi utilizat panoul care a înregistrat coeficientul de conductivitate termică cel mai bun, respectiv cel cu 40% L și 60% ABS, cu diferite materiale de umplutură cu proprietăți termoizolante. Pentru aceste variante de combinare se va determina λ și rezistența termică (R) în condiții de laborator și se va calcula transmitanța termică U în două variante. Totodată, se va măsura transmitanța termică în condiții reale, „in situ”, utilizând senzori de temperatură și flux termic, cu ajutorul sistemului ThermoZig BLE de la compania OPTIVELOX, programat a face înregistrările acestor parametri pe o perioadă de 7 zile.

Prin compararea rezultatelor teoretice și experimentale se va putea evalua marja de eroare a rezultatelor teoretice.

5.2. Realizarea structurilor de pereți exteriori utilizați în cercetarea experimentală

Structura peretelui exterior pentru case din lemn propusă (Fig. 5.1) pentru a investiga performanța termică exprimată prin valoarea transmitanței termice (U), prin cele două metode (în condiții de laborator și „in situ”), este alcătuită dintr-o ramă din PAL (5.) cu următoarele straturi, din interior către exterior: 1. placă de gips carton de 12 mm, 2. folie aluminiu grosime 0,2 mm, 3. strat de material izolant umplutură, 4. panou, 5. ramă din PAL, 6. placă OSB de 12,5 mm,.

Aceasta este o structură obișnuită de perete exterior pentru casele din lemn. Are grosimea de 175 mm, și s-a propus aceasta grosime datorită limitării de testare a instalației pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică HFM 436/6.

În această structură se propune testarea panourilor cu 40% L și 60% ABS în mai multe variante, respectiv cu 1, 2 și 3 panouri. Se notează cu L-ABS-20 panoul cu grosimea de 20 mm. Pentru a studia influența panourilor în structură, se testează structura în condiții de laborator pentru determinarea λ ,

prin introducerea consecutivă a unui panou, apoi a două panouri și în cele din urmă a trei panouri (Fig. 5.1). Structura cu 3 panouri se va nota prescurtat cu S3P.

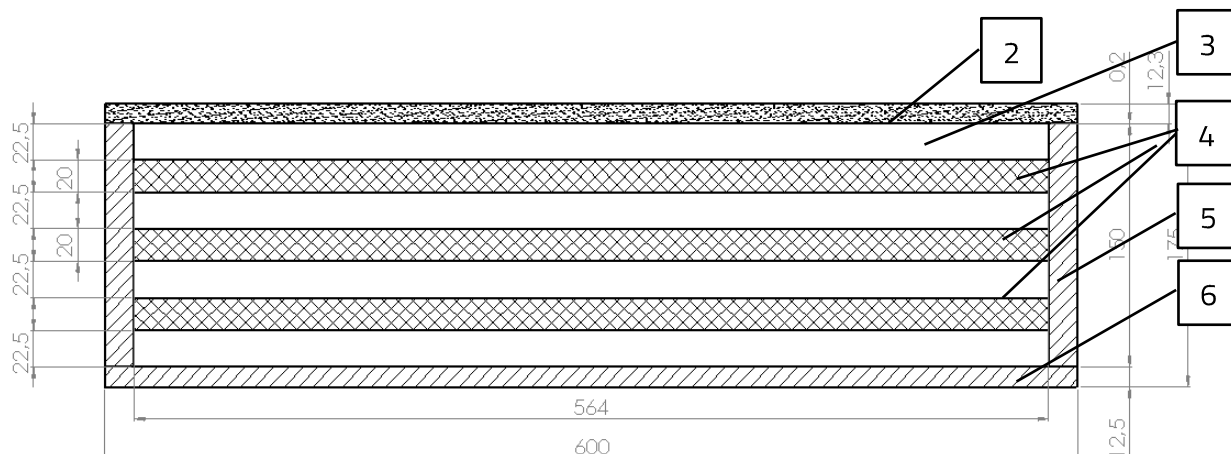


Fig. 5.1. Structură de perete exterior cu 3 panouri pentru construcție de case din lemn. (S3P).

După testarea structurii S3P, se introduc două, apoi patru straturi de material termoizolant, așa cum se poate observa în Fig. 5.2 și respectiv Fig. 5.3 .

Pentru această variantă s-a determinat λ , cu diferite materiale de umplură, din rândul celor propuse în această teză de doctorat (lână, fibre de lemn, ABS, stuf și hârtie măcinată). Vom nota această structură cu S3P2S + materialul de izolare .

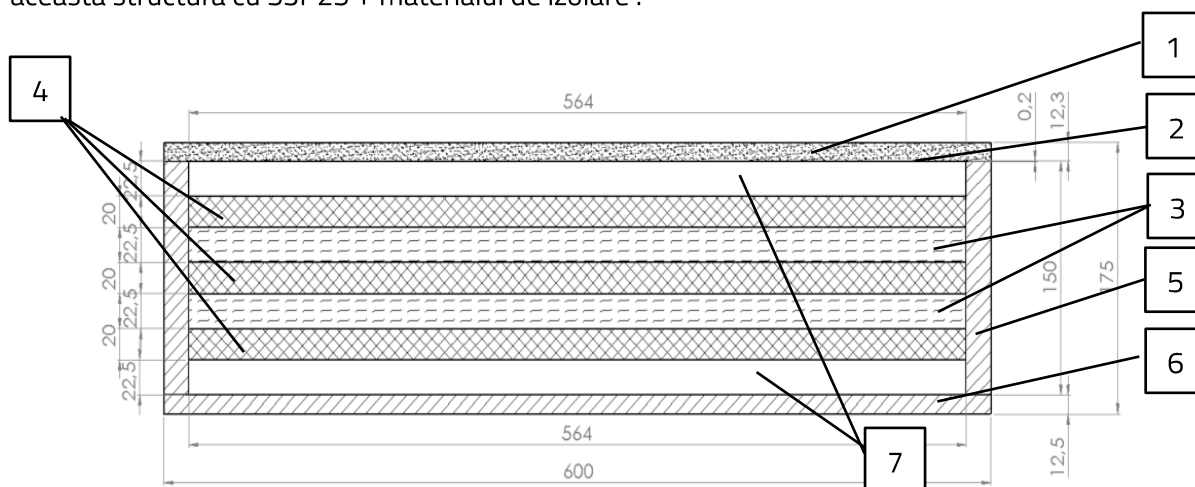


Fig. 5.2. Structură de perete exterior pentru construcție de case din lemn cu 3 panouri termoizolante + 2 straturi de material termoizolant (S3P2S). 1. placă gips carton; 2. folie aluminiu; 3. strat de material termoizolant; 4. placă ABS-lână (L-ABS 20); 5. ramă din PAL; 6. placă OSB; 7. gol de aer.

Testarea experimentală pentru determinarea coeficientului λ s-a realizat și în acest caz cu diferite materiale de umplură (lână, fibre de lemn, ABS, stuf și hârtie măcinată). Vom nota această structură cu S3P4S + materiale de izolare .

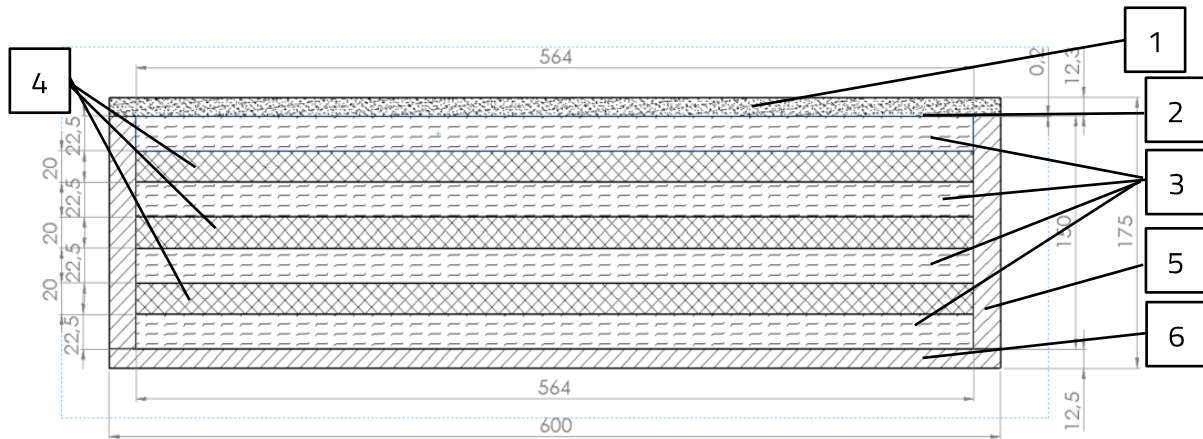


Fig. 5.3. Structură de perete exterior pentru construcție de case din lemn cu 3 panouri termoizolante + 4 straturi de material termoizolant (S3P4S). 1. placă gips carton; 2. folie aluminiu; 3. strat de material termoizolant; 4. placă L-ABS-20; 5. ramă din PAL; 6. placă OSB.

5.3. Calculul teoretic al transmitanței termice pentru structurile de pereți de exterior pentru case din lemn, cu considerarea panourilor propuse

- În acest subcapitol se determină prin calculul teoretic transmitanța termică (U) pentru structurile de pereți exteriori pentru case din lemn, prin două metode, conform schemei din Fig. 5.4, urmând ca valorile obținute să fie comparate cu cele obținute experimental, în condiții reale („in situ”).

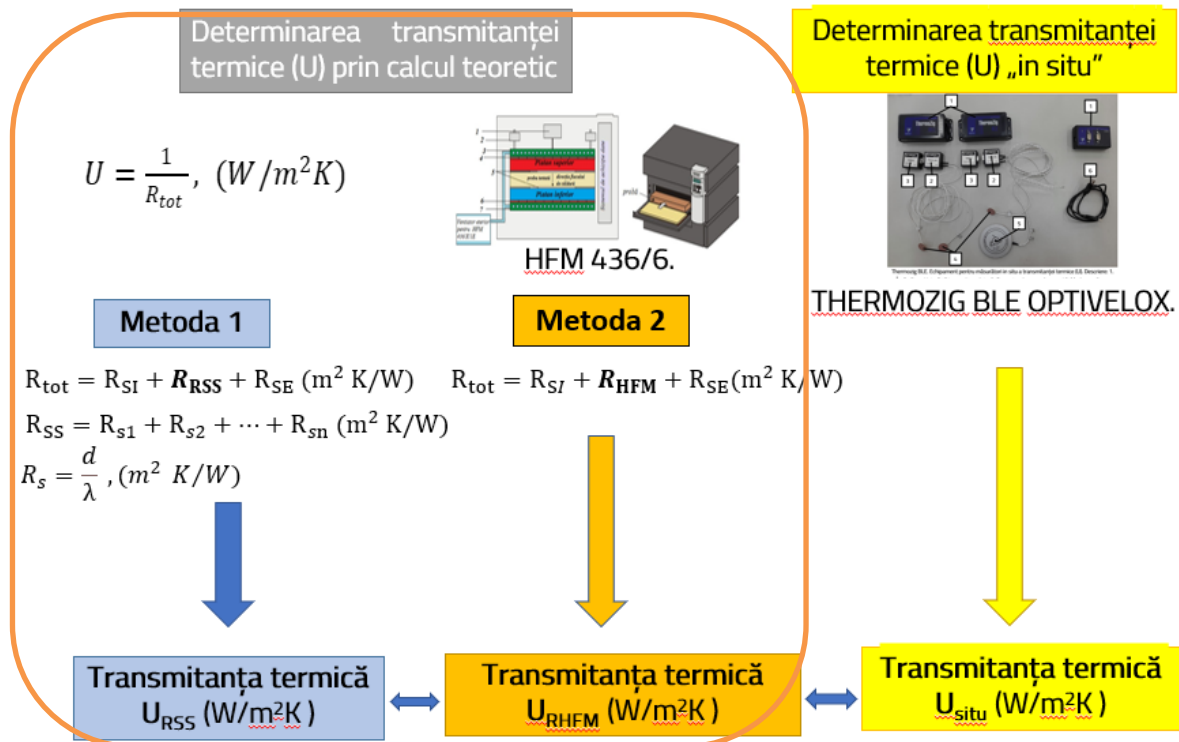


Fig. 5.4. Schema determinării transmitanței termice

S-au realizat, pe rând, următoarele calcule:

- Rezistența termică a fiecărui strat de material din structură, notată cu R_s (m^2K/W), cu ajutorul formulei (1.4);
- Suma rezistențelor termice ale întregii structuri, notată cu R_{ss} (m^2K/W), obținută din adunarea rezistențelor calculate pentru fiecare strat al structurii (R_s) cu ajutorul formulei (1.5); Această rezistență (R_{ss}) va fi comparată cu valoarea rezistenței totale a structurii la diferența de temperatura $\Delta t=10^\circ C$, obținută în condiții de laborator cu ajutorul instalației HFM Lambda 436/6, pe care o vom nota cu R_{HFM} .
- Transmitanța termică U_{RSS} (W/m^2K) rezultată din calcul cu ajutorul formulei (1.6), pe baza R_{ss} .
- Transmitanța termică U_{RHFM} (W/m^2K) rezultată din calcul cu ajutorul formulei (1.6), pe baza R_{HFM} .

5.3.1. Măsurarea coeficientului de conductivitate termică, a rezistenței termice pentru structurile de pereți exteriori pentru case din lemn, cu utilizarea panourilor propuse

5.3.1.1. Metoda și echipamentele utilizate în cercetare

Metoda de determinare a coeficientului de conductivitate termică și a rezistenței termice în condiții de laborator este cea a transferului termic în regim staționar de la un platan cald cu temperatura T_2 către un platan rece cu temperatura T_1 , cu ajutorul echipamentului HFM Lambda 436/6, prezentat din Capitolul 3. Rezultatele obținute în urma testării structurilor pe acest echipament se vor utiliza în calculul teoretic al transmitanței termice (U) a acestora.

5.3.1.2. Rezultate experimentale. Coeficient de conductivitate termică

Cele trei panouri cu 40% lână și 60% ABS (L-ABS-20) au fost testate în condiții de laborator (pe echipamentul HFM LAMBDA 436/6) pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică (λ) și a rezistenței termice (R). Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 4.5. Valoarea medie a coeficientului de conductivitate termică în acest caz este de 0,0421 W/mK.

În urma testelor de determinare a coeficientului de conductivitate termică (λ) în condiții de laborator, pentru structura de perete de exterior propusă pentru case din lemn se observă că odată cu creșterea numărului acestor panouri, performanțele termice ale structurii cresc.

Din graficul din Fig. 5.5. se poate observa că valoarea medie a coeficientului de conductivitate termică pentru structura cu un singur panou este de 0,1170 W/mK și scade la 0,0896 W/mK (cu 23.4%) pentru structura cu două panouri și la 0,0764 W/mK (cu 34.7%) pentru cea cu 3 panouri. Pentru valorile obținute s-a găsit o ecuație de regresie cu $R^2=1$ pentru dependența între valoarea coeficientului de conductivitate termică și numărul de panouri incluse în structură (Fig. 5.5). Conform acestei ecuații, pentru 7 panouri, adică numărul maxim ce încap în structura de perete exterior cu grosime de 175 mm, valoarea coeficientului λ , conform ecuației, ar fi de 0,0550 W/mK (Fig. 5.6).

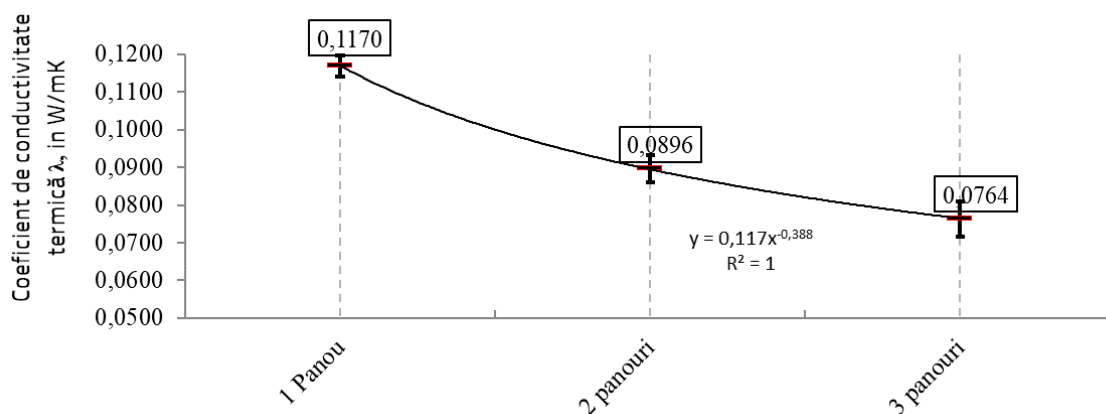


Fig. 5.5 Ecuția de regresie cu $R^2=1$ care rezultă pentru dependența între valoarea coeficientului de conductivitate termică și numărul de panouri incluse în structură

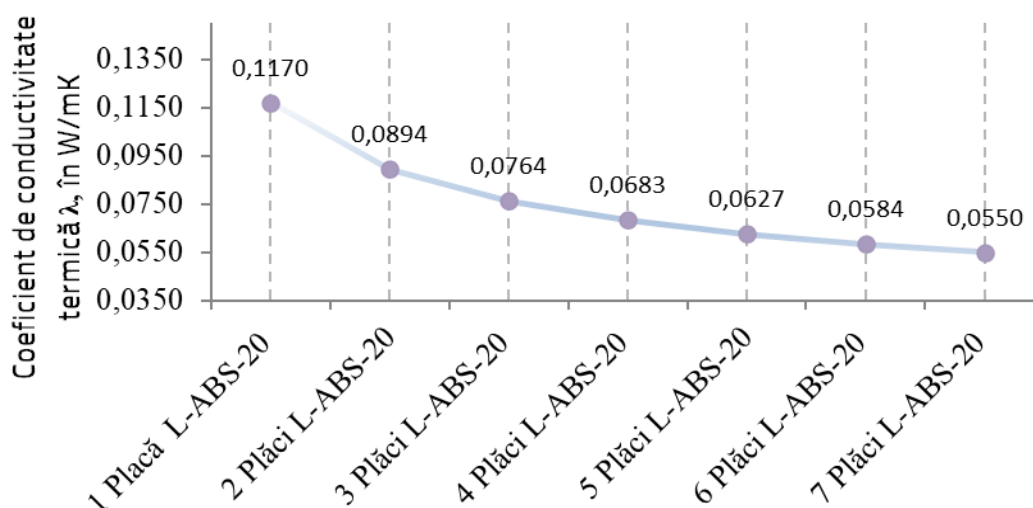


Fig. 5.6 Valorile medii ale coeficientului de conductivitate termică ce rezultă din ecuația de regresie pentru utilizarea unui număr maxim de 7 panouri L-ABS-20 introduse în structura peretelui exterior

În urma testării structurii cu trei panouri LABS 20 și două straturi de material termoizolant între ele (structura S3P2S din Fig. 5.4), proprietățile de izolare termică s-au îmbunătățit semnificativ, așa cum arată valorile λ . Cele mai bune rezultate au fost obținute, la acest tip de structură, utilizând ca material termoizolant lâna, urmată de structura cu hârtie, structura cu ABS, structura cu fibre de lemn și structura cu stuf (Fig. 5.7).

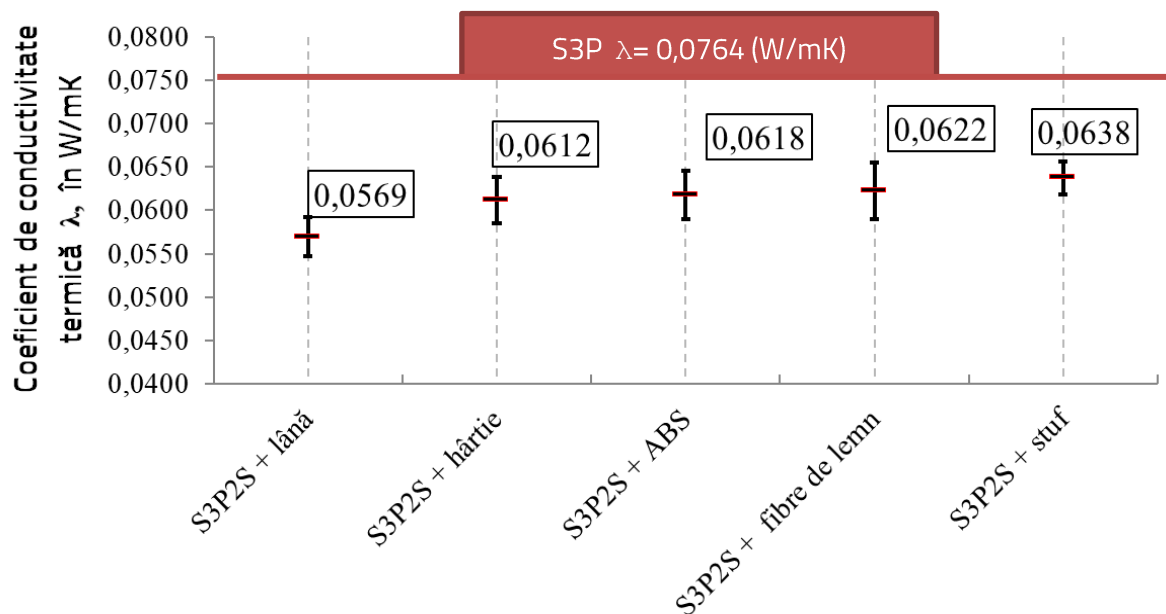


Fig. 5.7. Valorile medii ale coeficientului de conductivitate termică (λ), pentru structura S3P2S (structură cu 3 panouri termoizolante + 2 straturi de material termoizolant) cu diverse materiale termoizolante ca umplură comparativ cu S3P (structura cu trei panouri termoizolante)

Pentru determinarea coeficientului λ , în urma testării structurii Fig. 5.3, cu trei panouri și patru straturi de material termoizolant (S3P4S), s-a constatat că proprietățile termice s-au îmbunătățit și mai mult, comparativ cu structura anterioară. Din nou, structura cu lână a înregistrat rezultatul cel mai bun, valoarea fiind cu peste 7% mai mică față de celelalte valori, urmată fiind de structura cu hârtie, structura cu ABS, structura cu fibre de lemn și cea cu stuf, ca materiale de umplură (Fig. 5.8).

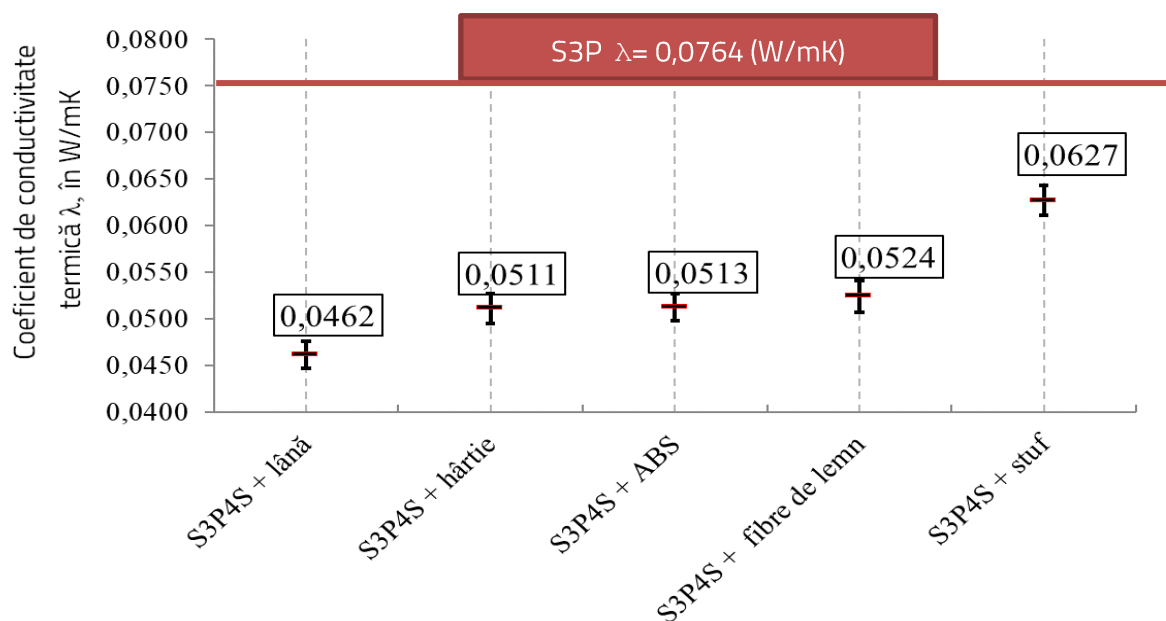


Fig. 5.8. Rezultate medii ale coeficientului de conductivitate termică (λ) pentru structura S3P4S (structură cu 3 panouri termoizolante + 4 straturi de material termoizolant) cu diverse materiale termoizolante ca umplură comparativ cu S3P (structura cu trei panouri termoizolante)

Pentru o mai bună comparație între structurile configurate cu două și patru straturi de material termoizolant de umplură (S3P2S și S3P4S), s-a întocmit graficul din Fig. 5.9, prin care se observă o scădere a valorilor coeficientului λ , odată cu creșterea numărului de straturi de umplură de la 2 la 4. Această descreștere a valorilor coeficientului λ este de 18,8% pentru structura cu lână, 16,4% pentru structura cu hârtie măcinată, 17% pentru structura cu ABS și 16,7% pentru structura cu fibre de lemn. O scădere mai puțin importantă s-a înregistrat pentru structura cu stuf, doar de 1,6%. Această scădere mai mică în cazul umplurii cu stuf se datorează golurilor mari de aer din interiorul tulpinii stufului, care pot favoriza transferul de căldură prin convecție.

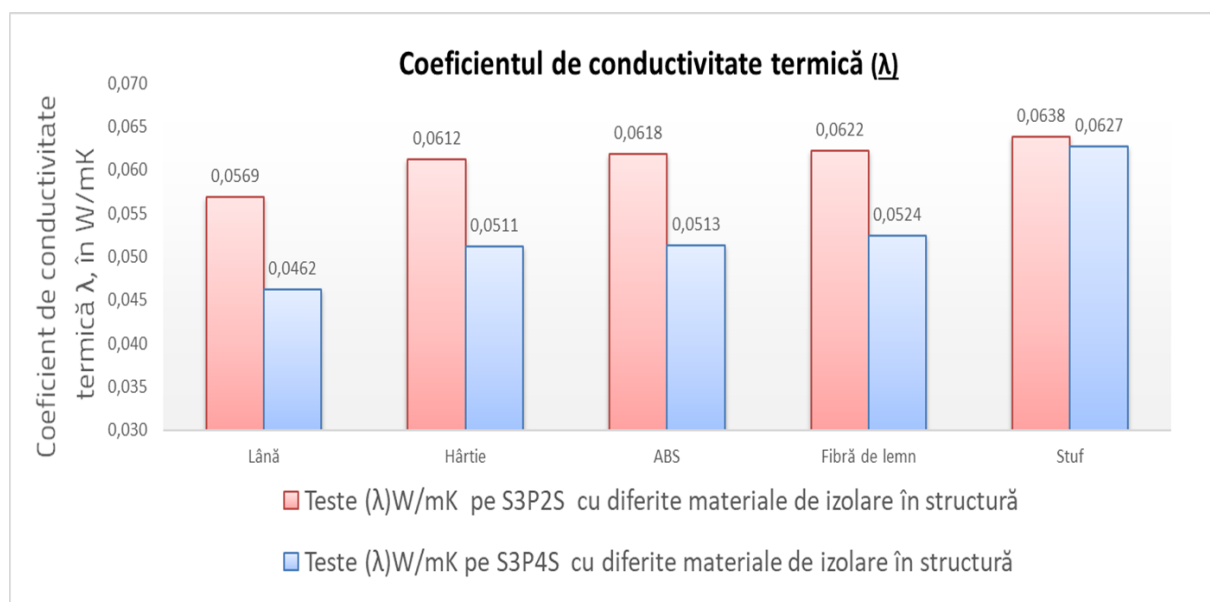


Fig. 5.9. Comparația valorilor coeficientului de conductivitate termică pentru structurile S3P2S (structură cu 3 panouri termoizolante + 2 straturi de material termoizolant) și S3P4S (structură cu 3 panouri termoizolante + 4 straturi de material termoizolant), cu diferite materiale termoizolante ca umplură

5.3.1.3. Rezultate experimentale. Rezistența termică

Rezistența termică (R) rezultă prin protocolul de valori pe care îl generează softul echipamentului HFM LAMBDA 436/6, în urma efectuării testelor de determinare a coeficientului de conductivitate termică.

Valorile obținute, atât pentru panourile L-ABS-20, cât și pentru structurile de perete exterior pentru case din lemn în care se folosesc aceste panouri și materialele de umplură, vor fi prezentate gradual, așa cum s-a procedat și în subcapitolul anterior (5.2.3.1).

Valorile rezistenței termice (R) pentru cele 3 panouri cu 40% lână și 60% ABS (L-ABS-20) sunt prezentate în Fig. 5.10. Se constată, ca și în cazul valorilor pentru coeficientul λ , că valorile R sunt apropiate. Valoarea medie a rezistenței termice în acest caz este de 0,4472 m²K/W.

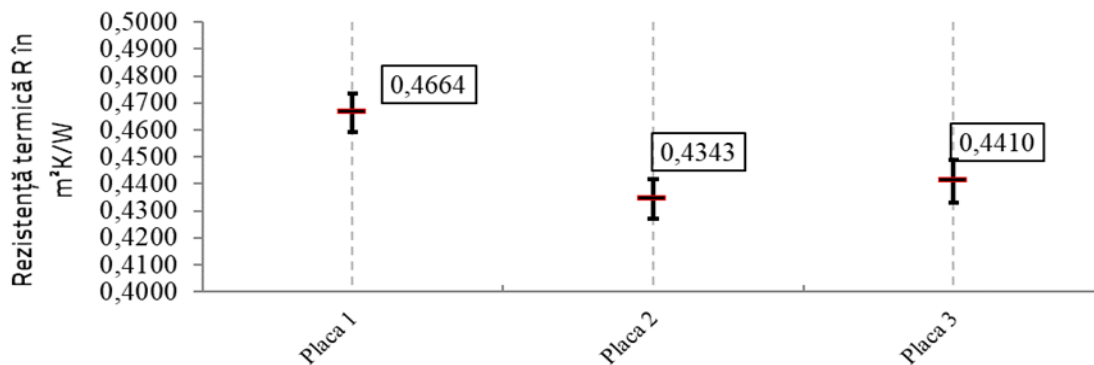


Fig. 5.10. Valorile medii ale rezistenței termice (R) pentru cele trei panouri L-ABS-20

Se observă că, odată cu creșterea numărului de panouri L-ABS-20 în structura peretelui exterior pentru case din lemn, valorile R cresc, ceea ce indică faptul că performanțele termice ale structurii cresc (Fig. 5.11).

Valoarea R pentru structura de perete cu două panouri crește cu 23,6% față de cea cu un panou, în timp ce pentru structura cu 3 panouri, această creștere este de 35,3%. Prin reprezentarea grafică a valorilor medii ale R, s-a găsit o ecuație de regresie cu $R^2=0.9948$ pentru dependența între valoarea rezistenței termice și numărul de panouri incluse în structură. Prin calcul, conform acestei ecuații, pentru 7 panouri (numărul maxim care încapă în structura cu grosime de 175 mm), valoarea R ar fi de 2,9196 m²K/W, adică aproape de două ori mai mult decât în cazul utilizării unui singur panou.

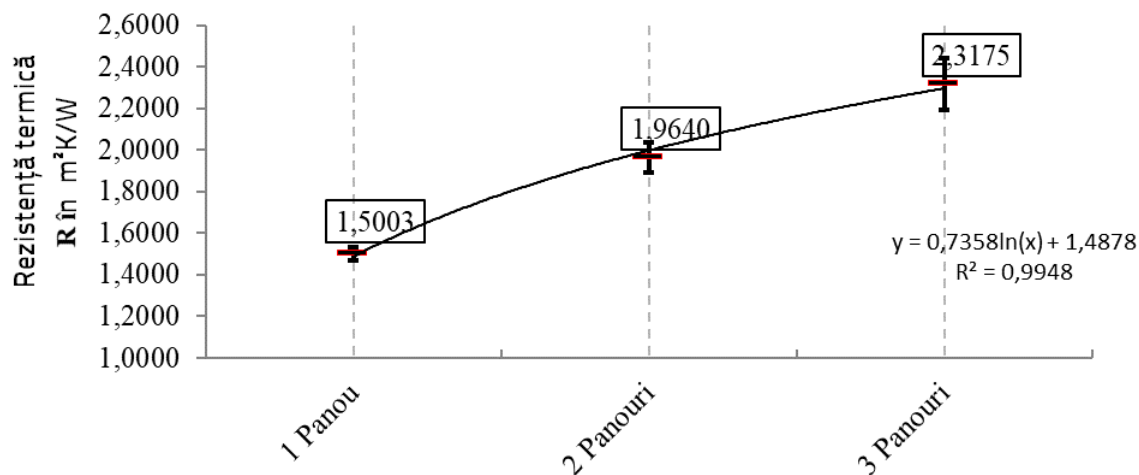


Fig. 5.11. Valorile medii ale rezistențelor termice (R) ale structurilor de perete exterior pentru case din lemn, în care se introduc unul, două și respectiv trei panouri de tip L-ABS-20

Valorile pentru structurile cu trei panouri, în care s-au introdus două straturi de material termoizolant de umplură (S3P2S), proprietățile de izolare termică s-au îmbunătățit semnificativ, așa cum arată valorile R, valorile medii ale R din (Fig. 5.12) indică pentru structura cu lână ca material termoizolant de umplură o valoare mai mare decât în celelalte cazuri, urmată de structura cu hârtie, apoi de cea cu ABS, cea cu fibre de lemn și în cele din urmă de cea cu stuf.

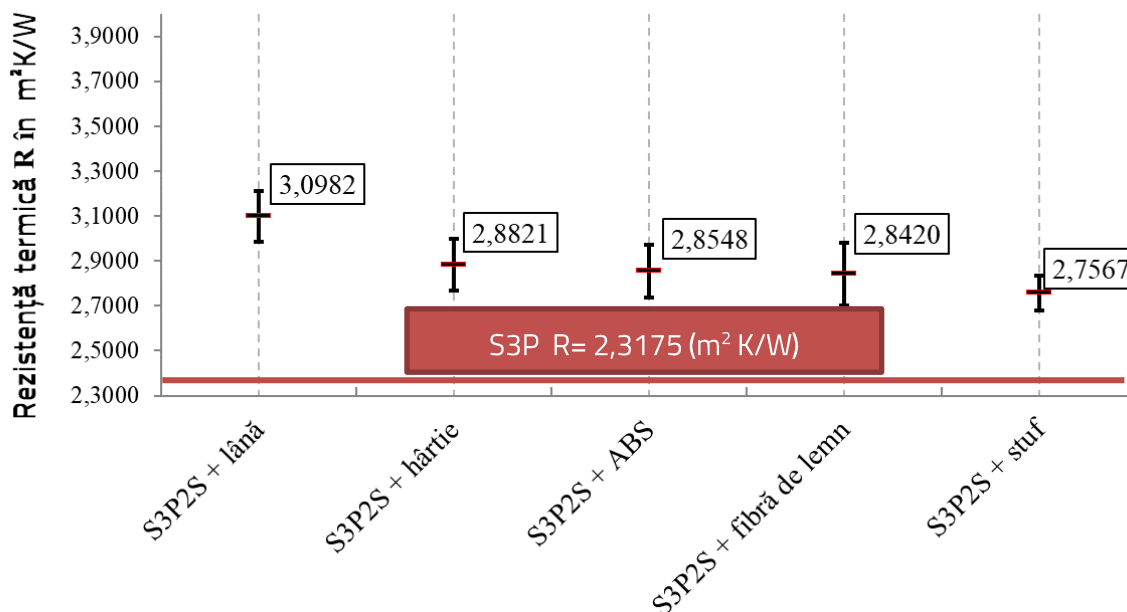


Fig. 5.12. Valorile medii ale rezistențelor termice pentru structurile de tip S3P2S (structură cu 3 panouri termoizolante + 2 straturi de material termoizolant) cu două straturi de materiale de umplere comparativ cu S3P (structura cu trei panouri termoizolante)

În urma testării structurilor cu 3 panouri L-ABS-20 și patru straturi de material termoizolant de umplură, rezistența termică R a înregistrat valori mai mari decât în cazul anterior. Structura cu umplură de lână, cu rezultatul cel mai bun, a înregistrat o creștere a valorii R cu 18,6% față de varianta anterioară, urmată de cea cu ABS cu o creștere cu 16,6%, apoi de cea cu hârtie măcinată cu 16,1%, cea cu fibre de lemn cu 15,2% și în final cea cu stuf, cu o creștere de doar 1,9% față de cea anterioară (Fig. 5.13).

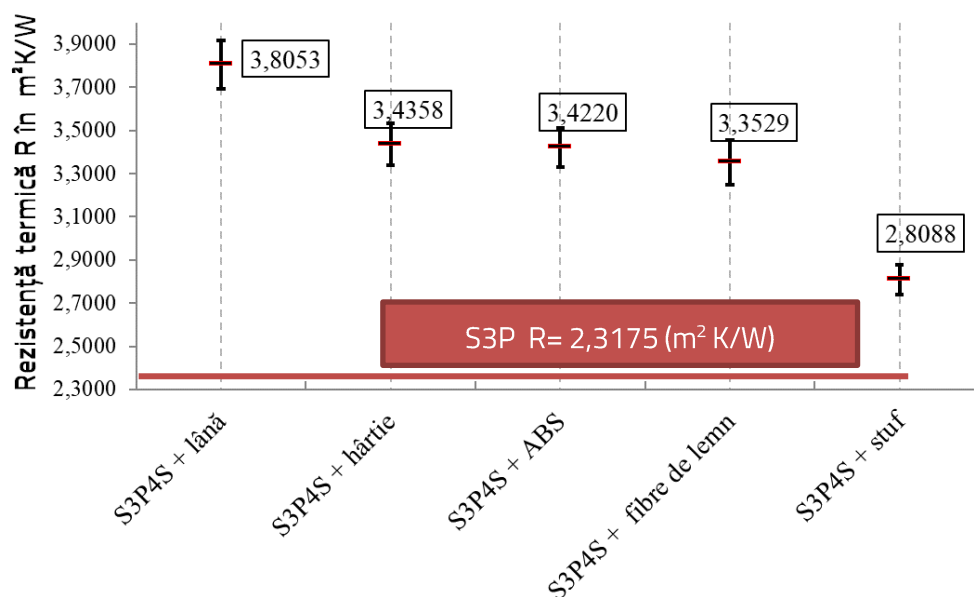


Fig. 5.13. Valorile medii ale rezistențelor termice pentru structurile de tip S3P4S (structură cu 3 panouri termoizolante + 4 straturi de material termoizolant) cu diverse materiale de umplură în 4 straturi comparativ cu S3P (structura cu trei panouri termoizolante)

Pentru o mai bună comparație între structurile configurate cu două și patru straturi de materiale de umplură, s-a întocmit graficul din Fig. 5.14.

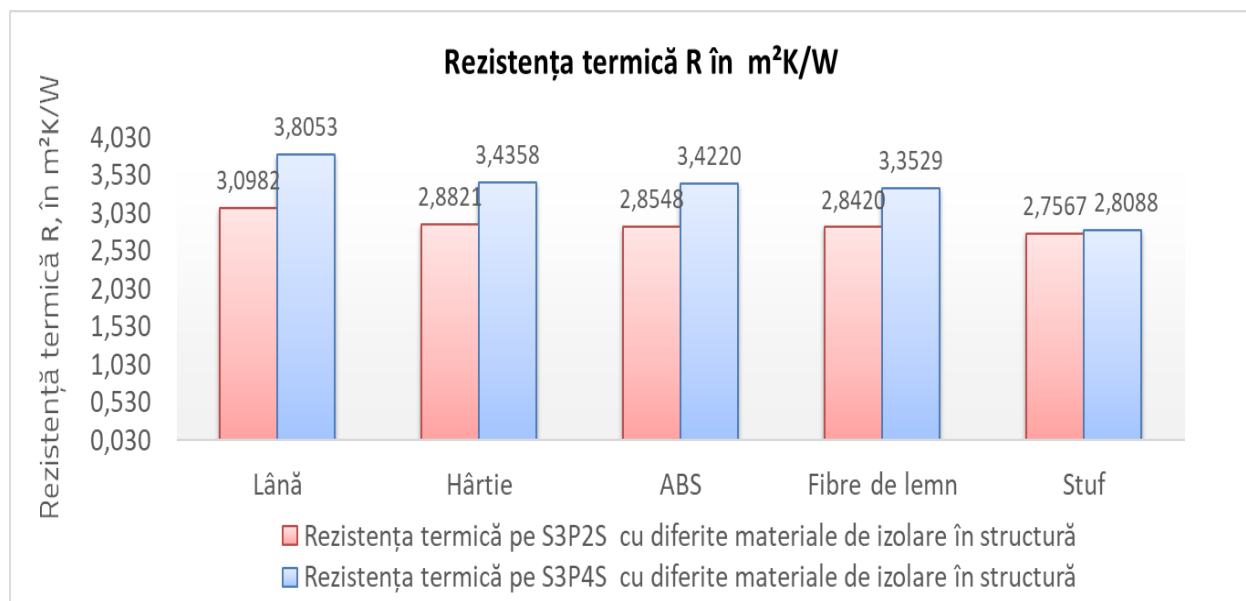


Fig. 5.14. Valorile medii ale rezistențelor termice pentru structurile de pereți de exterior pentru case din lemn, cu două și patru straturi de materiale de umplere de diverse tipuri

Mărimile considerate pentru calculul teoretic sunt prezentate în Tabelul 5.1. Valoarea coeficientului de conductivitate termică este cea considerată pentru o diferență de temperatură între platanul cald și cel rece $\Delta T=10$ °C. Această diferență de temperatură de 10 °C este indicată de metoda privind determinarea conductivității termice, conform (STAS-5912, 1989).

Tabelul 5.1. Mărimile luate în calcul pentru calculul valorii teoretice a transmitanței termice (U)

Nr. crt.	Material	Grosimea materialului g (mm)	λ ($\Delta T=10^\circ\text{C}$) (W/mK)	R_s (m ² K/W)
1	Gips carton	12,3	0,141	0,087
2	Folie aluminiu	0,2	160	0,0000013
3	OSB	12,5	0,084	0,149
4	Lână	22,5	0,042	0,536
5	Fibre de lemn	22,5	0,039	0,574
6	Hârtie măcinată	22,5	0,039	0,580
7	ABS	22,5	0,041	0,549
8	Stuf	22,5	0,052	0,433
9	P-LABS-20	20	0,042	0,476
10	P-LABS-50	50	0,042	1,190

Pentru structura de perete exterior cu umplură din lână, se observă că între suma rezistențelor termice determinate pentru fiecare strat (R_{Ss}) de instalația HFM LAMBDA 436/6 și rezistența termică

pe întreaga structură (R_{HFM}) determinată pe aceeaşi instalaţie, nu există o diferenţă foarte mare (cca.1.5%). Nu există o diferenţă importantă între transmitanţa termică ($U_{R_{SS}}$) determinată prin calculul sumei rezistenţelor termice ale fiecărui strat în parte (valori rezultate din determinările pe echipamentul HFM Lambda 436/6) şi transmitanţa termică ($U_{R_{HFM}}$), obţinută prin calculul cu ajutorul rezistenţei termice obţinute de la instalaţia HFM Lambda 436/6 pentru întreaga structură . Diferenţa între transmitanţa $U_{R_{SS}}$ şi $U_{R_{HFM}}$, este de aproximativ 1,5%.

Pentru aceeaşi structură de perete exterior, dar cu umplutură din fibre de lemn diferenţa între R_{SS} şi R_{HFM} este de 16,3% în favoarea R_{SS} . Diferenţa între rezistenţele termice are ca rezultat aceeaşi diferenţă între $U_{R_{SS}}$ şi $U_{R_{HFM}}$ de 16,3%. în favoarea lui $U_{R_{SS}}$.

Pentru structura de perete exterior cu hârtie măcinată ca material de umplutură, între R_{SS} şi R_{HFM} există o diferenţa de 13,8% în favoarea R_{SS} . Diferenţa între transmitanţa termică $U_{R_{SS}}$ şi $U_{R_{HFM}}$ de 13,8% faţa de în favoarea $U_{R_{SS}}$.

Pentru structura de perete exterior cu umplutură de ABS între R_{SS} şi R_{HFM} există o diferenţa de 13,5% în favoarea R_{SS} . Diferenţa între transmitanţa măsurată $U_{R_{SS}}$ şi $U_{R_{HFM}}$ de 13,5% în favoarea $U_{R_{SS}}$.

Pentru aceeaşi structură, dar cu umplutură cu stuf , între R_{SS} şi R_{HFM} există o diferenţa de 19,8% în favoarea R_{SS} . Diferenţa între transmitanţa $U_{R_{SS}}$ şi $U_{R_{HFM}}$ este de 19,8% în favoarea $U_{R_{SS}}$.

Pentru o mai bună comparaţie a performanţelor de izolare termică a structurilor analizate, în graficul din Fig. 5.15 se pot observa diferenţele între rezistenţele R_{SS} şi R_{HFM} .

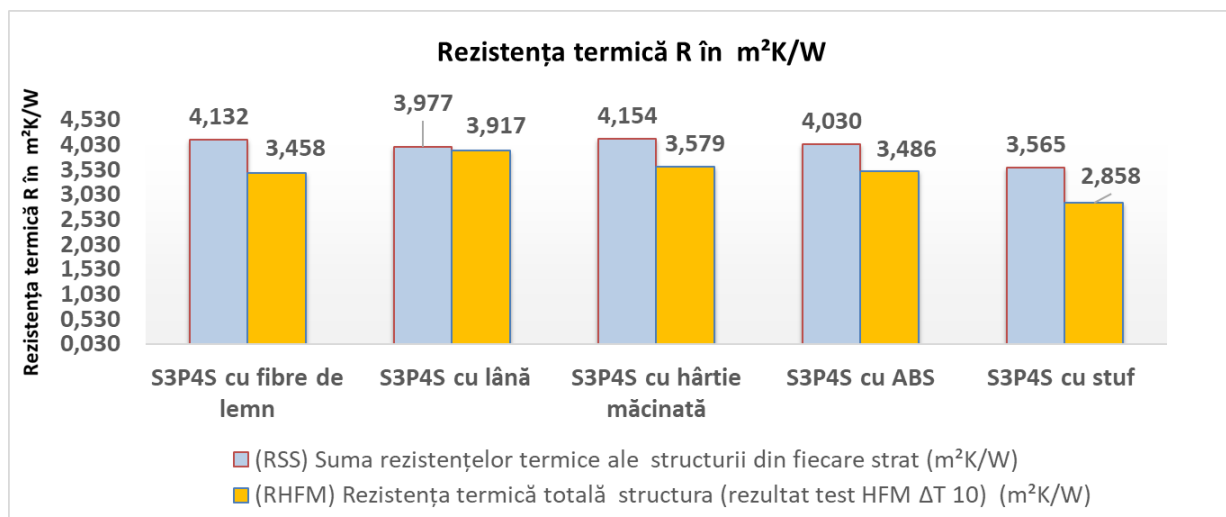


Fig. 5.15. Comparaţie între rezistenţele termice ale structurilor analizate pentru un perete exterior pentru case din lemn cu o grosime de 175 mm

În urma acestor calcule s-a evidenţiat grafic rezultatele (Fig. 5.16) şi se observă că există diferenţe între transmitanţe de la 1,5 până la 19,8, media fiind de 13 %.

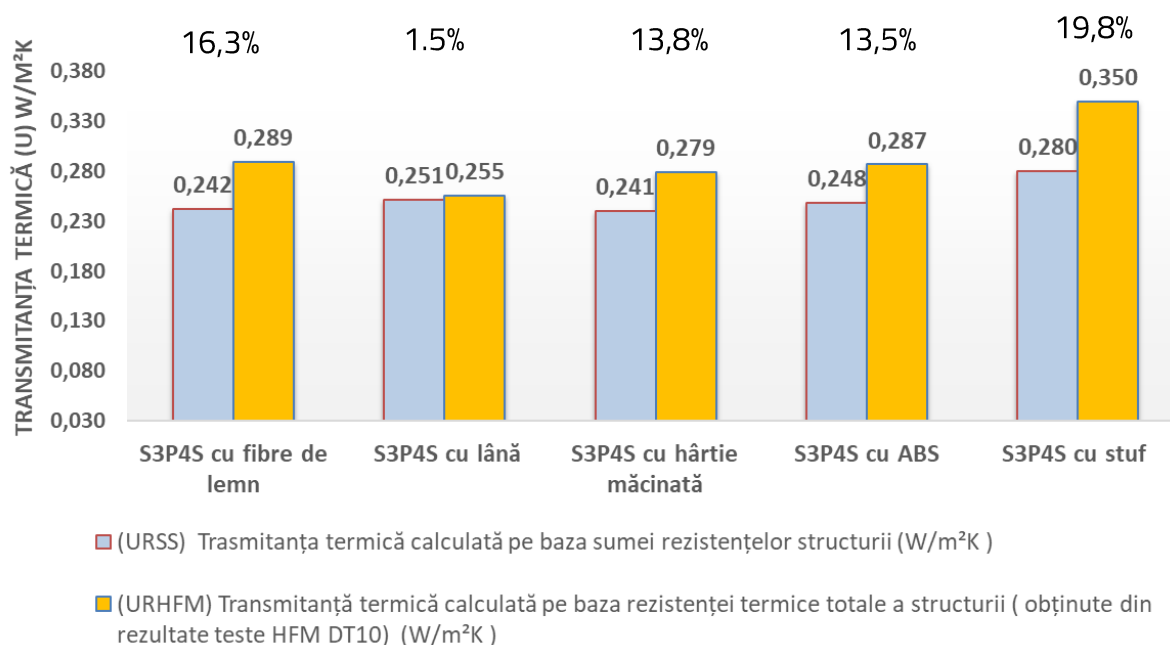


Fig. 5.16. Comparație a celor două modele de calcul ale transmittanței termice

Cele două mărimi ale transmittanței termice U_{RSS} și U_{RHFM} vor fi comparate cu transmittanța termică determinată „in situ” cu ajutorul sistemului ThermoZig BLE, și se va nota cu U_{situ} (W/m²K). Valorile tuturor mărimilor calculate și determinate au fost centralizate în tabelele următoare.

Comparația între valorile calculate și cele experimentale „in situ” va indica mărimea diferenței dintre acestea.

5.4. Transmittanța termică măsurată în condiții reale (in situ)

5.4.1. Metoda și echipamentele utilizate în cercetare

Metoda de determinare a transmittanței (U) în cazul măsurării „in situ” este cea a ratei transferului de căldură prin materiale conform (BS ISO 9869-1, 2014). Măsurătorile se realizează cu ajutorul echipamentului THERMOZIG BLE OPTIVELOX .

Echipamentul este format dintr-un senzor de flux termic, care se poziționează pe suprafața structurii în interiorul camerei și doi senzori de temperatură poziționați în interiorul și respectiv în exteriorul camerei (Fig. 5.17).

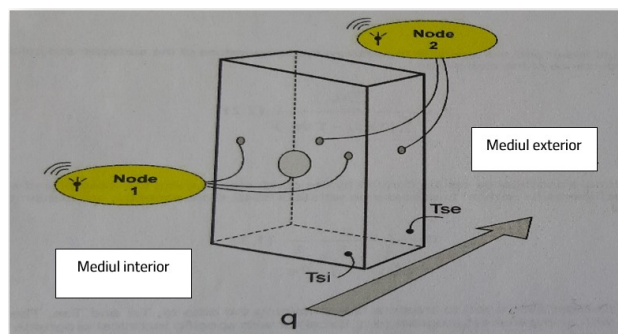


Fig. 5.17. Schemă de poziționare a senzorilor pentru măsurarea transmittanței termice (Manual thermoZig BLE)

Structura a fost poziţionată în rama cercevelei unei ferestre, la 2 m distanţă de sol, fereastra fiind îndreptată către nord-est. Locaţia ferestrei se află în Laboratorul de Tratarea şi Ameliorarea Lemnului din cadrul Facultăţii de Design de Mobilier şi Inginerie a Lemnului, Universitatea Transilvania din Braşov.

Datele măsurate (fluxul de căldură, temperatura interioară şi exterioară, transmitanţa termică) sunt transmise printr-o aplicaţie mobilă sau stocate în echipamentul de măsurare. Datele sunt înregistrate sub formă de tabel şi reprezentate grafic. Datele pot fi măsurate la intervalele de timp alese, dar mai mari de 3 minute. Conform manualului de utilizare a aparatului THERMOZIG BLEOPTIVELOX (OPTIVELOX), datele înregistrate în practică pentru testarea „in situ”, prin măsurarea fluxului de căldură, indică o eroare medie mai mică de 8%-10% şi ele sunt în general mai mari decât cele calculate teoretic. Intervalul se măsoară timp de minim 72 de ore dacă temperatura este stabilă în jurul senzorului de flux de căldură dacă nu, aceasta trebuie să fie mai mare de 7 zile conform (BS ISO 9869-1, 2014).

La determinarea transmitanţei termice „in situ” s-au utilizat structurile de perete exterior pentru case din lemn prezentate în capitolul anterior şi care utilizează ca umplutură, în 4 straturi, diferitele materiale studiate (fibre de lemn, hârtie măcinată, lână, ABS, stuf) (Fig. 5.3). Cercetarea experimentală s-a realizat pe o perioadă de minim 7 zile pentru fiecare structură în parte. Recomandările privind diferenţele de temperatură de cel puţin 10 °C între mediul interior şi mediul exterior au fost respectate, conform manualului de utilizare .

Dacă din rezultatele anterioare, în condiţii de laborator, structura cu 3 panouri L-ABS-20 şi 4 straturi de lână (S3P4S + lână) a avut cele mai bune performanţe, la testarea „in situ” rezultatele cele mai bune au fost obţinute de structura similară cu umplutură din fibre de lemn, urmată de cea cu lână, cu hârtie măcinată, ABS şi stuf (Fig. 5.18).

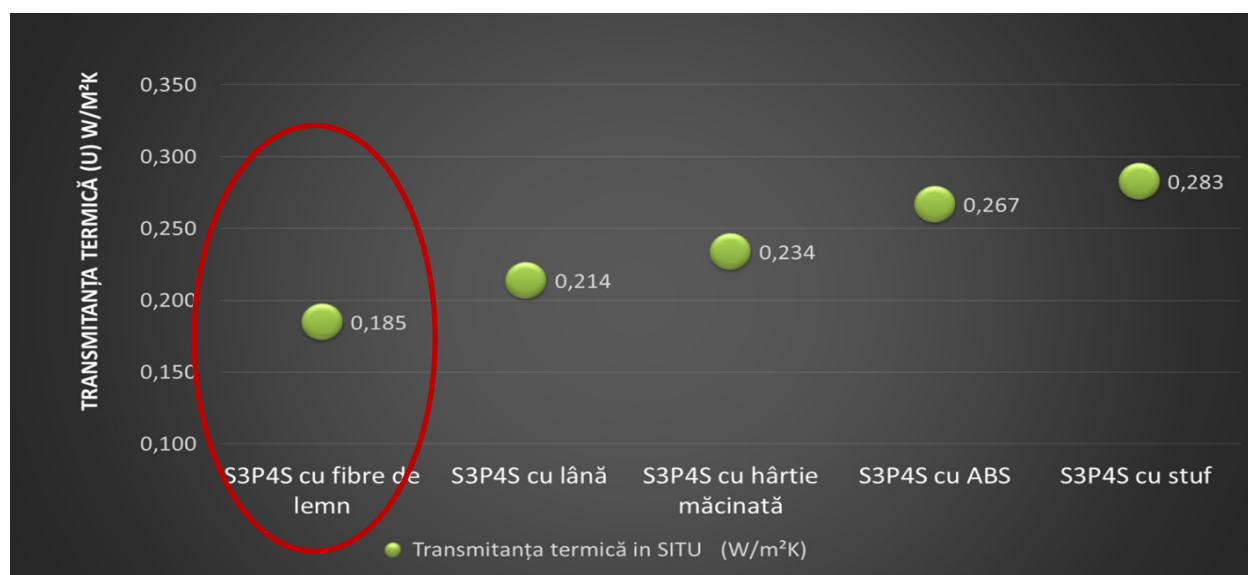


Fig. 5.18. Transmitanţa termică (U) pentru structuri de tip S3P4S, cu 3 panouri L-ABS-20 şi diferite materiale de umplutură

Diferenţele între transmitanţele termice U_{RSS} , U_{RHFM} şi U_{SITU} sunt ilustrate în Fig. 5.19. Prin compararea celor 3 transmitanţe termice. După cum se observă există diferenţele medii între U_{RSS} şi U_{SITU} fiind de 8,6 % si U_{HFM} şi U_{SITU} fiind de 25,2 %.

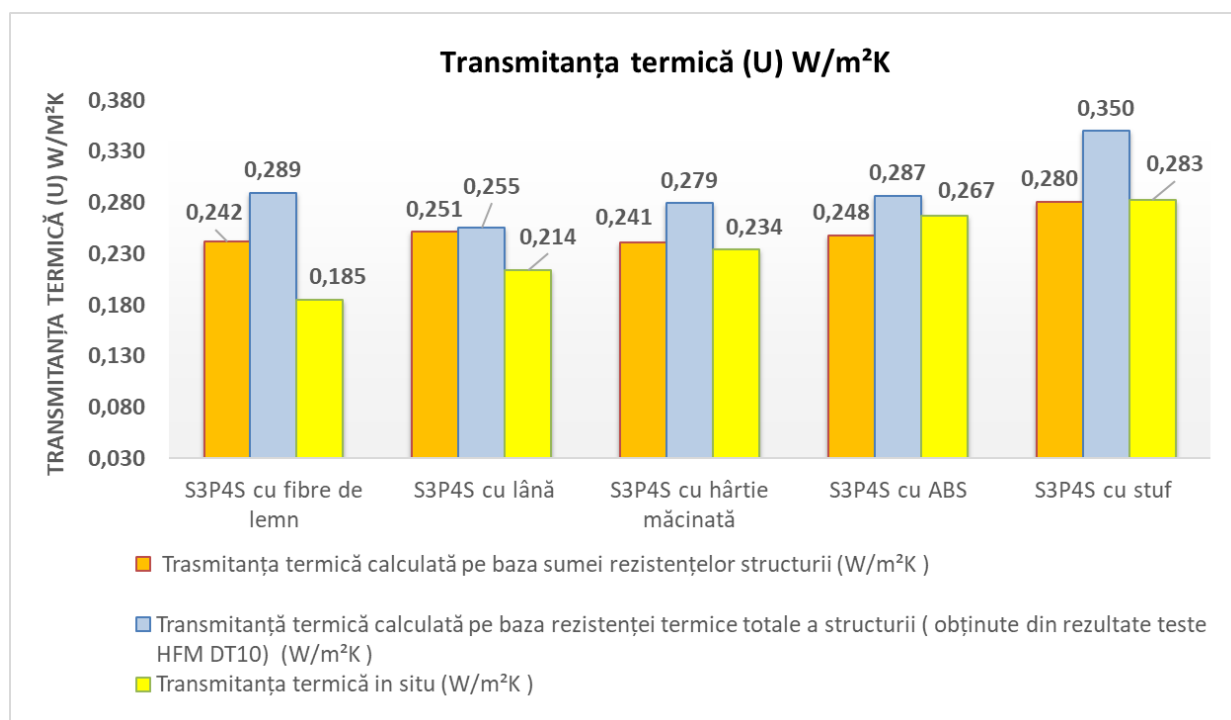


Fig. 5.19. Comparaţie între transmitanţele termice ale structurilor analizate (din 3 panouri şi 4 straturi de umplutură) pentru un perete exterior pentru case din lemn cu o grosime de 175 mm

Sunt mai mulţi factori, care pot determina aceste diferenţe între transmitanţa termică calculată şi transmitanţa termică „in situ”. Unul dintre aceşti factori poate fi media temperaturilor din interiorul sau exteriorul structurii. Aceste medii de temperatură nu pot fi controlate pentru testele măsurate „in situ” faţă de testele măsurate în instalaţia HFM LAMBDA 436/6, unde temperaturile pot fi controlate, iar pe baza acestora s-au făcut şi calculele de rezistenţă şi transmitanţă termică.

Un alt factor ce poate influenţa transmitanţa termică măsurată „in situ” este diferenţa între sensibilitatea de măsurare a senzorilor de flux termic. Acurateţea de măsurare a senzorului de flux termic al aparatului thermozig Ble este de $\pm 5\%$ ($T=20^{\circ}\text{C}$), iar la instalaţia HFM Lambda 436/6 acurateţea întregii măsurări conform manualului este de $\pm 1\%$ până la 3%.

Un alt factor ce poate influenţa măsurarea transmitanţei „in situ” poate fi şi umiditatea atmosferică. O umiditate atmosferică ridicată duce la creşterea fluxului termic prin fenomenul de conducţie termică.

Totodată, gradul de compactare a materialelor de umplutură din structura peretelui poate să nu fie identic celui la care s-au făcut determinările coeficientului λ pe echipamentul HFM Lambda 436/6.

5.5. Structuri de pereţi de exterior pentru case din lemn, propuse pentru îndeplinirea conceptului de casă pasivă pentru zonele reci

Din analiza grosimii pereţilor verticali ai caselor eficiente energetic din capitolul 1 (Tabelul 1.2), se observă că ele variază de la grosimea de $g=192$ mm până la $g=810$ mm, iar din punct de vedere al transmitanţei termice ele variază de la $U=0,072$ W/m²K până la $U=0,33$ W/m²K.

Rezultatele obţinute anterior pentru grosimi ale structurii de 175 mm (cu placă gips carton, folie de aluminiu, 3 plăci L-ABS-20 mm, OSB) cu cele cinci tipuri de materiale de umplutură (lână, ABS, fibre de lemn, hârtie măcinată şi stuf) au fost bune, structurile încadrându-se în valorile caselor cu pereţi eficienţi energetic pentru zonele temperat-continentale, valorile acestea fiind cuprinse între $U=0,20$ W/m²K şi $U=0,35$ W/m²K. Rezultatele obţinute în cercetările anterioare, în determinarea „in situ” dar şi prin calcul teoretic, se încadrează în limitele impuse pentru pereţii caselor eficiente energetic, conform normativului în vigoare (**Metodologie de calcul al performanţei energetice a clădirilor, 2017**). Valoarea maximă reglementată a transmitanţei termice pentru pereţii exteriori ai clădirilor rezidenţiale este de $0,56$ (W/m²K).

Pentru a creşte performanţa de izolare termică exprimată prin valoarea transmitanţei şi pentru a putea încadra structurile propuse pentru construcţia caselor pasive şi în alte zone decât cele temperat-continentale specifice României, respectiv la cele reci-temperate, conform reglementărilor pentru case pasive certificate de către Institutul de Case Pasive din Germania, se poate mări grosimea peretelui la 300 mm. Valoarea acceptată a transmitanţei termice pentru pereţi exteriori în zonele temperate-reci, este între $U=0,15$ W/m²K şi $U=0,35$ W/m²K.

În continuare s-a simulat o structură de perete exterior cu grosimea de 300 mm, mărindu-se grosimea materialelor de umplutură din structura anterioară şi adăugând panouri termotratate (PFTT) de frasin pentru placarea structurii la exterior (Fig. 5.20). Placarea cu lemn termotratat este ecologică, stabilitatea dimensională a lemnului termotratat fiind cu 60% mai bună faţă de lemnul netratat (www.au-mex.com, 2020).

Pentru aceste structuri de perete exterior cu grosimea de 300 mm, s-a determinat prin calcul transmitanţa termică în funcţie de rezistenţa termică a straturilor componente, apoi rezultatele pentru structurile cu grosime de 300 mm s-au comparat cu rezultatele obţinute anterior pentru pereţii cu grosime de 175 mm.

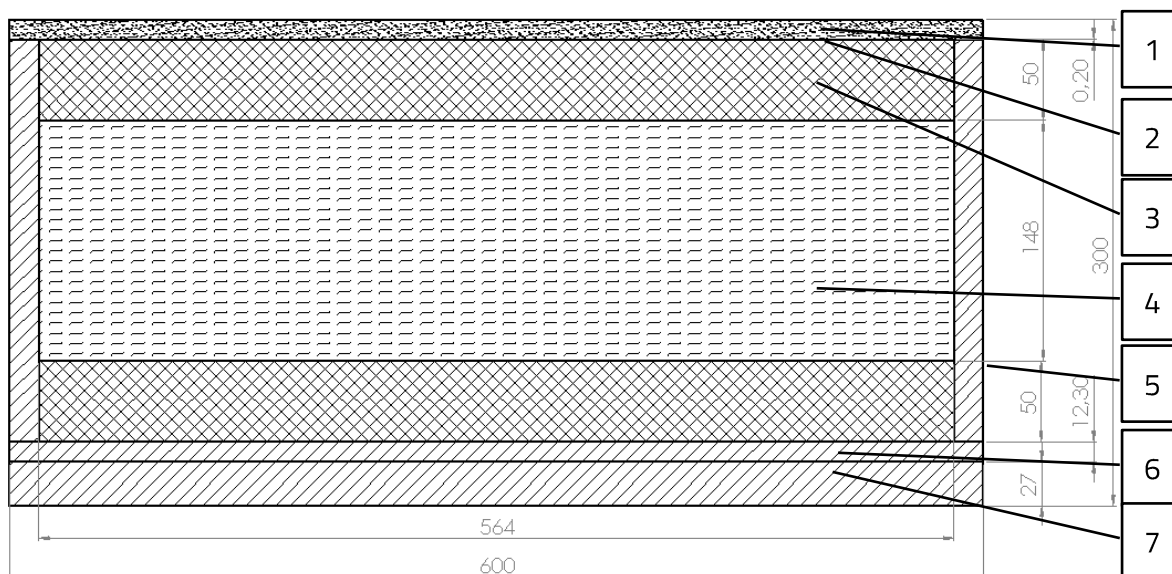


Fig. 5.20. Structura generală a peretelui exterior cu grosime de 300 mm pentru case din lemn.

1. Placă gips carton;
2. Folie aluminiu;
3. Placă L-ABS-50;
4. Strat de material termoizolant;
5. Ramă din PAL;
6. Placă OSB.
7. Panou de frasin tratat termic

În urma calculului, s-a observat că pentru structura peretelui exterior cu grosime de 300 mm și umplutură cu lână, suma rezistențelor termice ($R_{ss\ 300}$) crește cu 39,14% față de varianta de structură de perete cu grosime de 175 mm ($R_{ss\ 175}$). Din acest motiv există și o diferență importantă între transmitanța termică pentru aceste structuri.

Pentru structurile similare de pereți exteriori, dar cu umplutură din fibre de lemn, între rezistențele termice $R_{ss\ 175}$ și $R_{ss\ 300}$ există o creștere procentuală de 39,25% pentru peretele cu grosime de 300 mm. Din acest motiv există și o diferență între valorile transmitanței termice pentru peretele de 175 mm grosime ($U_{Rss\ 175}$) și cel de 300 mm ($U_{Rss\ 300}$), valoarea celui din urmă încadrându-se în valoarea limită impusă de 0,150 W/m²K.

Pentru structurile similare cu hârtie măcinată ca material de umplere se observă că între rezistențele termice $R_{ss\ 175}$ și $R_{ss\ 300}$ există o creștere procentuală de 39,14% în favoarea peretelui cu grosime de 300 mm. Diferența se păstrează și în cazul transmitanței termice $U_{Rss\ 175}$ față de $U_{Rss\ 300}$.

Pentru aceeași analiză pe structurile de pereți cu umplutură de ABS, între rezistențele termice pentru pereții de 175 mm ($R_{ss\ 175}$) și 300 mm ($R_{ss\ 300}$) grosime, există o creștere procentuală de 38,93% în favoarea peretelui cu grosime de 300 mm. Aceeași diferență procentuală se înregistrează și între cele două transmitanțe ($U_{Rss\ 175}$ și $U_{Rss\ 300}$).

Pentru structurile similare cu umplutură de stuf între $R_{ss\ 175}$ și $R_{ss\ 300}$ există o creștere procentuală de 38,91% în favoarea structurii de perete cu grosime de 300 mm. Se păstrează aceeași diferență procentuală și între cele două transmitanțe $U_{Rss\ 175}$ și $U_{Rss\ 300}$.

După cum se observă din datele obținute, există o creștere a transmitanței termice (U) de aproximativ 39% pentru toate structurile analizate, la o creștere a grosimii peretelui de la 175 mm la 300 mm.

Valorile comparative ale transmitanței termice (U) pentru structurile analizate sunt prezentate în Fig. 5.21.

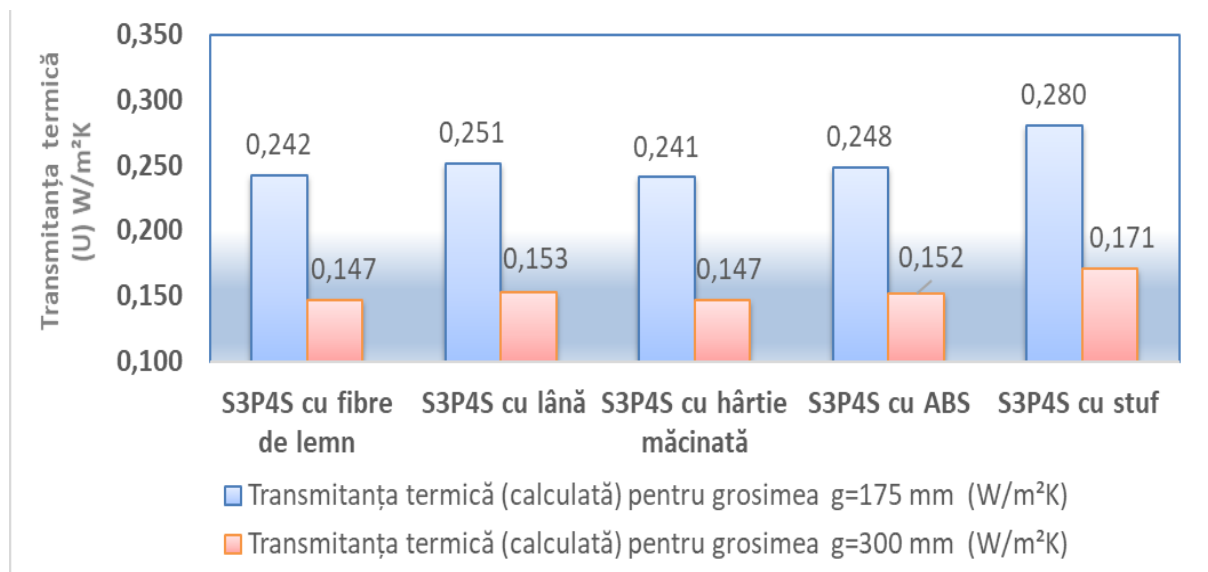


Fig. 5.21. Comparație transmitanță termică a structurilor cu grosime de 175 mm și 300 mm realizate cu diferite materiale de izolare

5.6. Flux termic unitar. Flux unitar de vapori

Pe lângă transmitanța termică, ca un studiu suplimentar, s-a calculat fluxul termic unitar, respectiv fluxul unitar de vapori, care are rolul de a determina prin calcul dacă în structură se produce condensul. În cazul în care dreptele de variație ale presiunilor parțiale ale vaporilor se intersectează cu curbele de variație ale presiunilor de saturație, înseamnă că există o zonă în perete în care vaporii de apă pot condensa. Acest fenomen poate duce la degradarea materialelor de umplutură și creșterea schimbului de căldură, ceea ce determină o scădere a proprietăților termice.

Determinarea fluxului termic unitar printr-un perete plan și a fluxului unitar de vapori, vor permite determinarea variațiilor de temperatură, respectiv ale presiunilor parțiale ale vaporilor pe grosimea fiecărui strat de perete, variații care sunt în ambele cazuri liniare. Variațiile presiunilor parțiale ale vaporilor de apă pe grosimea fiecărui strat se compară cu variațiile presiunilor de saturație pe grosimea fiecărui strat. Dacă ele nu se intersectează, înseamnă că temperatura, în orice plan al peretelui, este mai mare decât temperatura de rouă.

Se calculează pentru fiecare structură propusă în parte fluxul termic, fluxul de vapori și variațiile de temperatură, respectiv ale presiunilor parțiale pe baza unui scenariu climatic, ceea ce se va exemplifica printr-o reprezentare grafică. Structura propusă pentru calcul este structura peretelui exterior cu grosime de 175 mm, 3 panouri și 4 straturi de umplutură (S3P4S), investigându-se toate cele 5 materiale de umplutură utilizate anterior (lână, ABS, fibre de lemn, hârtie măcinată și stuf).

Se determină mai întâi, prin calcul, fluxul termic unitar prin perete cu ajutorul ecuației (1.7), temperatura interioară a camerei fiind de $t_i=20$ °C, iar cea exterioară de $t_e=-10$ °C (valori alese arbitrar). Pentru efectuarea calculelor rezistențelor interioare, exterioare și totale se întocmește un tabel cu proprietăți ale fiecărei structuri în parte și se efectuează calculele cu ecuațiile

(1.9),(1.10),(1.11). Factorul de rezistență la permeabilitate la vapori ($1/K_b$) sau (μ_b) se aproximează după densitate din tabelele prezente în (C107 1.2.3., 2005). Apoi se determină temperaturile în fiecare strat al structurii, și se întocmește un tabel cu valorile obținute. În funcție de temperaturile rezultate în fiecare strat, se determină cu ajutorul Anexei 2, presiunea de saturație a vaporilor de apă. Se calculează fluxul unitar de vapori cu ajutorul relației (1.12), unde rezistența la transferul de vapori se determină cu ecuația (1.8). Din aceste două relații rezultă presiunea parțială a vaporilor de apă (p_v). În urma acestor calcule se reprezintă grafic variația presiunii parțiale (p_v) și a presiunii de saturație (p_s). Dacă există o intersecție a curbelor de variație a presiunii, atunci se produce condens în acel element, iar dacă nu există o intersecție a celor două curbe de variație a presiunii, fenomenul de condensare nu apare.

După cum se observă în exemplificarea grafică (Fig. 5.22) în urma calculelor pentru structura S3P4S cu umplutură din lână, nu există o intersecție a celor două curbe de variație a presiunii, în concluzie fenomenul de condensare nu apare.

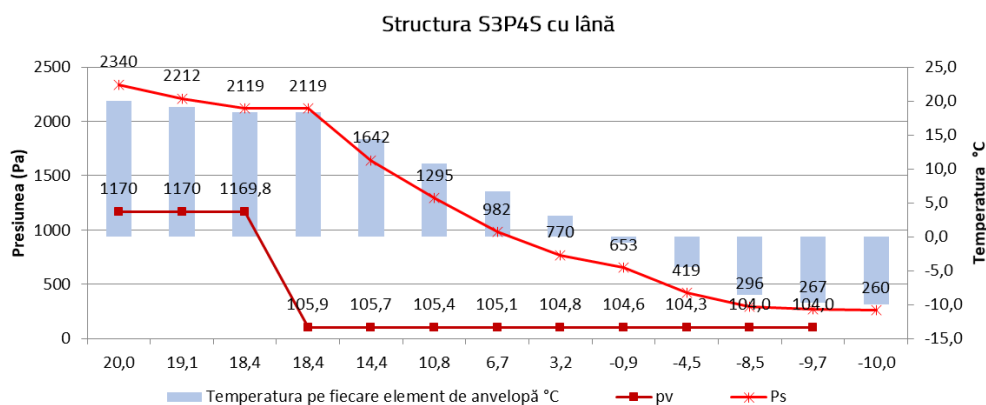


Fig. 5.22. Exemplificarea grafică a variației presiunii parțiale (p_v) și a presiunii de saturație (p_s) pentru structura S3P4S cu umplutură din lână

Pentru structura S3P4S cu umplutură de fibre de lemn, după cum se observă în exemplificarea grafică (Fig. 5.23) în urma calculelor, nu există o intersecție a celor două curbe de variație a presiunii, deci fenomenul de condensare nu apare nici în acest caz.

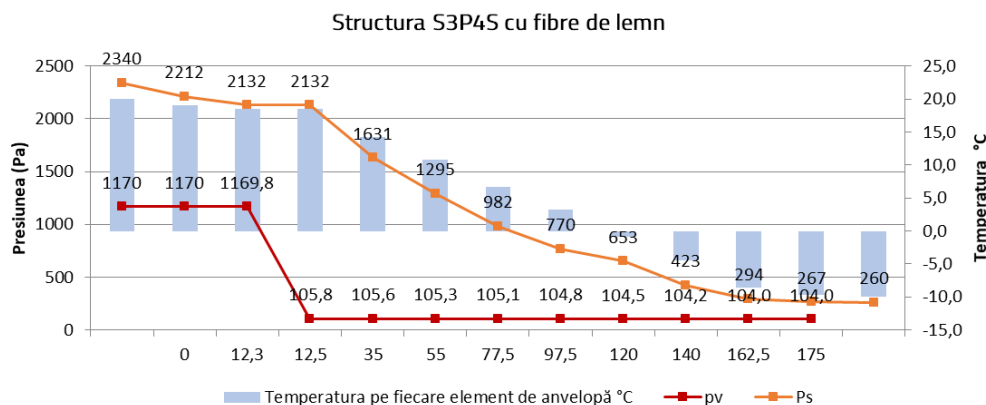


Fig. 5.23. Exemplificarea grafică a variației presiunii parțiale (p_v) și a presiunii de saturație (p_s) pentru structura S3P4S cu umplutură de fibre de lemn

Pentru structura cu S3P4S cu hârtie măcinată ca și material de umplutură, și în acest caz, se observă în exemplificarea grafică (Fig. 5.24) că nu există o intersecție a celor două curbe de variație a presiunii, deci fenomenul de condensare nu apare.

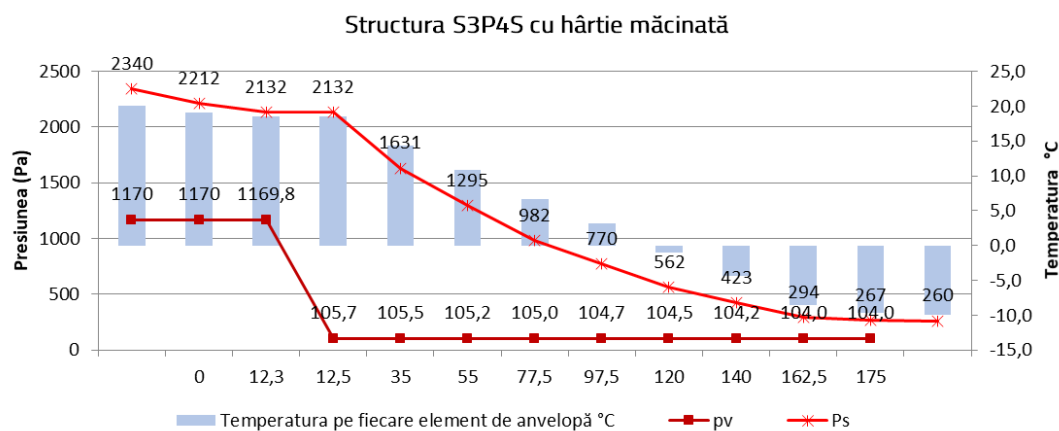


Fig. 5.24. Exemplificarea grafică a variației presiunii parțiale (p_v) și a presiunii de saturație (p_s) pentru S3P4S cu hârtie măcinată

Pentru structura S3P4S cu umplutură din ABS, se observă din exemplificarea grafică (Fig. 5.25) faptul că nu există o intersecție a celor două curbe de variație a presiunii, deci fenomenul de condensare nu apare.

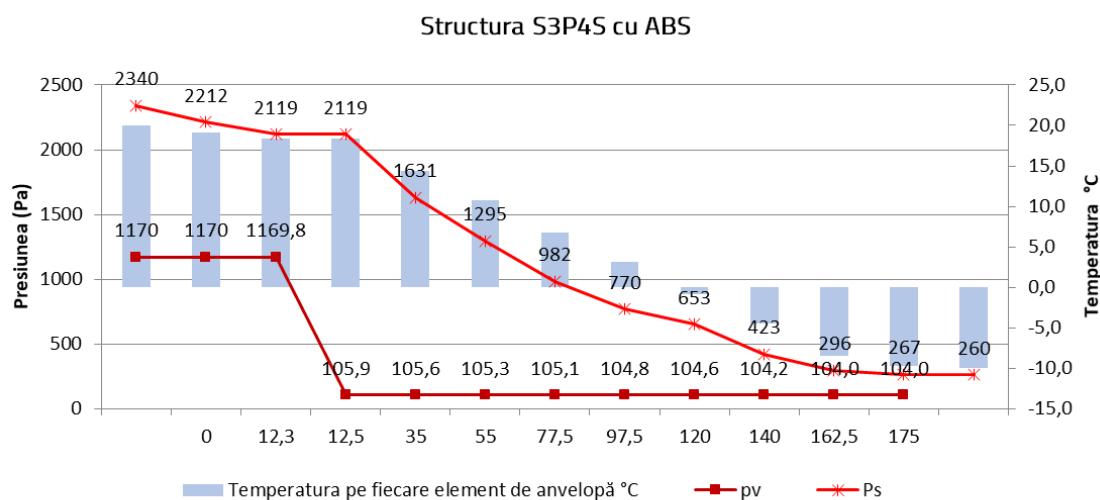


Fig. 5.25. Exemplificarea grafică a variației presiunii parțiale (p_v) și a presiunii de saturație (p_s) pentru structura S3P4S cu umplutură de ABS

Și în cazul structurii S3P4S cu stuf se observă în exemplificarea grafică (Fig. 5.26) că nu există o intersecție a celor două curbe de variație a presiunii, fenomenul de condensare nu apare.

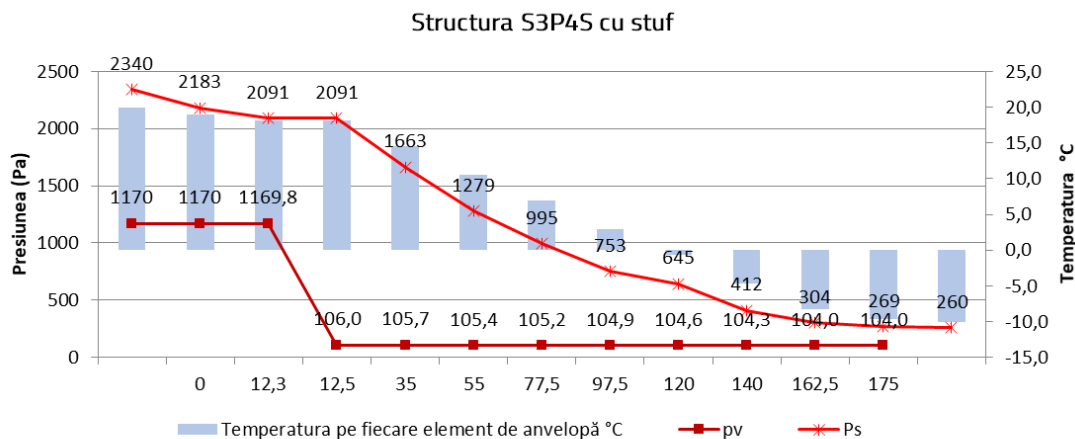


Fig. 5.26. Exemplificarea grafică a variației presiunii parțiale (p_v) și a presiunii de saturație (p_s) pentru structura S3P4S cu umplutură cu stuf

În toate structurile configurate, elementele de calcul și reprezentările grafice prezentate anterior dovedesc că nu se observă prezența condensului în structuri. În acest fel, materialele de izolare termică sunt predispuse mai puțin la degradare din cauza condensului produs. Totodată, în aceste condiții, proprietățile termice își păstrează această calitate în timp.

5.7. Considerații experimentale privind proprietățile fonoabsorbante ale structurilor propuse pentru pereți de exterior pentru case din lemn

Coeficientul de absorbție acustică (α) s-a determinat la diferite frecvențe, conform procedurii prezentate la subcapitolul 3.4.3. pentru panourile inovative realizate. Astfel, pentru panoul cu lână (L) și ABS, rezultatul coeficientului de absorbție acustică este prezentat în Fig. 5.27. Pentru comparație s-au făcut determinări și pentru alte materiale, considerate a avea o bună absorbție acustică: poliuretanul (PU) cu grosime de 10 mm în unul, două și trei straturi (Fig. 5.28) poliuretanul (PU) cu grosime de 30 mm în unul, două și trei straturi (Fig. 5.29) și vată bazaltică cu grosime de 30 mm (Fig. 5.30).

În urma acestor teste, rezultă că materialele poroase și cu densitate mică (ex. PU), se dovedesc a fi bune absorbante acustice.

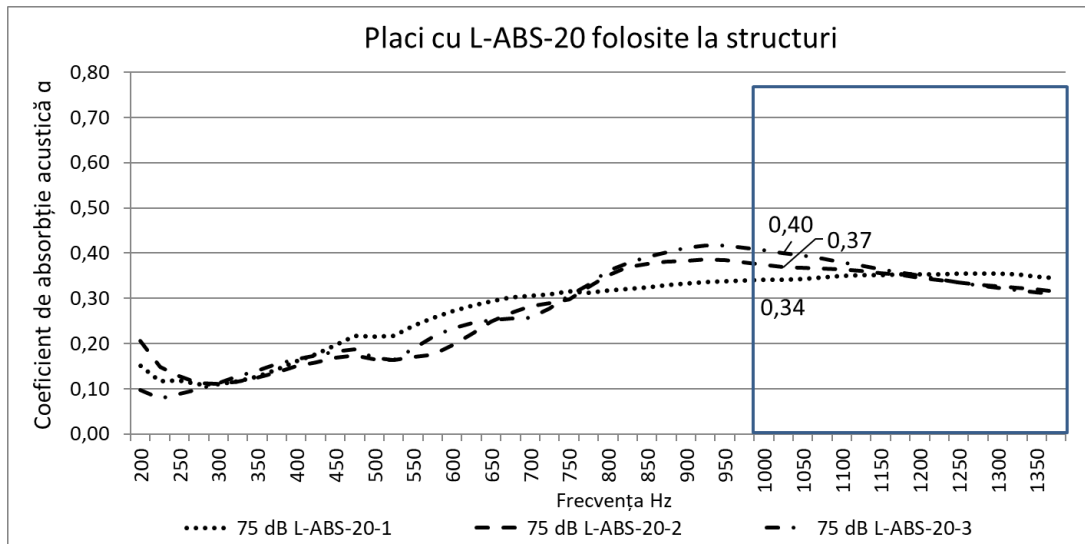


Fig. 5.27. Coeficient de absorbție acustică a plăcii L-ABS grosime de 20 mm în diferite straturi

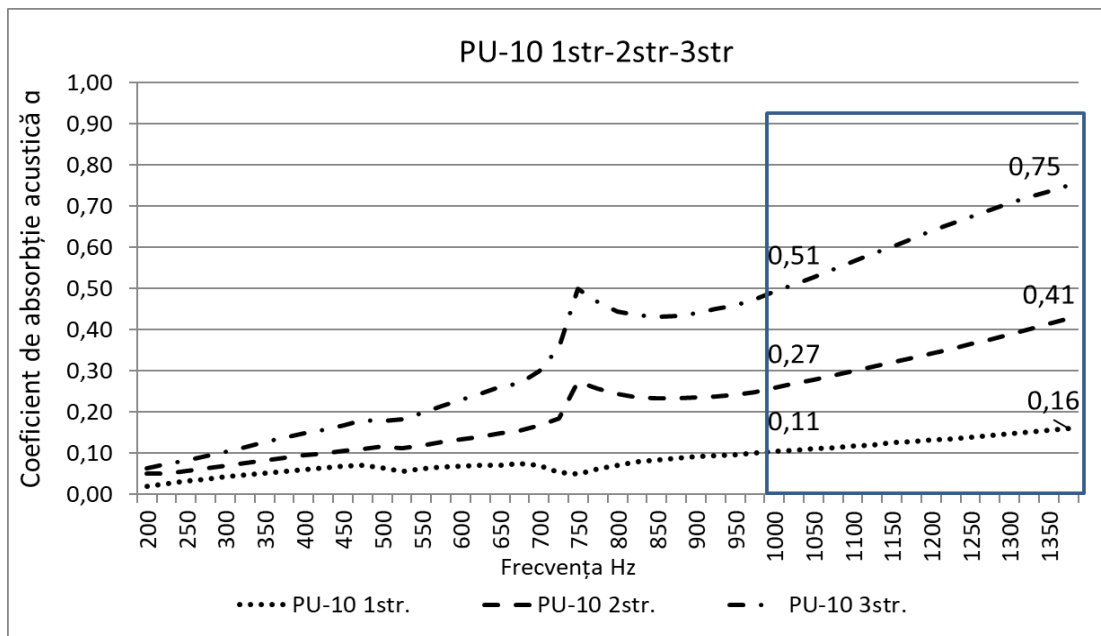


Fig. 5.28. Coeficient de absorbție acustică a PU cu grosime de 10 mm în diferite straturi

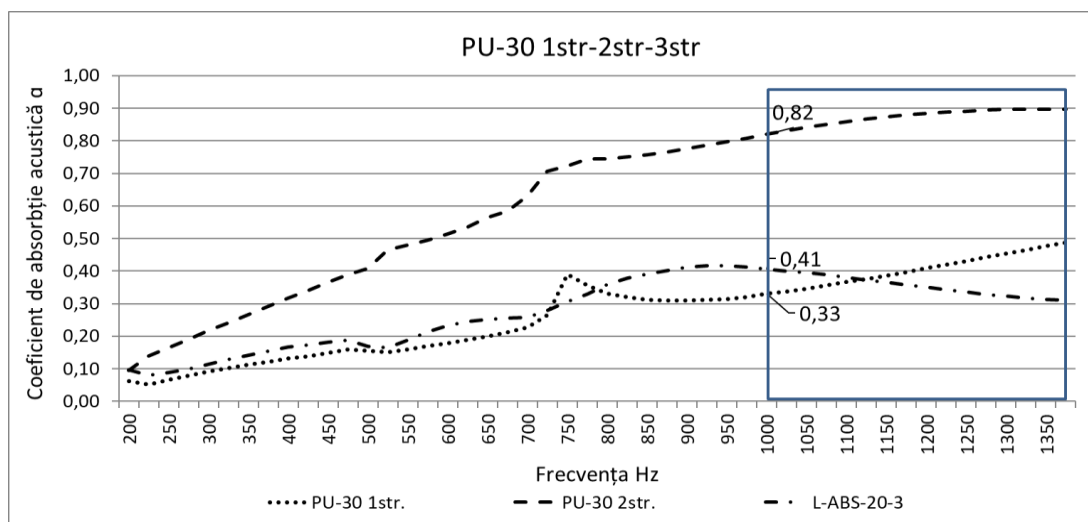


Fig. 5.29. Coeficient de absorbție acustică a PU cu grosime de 30 mm în diferite straturi

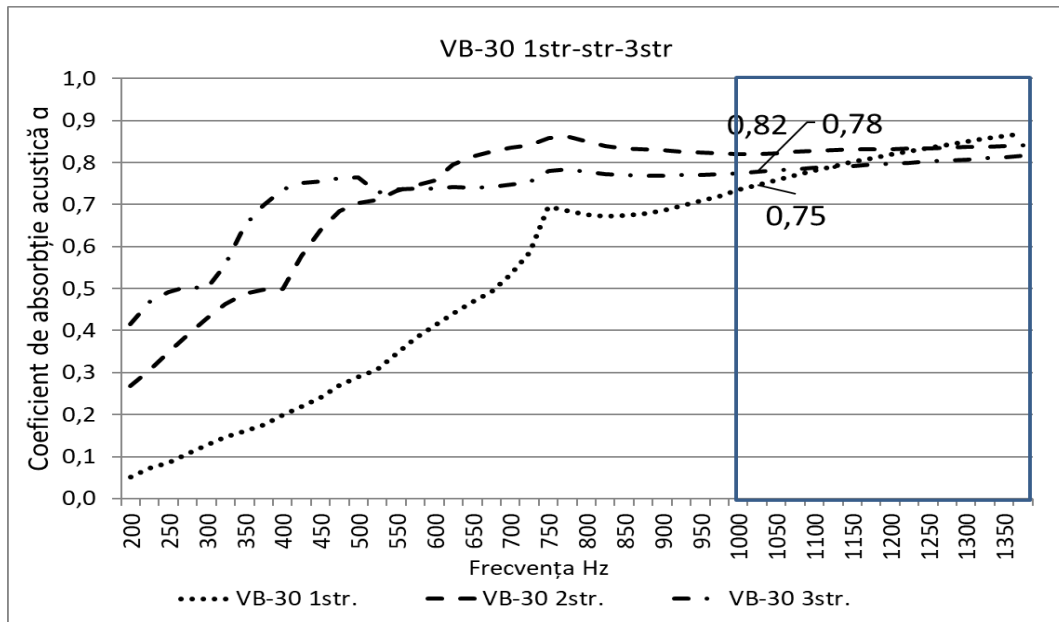


Fig. 5.30. Coeficient de absorbție acustică a vatei bazaltice cu grosime de 30 mm în diferite straturi

Structurile testate în vederea determinării coeficientului de conductivitate termică s-au testat și pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică.

După cum se observă, pentru panourile inovative testate în structuri, nu s-au obținut valori bune ale coeficientului de absorbție acustică, ele situându-se în clasa E de absorbție acustică, cu valori medii de $\alpha=0,25$ (Fig. 5.31). Acest lucru se datorează faptului că materialele exterioare au cea mai mare influență asupra absorbției acustice, energiile emise sunt în cea mai mare parte reflectate, în loc să fie absorbite.

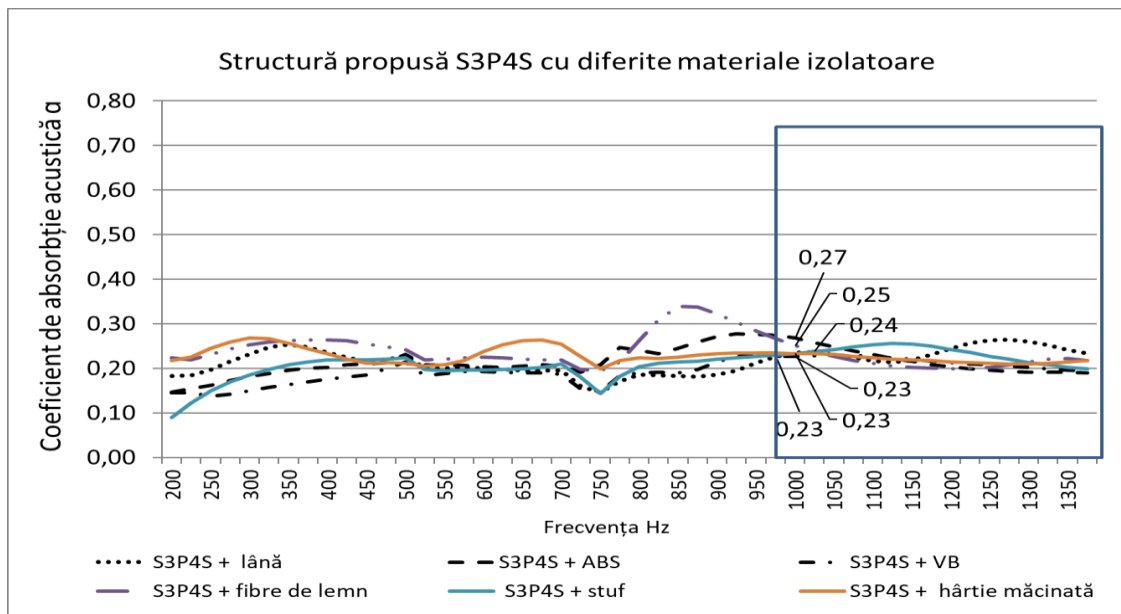


Fig. 5.31. Absorbția acustică a structurii de perete de 175 mm grosime cu diferite materiale de umplere în structură

5.8. Concluzii privind utilizarea panourilor propuse în structuri de pereţi exteriori pentru case din lemn cu diferite materiale de umplură

În acest capitol, a fost propusă o structură de perete exterior cu grosimea de 175 mm, având în componenţă panourile inovative din lână şi ABS, propuse în teza de doctorat şi următoarele variante de materiale de umplură: lână, fibre de lemn, hârtie măcinată, ABS şi stuf.

Această structură a fost evaluată din punct de vedere al performanţei de izolare termică în condiţii de laborator, prin determinarea coeficientului de conductivitate termică, şi a rezistenţei termice pe echipamentul HFM Lambda 436/6. Cu valorile obţinute s-a efectuat calculul teoretic al transmitanţei termice (U). Totodată, transmitanţa termică s-a determinat şi în condiţii reale, „in situ”, prin amplasarea unor senzori de temperatură şi flux termic pe suprafaţa interioară şi cea exterioară a peretelui supus investigaţiei. Această structură a fost testată cu două şi respectiv patru straturi de materiale de umplură.

În ceea ce priveşte cercetarea aplicativă a utilizării materialelor cu potenţial de izolare termică şi a unui tip de panou termoizolant inovativ în structura unui perete exterior pentru case din lemn, se desprind următoarele concluzii:

- Cu creşterea numărului de panouri termoizolante propuse (în cazul cercetării efectuate fiind panoul cu 60% ABS şi 40% lână şi cu grosime de 20 mm, L-ABS-20) introduse în structura peretelui exterior cu grosimea de 175 mm, se îmbunătăţeşte valoarea coeficientului de conductivitate termică şi a rezistenţei termice a structurii. Determinările experimentale au permis obţinerea unei ecuaţii de regresie cu $R^2=1$ în acest sens;
- Coeficientul de conductivitate termică (λ) pentru structura de perete cu patru straturi de umplură din diferite materiale, a înregistrat valori mai scăzute decât pentru structura cu două straturi de umplură, astfel: cu 18,8% pentru structura cu lână, cu 16,4% pentru structura cu hârtie, cu 17% pentru structura cu ABS, cu 16,7% pentru structura cu fibre de lemn. Pentru structura cu stuf s-a înregistrat o scădere a acestui coeficient de doar 1,6%.
- În ceea ce priveşte rezultatele rezistenţei termice (R), s-a observat o creştere a valorilor acesteia pentru structura cu patru straturi de umplură faţă de cea cu două straturi, astfel: cu 18,6% pentru umplutura cu lână, cu 16,1% pentru umplutura cu hârtie, cu 16,6% pentru ABS, cu 15,2% pentru fibrele de lemn şi cu 1,9% pentru stuf.

Comparaţia între valorile calculate teoretic şi cele determinate experimental ale proprietăţilor termice, permit elaborarea următoarelor concluzii:

- Între rezistenţele termice ale structurii de perete exterior pentru case din lemn, calculate în funcţie de rezistenţele termice ale straturilor componente din structură (R_{SS}), pe de-o parte şi valoarea obţinută din testarea structurii în condiţii de laborator, pe instalaţia HFM Lambda 436/6 (R_{HFM}) pe de altă parte, s-au constatat diferenţe cuprinse între 13,5% la structura cu umplură de ABS şi 19,8% la structura cu umplură din stuf. Excepţie face structura cu umplură din lână, unde diferenţa a fost de doar 1,5%. Media calculată a acestora fiind de 13 %.
- Pentru structura de perete exterior cu grosimea de 175 mm, cele mai bune rezultate ale transmitanţei termice (U) determinată în condiţii reale („in situ”) au fost obţinute de structura

compusă din trei panouri și patru straturi de fibre de lemn ca material de umplutură, cu $U=0,185 \text{ W/m}^2\text{K}$, urmată de structura cu lână ca material de umplutură, cu $U=0,214 \text{ W/m}^2\text{K}$, cea cu ABS, cu $U=0,234 \text{ W/m}^2\text{K}$, apoi cea cu hârtie măcinată, cu $U=0,234 \text{ W/m}^2\text{K}$. Cel mai slab rezultat a fost obținut de structura cu stuf ca material de umplutură, cu $U=0,283 \text{ W/m}^2\text{K}$;

- În urma calculului teoretic al transmitanței termice și prin comparația acesteia cu valorile transmitanței termice obținute din măsurătorile efectuate „in situ” pentru structurile de pereți de exterior pentru case din lemn cu grosime de 175 mm, s-au observat diferențe mai mari (de peste 30%) la structurile cu umplutură cu fibre de lemn și mai mici (de cca 7%) la structurile cu umplutură cu ABS. Factorii principali care au influențat apariția acestor diferențe sunt: variațiile de temperatură necontrolate din testul real, sensibilitatea de măsurare a senzorilor de flux termic, diferită pentru cele două echipamente de măsurare și umiditatea variabilă a aerului din atmosferă, care poate crește sau descrește fluxul termic prin structură.

S-a investigat prin calcul și reprezentare grafică prezența condensului în structurile de pereți exteriori cu diverse materiale de umplutură în componență. A rezultat faptul că nu se remarcă prezența condensului în nici una din structurile investigate. În acest fel, materialele de izolare termică sunt predispuse mai puțin la degradare datorită condensului și își păstrează performanțele termice în timp.

Mărirea grosimii structurilor de la 175 mm la 300 mm, prin mărirea grosimii straturilor de umplutură și adăugarea unui strat de placare cu panouri termotratate din frasin, a condus, în urma calculului teoretic, la creșterea valorii transmitanței termice (U) pentru toate structurile propuse cu aproximativ 39%. Rezultatele obținute prin calcul teoretic corespund cerințelor de pereți exteriori pentru case pasive pentru zonele climatice temperat-reci, cu valori ale transmitanței termice sub limita impusă $U=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Aceste structuri sunt cele cu umplutură din hârtie măcinată ($U_{RSS\ 300}=0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$) și cu fibre de lemn ($U_{RSS\ 300}=0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$). Valorile U pentru celelalte structuri s-au apropiat de limita maximă impusă și anume, cea cu lână ca material de umplutură ($U_{RSS\ 300}=0,153 \text{ W/m}^2\text{K}$), cea cu ABS ($U_{RSS\ 300}=0,152 \text{ W/m}^2\text{K}$) și cea cu stuf ($U_{RSS\ 300}=0,171 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Structurile investigate nu au obținut valori satisfăcătoare în ceea ce privește coeficientul de absorbție acustică. Ele s-au situat în clasa E de absorbție acustică, cu valori medii ale coeficientului de absorbție acustică în jurul valorii $\alpha=0,25$. Acest lucru se poate interpreta prin faptul că undele sonore emise sunt în cea mai mare parte reflectate de stratul exterior, în loc să fie absorbite.

6. Concluzii generale. Contribuţii originale. Diseminarea rezultatelor. Direcţii viitoare de cercetare

6.1. Concluzii generale

În contextul internaţional al dezvoltării durabile, prezenta teză de doctorat a urmărit utilizarea alături de materii prime pe bază de lemn (fibre şi aşchii de lemn) a unor materiale naturale regenerabile insuficient introduse în circuitul economic (lână şi stuful), dar şi a unor materiale reciclate sau reciclabile precum plasticul, cauciucul sau hârtia, în vederea realizării unor panouri inovative cu proprietăţi termoizolante şi fonoabsorbante, cu aplicaţii în structura pereţilor exteriori ai caselor din lemn.

- În acest scop, investigarea materiilor prime în vederea utilizării acestora în fabricarea de panouri cu proprietăţi termice şi acustice au condus la ideea că toate materialele investigate pot avea un rol în construcţia de panouri în funcţie de proprietăţile individuale ale fiecărui material. Unele pot avea proprietăţi bune de conductivitate termică (ex. polistiren, hârtie măcinată, fibre de lemn, ABS, lâna) proprietăţi bune de absorbţie acustică (ex. stuf, hârtie, fibre de lemn, lâna), altele pot avea rol de rezistenţă (granule de cauciuc), de liant, de coeziune (ABS) sau combinaţii ale acestora.
- După analiza materialelor s-au realizat 10 tipuri de panouri în condiţii de laborator şi s-a stabilit printr-o strategie de configurare, panouri cu densitatea de 300 Kg/m³ utilizând ABS-ul ca liant, acesta fiind un material termoplast.
- În urma fabricării, toate panourile au fost testate, încadrându-se în conceptul de „panou termoizolant”, conform **Normativului C107/2-2005**, în care valoarea limită impusă coeficientului de conductivitate termică este de 0,065 W/mK. Valorile acestui coeficient pentru toate panourile obţinute, s-au încadrat în intervalul 0,0421 W/mK - 0,0577 W/mK. Din punct de vedere acustic, panourile propuse s-au încadrat în clasele de absorbţie C şi D şi E. Panourile cu cea mai bună valoare a coeficientului de conductivitate termică (0,0409 W/mK) au fost cele cu 40% lâna şi 60% ABS, acestea fiind utilizate în componenţa structurilor propuse în construcţia caselor din lemn.
- În cadrul unei cercetări aplicative, panoul cu cea mai bună performanţă termică (cel cu amestec de lâna şi deşeuri de ABS), a fost utilizat în structura unui perete exterior pentru case din lemn, determinându-se transmitanţa termică (U) în condiţii reale (in situ) şi prin calcul, oferind astfel variante de structuri cu materialele studiate, care să îndeplinească acel concept de „casă pasivă”, conform criteriilor eliberate prin certificare de către Institutul de Case Pasive din Germania (**Passive House Institute Darmstadt, 2016**). S-au constatat diferenţe şi între valorile transmitanţei (U) determinată în condiţii reale şi prin calcul, prin utilizarea parametrilor termici determinaţi experimental în condiţii de laborator. Diferenţa maximă s-a înregistrat pentru structura cu umplutură din fibre de lemn, care a înregistrat valori mai mici ale transmitanţei în condiţii reale (cu cca. 30,8% faţă de varianta măsurată în condiţii de laborator). La polul opus s-a situat structura de perete exterior cu umplutură cu deşeuri de ABS, unde valoarea transmitanţei termice a fost mai mare în condiţii reale faţă de valoarea

determinată în condiții de laborator, cu cca 7%. Prin compararea celor 3 transmitanțe termice, diferențele medii între U_{RSS} și U_{SITU} fiind de 8,6 % și U_{HFM} și U_{SITU} fiind de 25,2 %. Conform acestora pentru obținerea transmitanței termice prin calcul, pentru a fi mai apropiată de valoare transmitanței obținută prin testarea „in situ” se recomandă metoda de calcul în care se utilizează valoarea conductivității și rezistenței termice a fiecărui strat utilizat în structură obținând astfel U_{RSS} .

- Creșterea grosimii structurii de la 175 mm la 300 mm, cu o creștere cu 71% a grosimii materialului de umplere, a condus la creșterea rezistenței termice și implicit a transmitanței termice cu aproximativ 39%. Rezultatele obținute prin calcul au încadrat unele dintre aceste structuri de pereți exteriori în structuri destinate caselor pasive pentru zonele climatice temperate- reci, pentru care se impune o valoare maximă a transmitanței termice de 0,15 W/m²K. Acestea sunt: structura cu hârtie măcinată ca material de umplutură ($U_{RSS\ 300} = 0,147$ W/m²K) și cea cu fibre de lemn ($U_{RSS\ 300} = 0,147$ W/m²K). Valorile transmitanței termice pentru celelalte structuri au depășit cu puțin limita maximă (0,153 W/m²K pentru structura cu lână și 0,152 W/m²K pentru cea cu ABS), cea cu stuf înregistrând valoarea cea mai mică (0,171 W/m²K). Rezultatele se pot îmbunătăți prin mărirea grosimii peretelui, lucru care a fost demonstrat de structuri existente ale caselor pasive, care au ajuns și la 700 mm (Tabelul 1.2).

Prin calculul fluxului termic unitar, respectiv al fluxului unitar de vapori pentru structurile cu grosimea de 175 mm propuse, nu se observă prezența condensului în structuri. În acest fel, materialele de izolare termică sunt predispuse mai puțin la degradare din cauza condensului;

Structurile de pereți exteriori de 175 mm grosime, propuse în teza de doctorat, au fost investigate și din punct de vedere al absorbției acustice. Determinările au arătat faptul că ele se încadrează în clasa E de absorbție acustică, cu valori medii de $\alpha=0,25$. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că materialele de pe suprafața exterioară a structurii reflectă undele sonore în detrimentul absorbției. Acest lucru poate fi benefic din punct de vedere al izolării acustice, dar trebuie investigat în cercetări viitoare.

6.2. Contribuții originale

Contribuțiile originale din această teză de doctorat se regăsesc în toate etapele de elaborare a tezei. Rezolvarea temei propuse în această teză de doctorat a necesitat o abordare interdisciplinară din domenii precum materialele compozite, fizică, termotehnică, electronică, informatică, construcții de case din lemn.

Dintre cele mai importante contribuții originale, se pot enumera:

- Sinteza datelor bibliografice privind stadiul actual al cercetărilor privind materialele cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante cu posibilitatea folosirii acestora în construcții pentru case din lemn;
- Elaborarea metodologiei de cercetare teoretică, experimentală și de testare;
- Cercetarea experimentală privind proprietățile materiilor prime utilizate: determinarea densității, umidității materialelor lignocelulozice, studiul proprietăților termoizolante și

fonoabsorbante ale materialelor în vrac, de tipul fibre de lemn, aşchii de lemn, stuf, hîrtie măcinată, granule de cauciuc, granule de polietilenă, deşeurii de ABS, lână, utilizând echipamente moderne de laborator.

- Elaborarea reţetelor şi tehnologiilor şi fabricarea a 10 tipuri de panouri inovative cu proprietăţi termo-izolante şi fonoabsorbante din materiale sintetice si naturale reciclabile (fibre de lemn, aşchii de lemn, stuf, hîrtie măcinată, granule de cauciuc, granule de polietilenă, deşeurii de ABS, lână). Aceste panouri se încadrează în tipul de produse cerute de economia circulară, cu dezvoltare durabilă, utilizând materii prime naturale regenerabile cu grad scăzut de industrializare, deşeurii şi materiale reciclate;
- Determinarea în condiţii de laborator a coeficientului de conductivitate termică (λ), a rezistenţei termice (R) şi a coeficientului de absorbţie acustică (α) pentru panourile şi structurile propuse şi fabricate în condiţii de laborator;
- Proiectarea şi construirea unui aparat pentru determinarea temperaturii şi umidităţii mediului înconjurător, cu posibilitate de înregistrare a datelor pe suport de memorie, prin folosirea platformei ARDUINO .
- Proiectarea unui program în limbaj C+ pentru utilizarea şi înregistrarea datelor aparatului ARDUINO;
- Crearea unui program de analiză comparativă în mediul de programare EXCEL, în vederea interpretării rezultatelor;
- Utilizarea panourilor noi construite în structuri de pereţi exteriori pentru case din lemn şi testarea pereţilor în condiţii reale, de iarnă, prin amplasarea senzorilor de flux termic pe suprafeţele acestora, pentru a măsura schimbul de căldură dintre mediul exterior şi cel interior şi pentru determinarea transmitanţei termice (U) în condiţii experimentale;
- Calculul teoretic al transmitanţei termice în două variante: pe baza rezistenţei termice (R) înregistrate în condiţii de laborator pentru componentele individuale ale structurii (panouri şi materiale de umplutură), iar în cea de-a doua variantă, cu ajutorul rezistenţei termice determinate tot în condiţii de laborator, dar pentru întreaga structură de perete;
- Propunerea unor structuri de pereţi exteriori pentru case din lemn, cu grosime de 300 mm, care să îndeplinească conceptul de „casă pasivă” pentru zonele temperat-reci.

6.3. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat au fost diseminate prin publicarea a 5 articole dintre care 2 articole indexate ISI, 1 articol într-o revistă BDI, şi două articole prezentate la conferinţe internaţionale.

1. Luminiţa-Maria Brenci, Camelia Coşereanu, Octavia Zeleniuc, **Sergiu-Valeriu Georgescu*** and Adriana Fotin, *Thermal Conductivity of Wood/ ABS Waste Core Sandwich Composites with Various Core Modifications*, [Bioresources](#) 13(1):555-568, 2018, Revistă ISI.

- (https://www.researchgate.net/publication/323112225_Thermal_Conductivity_of_Wood_with_ABS_Waste_Core_Sandwich_Composites_Subject_to_Various_Core_Modifications)
2. Sergiu-Valeriu GEORGESCU, Camelia COȘEREANU, Adriana FOTIN, Luminița-Maria BRENCI, Liviu COSTIUC, *Experimental thermal characterization of timber frame exterior wall using reed straws as heat insulation materials*, [Journal of Thermal Analysis and Calorimetry](https://www.researchgate.net/publication/333435239_Experimental_thermal_characterization_of_timber_frame_exterior_wall_using_reed_straws_as_heat_insulation_materials) volume 138, pages 2505–2513, 2019, Revistă ISI.
(https://www.researchgate.net/publication/333435239_Experimental_thermal_characterization_of_timber_frame_exterior_wall_using_reed_straws_as_heat_insulation_materials)
 3. Sergiu-Valeriu GEORGESCU, Camelia COȘEREANU, *Thermal insulating panels made of recycled materials*, PRO LIGNO ISSN 2069-7430, VOL.15 nr 1 pp 43-48, 2019, Revistă BDI.
(<http://www.proligno.ro/ro/articles/2019/1/GEORGESCU.pdf>)
 4. Sergiu-Valeriu GEORGESCU, Camelia COȘEREANU, *Comparative analysis of thermal and acoustic performance of composites made from wood fibres, recycled rubber and ABS*, [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering](https://www.iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/399/1/012019) DOI: [10.1088/1757-899X/399/1/012019](https://doi.org/10.1088/1757-899X/399/1/012019), 2019.
(<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/399/1/012019>)
 5. Sergiu-Valeriu GEORGESCU, Camelia COȘEREANU, *Comparative Study on The Thermal Conductivity and Acoustic Absorption of Thermo-Treated and Non-Treated Ash Wood*, Proceedings of ICWSE, Transilvania University of Brasov, 2017.
(https://www.iufro.org%2Fdownload%2Ffile%2F27847%2F1932%2Fbrasov17-icwse-program_pdf%2F&usg=AOvVaw2P_vF9ujgpqvjkNwewUgur)

În afară de diseminarea rezultatelor în articole științifice a fost înaintată o cerere de descriere de invenție (pentru panourile cu fibre de lemn și ABS (FL-ABS), cauciuc cu ABS (C-ABS), fibra de lemn cu cauciuc și ABS (FL-C-ABS) cu titlul **Panouri compozite termoizolante din fibre de lemn, ABS și cauciuc reciclat și procedeu de obținere a acestora**, autori Sergiu-Valeriu GEORGESCU, Camelia COȘEREANU, Aurel LUNGULEASA), și Premiul Special, din partea Oficiului de Stat pentru Invenții și Mărci (OSIM) - *Innovative thermal insulation panels based on thermal conductivity of air (INTHERA)*, autori: Elena Belea, Vlad Vasile Bidu*, Sergiu Valeriu Georgescu, Daniela Șova, Mariana Domnica Stanciu, în cadrul Salonului Internațional al Inovării și Cercetării Științifice Studentești "Cadet-Inova 2018" Sibiu 19-21 aprilie 2018.

6.4. Direcții viitoare de cercetare

Prin subiectul tratat în prezenta teză de doctorat s-au deschis noi direcții de cercetare referitoare la utilizarea unor resurse naturale regenerabile (lâna și stuful) și a unor materiale reciclate sau reciclabile (deșeuri de ABS din procesul de producție a mobilierului din panouri melaminate, granule de cauciuc sau polietilenă de joasă densitate reciclate) în realizarea de compozite ecologice, cu proprietăți termoizolante, fonoizolante sau fonoabsorbante.

Se pot enumera câteva din aceste direcții de cercetare, dar lista poate rămâne deschisă:

- Pentru panourile propuse în prezenta teză de doctorat se pot investiga și alte proprietăți, cum ar fi: umflarea în grosime și absorbția de apă, dar și permeabilitatea la vapori, pentru a da mai

multe date referitoare la posibilitatea de a fi utilizate în exteriorul structurilor pentru pereții caselor din lemn;

- Se poate îmbunătăți structura acestor panouri pentru a obține o rezistență mai mare la apă și la mediul umed, utilizând pentru fețele panourilor granule de polietilenă reciclată sau cauciuc în timpul presării, obținând astfel o protecție sporită la suprafața panourilor și totodată, rezistențe mecanice mai bune.
- Se poate extinde utilizarea acestor tipuri de panouri și pentru clădiri cu pereți din zidărie, eventual cu acoperirea fațadelor cu plante, pentru a reduce absorbția de umiditate a acestora;
- Cercetarea proprietăților fonoizolante ale panourilor propuse în această teză de doctorat. Coeficientul scăzut de absorbție acustică a deschis ipoteza că suprafața acestor panouri ar putea reflecta undele sonore, ceea ce le-ar recomanda pentru panouri fonoizolante, cu posibilitatea de a fi utilizate pentru panourile stradale sau autostrăzi.
- Se pot realiza și alte rețete de combinare a materialelor investigate, cu proporții mai mari de participare a granulelor de cauciuc și a celor de polietilenă, care pot aduce și rezistențe mecanice mai bune panourilor și, în același timp, alte posibilități de utilizare decât cele urmărite în lucrarea de față.
- Se pot testa în structurile de pereți exteriori pentru case din lemn toate panourile propuse în lucrare, în condiții reale, de vară și de iarnă, pe perioade mai îndelungate, pentru o determinare mai precisă a schimbului de căldură prin aceste structuri.
- Cercetare experimentală privind permeabilitatea structurii peretelui la aerul umed, prin amplasarea mai multor senzori de umiditate și temperatură în interiorul structurii, în fiecare strat al acesteia și monitorizarea lor prin extinderea programării C+ a sistemului Arduino creat.

Bibliografie

- Amel, L., Abdellatif, Z., Daniel, Q., Hebert, S., și Abdelkrim, C. (2016). Experimental thermal characterization of bio-based materials (Aleppo Pine wood, cork and their composites) for building insulation. *Energy and Buildings*, 116 (Supplement C), 89-95. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.007>
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Baldinelli, G., și Bianchi, F. (2014). Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries—A case study. *Case Studies in Construction Materials*, 1, 53-59. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2014.04.004>
- Borlea, A. T., Rusu, T., Ionescu, S., și Nemeș, O. (2012). Determinarea proprietăților fonoabsorbante ale unor materiale compozite realizate din deșeuri. *Revista Română de Materiale*, 405-414.
- Briga-Să, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., și Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38, 155-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.037>
- BS ISO 9869-1. (2014). Thermal Insulation -Building elements- În situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Part 1: Heat flow meter method.
- C107 1.2.3. (2005). Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor.
- Case naturale (2016). Termoizolare cu paie. Accesat online la adresa [:http://casenaturale.ro/materiale/termoizolatii-naturale-2/termoizolare-cu-paie/](http://casenaturale.ro/materiale/termoizolatii-naturale-2/termoizolare-cu-paie/)
- Consiliu European (2019). Adoptarea de către Consiliu a interdicției privind materialele plastice de unică folosință Accesat online la adresa [:https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2019/05/21/council-adopts-ban-on-single-use-plastics/](https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2019/05/21/council-adopts-ban-on-single-use-plastics/)
- Crăpușescu, C. (2019). Ce este izolația din spumă de sticlă? Accesat online la adresa [:https://casebune.ro/ce-este-izolatia-din-spuma-de-sticla-geocell/?cn-reloaded=1](https://casebune.ro/ce-este-izolatia-din-spuma-de-sticla-geocell/?cn-reloaded=1)
- David, M. E. (2017). Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. *Recycling*, 2, 24. doi:10.3390/recycling2040024.
- Durica, P., Juras, P., Gaspierik, V., și Rybarik, J. (2015). Long-term Monitoring of Thermo-technical Properties of Lightweight Constructions of External Walls Being Exposed to the Real Conditions. *Procedia Engineering*, 111, 176-182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.073>
- European, P. (2018). Economia circulară. Accesat online la adresa [:https://www.europarl.europa.eu/news/ro/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circulara-definitie-importanta-si-beneficii](https://www.europarl.europa.eu/news/ro/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circulara-definitie-importanta-si-beneficii)

- Eurostat. (2016). How satisfied are inhabitants of EU capital cities with the air quality and noise levels? Accesat online la adresa
[:https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7427955/8-03062016-BP-EN.pdf/0d471c36-aef6-47e8-b52b-b63e4f40302f](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7427955/8-03062016-BP-EN.pdf/0d471c36-aef6-47e8-b52b-b63e4f40302f)
- Eurostat. (2017). Rata de reciclare a deşeurilor municipale. Accesat online la adresa
[:https://www.zf.ro/eveniment/romania-se-afla-pe-locul-26-in-uniunea-europeana-doar-11-din-deseuri-19366025](https://www.zf.ro/eveniment/romania-se-afla-pe-locul-26-in-uniunea-europeana-doar-11-din-deseuri-19366025))
[/https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rt120&language=en](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rt120&language=en)
- Fahy, F. J. (2000). Foundations of Engineering Acoustics. Academic Press, 443 / 465.
- Grăjdan, I. (2016). Materiale cu proprietati fonoabsorbante realizate din deşuri.
- Hopewell, J., Dvorak, R., și Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 2115–2126. doi:doi:10.1098/rstb.2008.0311.
- IS EN_ISO 6946 (2017). Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods.
- ISO 8301 (1991). Thermal Insulation. Determination of steady-state thermal rezistance and related properties- Heat flow meters apparatus.
- Kain, G., Barbu, M. C., Hinterreiter, S., Richter, K., și Petutschnigg, A. (2013). Using Bark as a Heat Insulation Material (Vol. 8).
- Kashani, A., Ngo, T. D., Mendis, P., Black, J. R., și Hajimohammadi, A. (2017). A sustainable application of recycled tyre crumbs as insulator in lightweight cellular concrete. Journal of Cleaner Production, 149, 925–935. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.154
- Kjeldsen, A., Price, M., Lilley, C., Guzniczak, E., și Archer, I. (2015). A Review of Standards for Biodegradable Plastics, Industrial Biotechnology Innovation Centre. Technical Report. Industrial Biotechnology Innovation Centre.
- Koerner, G. R., Hsuan, Y. G., și Koerner, R. M. (2007). 3 - The durability of geosynthetics. In R. W. Sarsby (Ed.), Geosynthetics in Civil Engineering (pp. 36–65): Woodhead Publishing.
- Korjenic, A., Zach, J., și Hroudová, J. (2016). The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. Energy and Buildings, 116, 45–58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.037>
- Kubowicz, S., și Booth, A. (2017). Biodegradability of Plastics: Challenges and Misconceptions. Environmental Science & Technology, 51. doi:10.1021/acs.est.7b04051.
- Labat, M., Woloszyn, M., Garnier, G., și Roux, J. J. (2015). Dynamic coupling between vapour and heat transfer in wall assemblies: Analysis of measurements achieved under real climate. Building and Environment, 87(Supplement C), 129–141. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.022>

- Lâna Term (2019). De ce izolația de lână? Accesat online la adresa [:https://lanaterm.com/ro/de-ce-izola%C8%9Bia-de-l%C3%A2n%C4%83.html](https://lanaterm.com/ro/de-ce-izola%C8%9Bia-de-l%C3%A2n%C4%83.html)
- Marinescu, I. (1979). Uscarea Lemnului. Editura tehnică București, Volumul I.
- Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor (2017). Ordinul nr. 2641/2017 privind modificarea și completarea reglementării tehnice "Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor", aprobată prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 157/2007.
- Miljan, M., Miljan, M. J., Miljan, J., Akermann, K., și Karja, K. (2013). Thermal transmittance of reed-insulated walls in a purpose-built test house. *Mires and Peat*, 13, Article 7.
- Ministerul Dezvoltării Regionale, A. P. F. E. (2017). Strategia pentru mobilizarea investițiilor în renovarea fondului de clădiri rezidențiale și comerciale, atât publice cât și private, existente la nivel național. Accesat online la adresa [:https://www.mlpda.ro/userfiles/Strategie_renovare_cladiri_2017%20final_23octombrie2017.pdf](https://www.mlpda.ro/userfiles/Strategie_renovare_cladiri_2017%20final_23octombrie2017.pdf)
- MTC. (2016). Case verzi, case pasive, case sustenabile: viitorul în construcții începe cu ele! . Accesat online la adresa [:https://www.mtcmagazin.ro/case-verzi-case-pasive-case-sustenabile-viitorul-in-constructii-incepe-cu-ele/](https://www.mtcmagazin.ro/case-verzi-case-pasive-case-sustenabile-viitorul-in-constructii-incepe-cu-ele/)
- Najim, K. B., și Hall, M. R. (2013). Crumb rubber aggregate coatings/pre-treatments and their effects on interfacial bonding, air entrapment and fracture toughness in self-compacting rubberised concrete (SCRC). *Materials and Structures*, 46(12), 2029-2043. doi:10.1617/s11527-013-0034-4.
- Nguyen, S. T., Feng, J., Ng, S. K., Wong, J. P. W., Tan, V. B. C., și Duong, H. M. (2014). Advanced thermal insulation and absorption properties of recycled cellulose aerogels. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 445, 128-134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.01.015>
- Normativ_C125. (2012). Normativ privind acustica în construcții și zone urbane.
- OPTIVELOX. Manual pentru determinarea transmitanței termice THERMOZIG BLE firma OPTIVELOX.
- Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77-86. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>
- Parlamentul European (2016). Eficiența energetică. Accesat online la adresa [:https://www.europarl.europa.eu/factsheets/ro/sheet/69/energieeffektivitet](https://www.europarl.europa.eu/factsheets/ro/sheet/69/energieeffektivitet)
- Passive House Institute Darmstadt, G. (2016). Criterii pentru case pasive. Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard. Accesat online la adresa [:https://passiv.de/downloads/03_building_criteria_en.pdf](https://passiv.de/downloads/03_building_criteria_en.pdf)
- Passive House Institute Darmstadt, G. (2020). Passive House Database. Accesat online la adresa [:https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en](https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en)

- Pásztor, Z., Horváth, T., Glass, S. V., și Zelinka, S. L. (2015). [Technical Note] Thermal Insulation System Made of Wood and Paper for Use in Residential Construction. *Forest Products Journal*, 65(7-8), 352-357. doi:10.13073/fpj-d-14-00100.
- Przewoźni, A. (2014). Polyurethane—alternative to mineral wool and polystyrene. *Technical transactions. Civil engineering*.
- Revista din lemn (2018). Stejarul de plută, material pentru pardoseli, izolație fonică și dopuri. Accesat online la adresa :<https://www.revistadinlemn.ro/2018/03/23/pluta-un-material-cu-multiple-utilizari-stiti-ce-este/>
- Sandberg, U. (2003). The multi-coincidence peak around 1000 Hz in tyre/road noise spectra (Vol. 498).
- Siceram. (2020). Accesat online la adresa :<http://siceram.ro/wp/wp-content/uploads/2017/05/Catalog-Termobloc-X3-nou.pdf>
- Spațiul de Construit (2020). Materiale termoizolante. Accesat online la adresa :<https://www.spatiulconstruit.ro/articol/materiale-termoizolante/16068>
- SR EN 1602 (2013). Produse termoizolantedestinate utilizării la clădiri. Determinarea densității aparente.
- SR EN ISO 11654 (2005). Acustică. Absorbantți acustici utilizați în cladiri. Evaluarea absorbției acustice.
- SR EN 12667 (2009). Performanța termică a materialelor și produselor de construcție. Determinarea rezistenței termice prin metoda plăcii gardateși prin metoda cu termofluxmetru. Produse cu rezistență termică mare și medie.
- SR EN 12939 (2002). Performanța tehnică a materialelor și produselor de construcție.Determinarea rezistenței termice cu ajutorul metodei plăcii calde gardate și a metodei termofluxmetrice. Produse groase cu rezistență termică mare și medie.
- SR EN ISO 10534-1 (2002). Acustică. Determinarea coeficientului de absorbție acustică și a impedanței cu interferometrul acustic. Partea 1: Metoda raportului de undă staționară.
- SR EN ISO 10534-2 (2002). Acustică. Determinarea coeficientului de absorbție acustică și a impedanței cu interferometrul acustic. Partea 2: Metoda funcției de transfer.
- STAS-5912 (1989). Determinarea conductivității termice .
- Sukontasukkul, P. (2009). Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1084-1092. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.05.021>
- Șova, D. (2014). Panouri termoizolante pe bază de lemn. Caracteristici de transfer termic, testare și certificare.
- Tian, L., Mingwei, Z., Zhi, Y., Jianwei, S., Jiaqi, D., Yonggang, Y., . . . Liangbing, H. (2016). Wood Composite as an Energy Efficient Building Material: Guided Sunlight Transmittance and Effective Thermal Insulation. *Advanced Energy Materials*, 6(22), 1601122. doi:doi:10.1002/aenm.201601122.

- Toba, S. (2010). Permisivitatea la vapori (valoarea Sd). Accesat online la adresa [:https://www.despreacoperisuri.ro/2010/04/permisivitatea-la-vapori-valoarea-sd/](https://www.despreacoperisuri.ro/2010/04/permisivitatea-la-vapori-valoarea-sd/)
- Tondi, G., Link, M., Kolbitsch, C., Gavino, J., Luckeneder, P., Petutschnigg, A., . . . Doorslaer, C. v. (2016). Lignin-based foams: production process and characterization. *BioResources*, 11(2), 2972-2986.
- Tondi, G., Pizzi, A., și Olives, R. (2008). Natural tannin-based rigid foams as insulation for doors and wall panels. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 10, 219-227. Accesat online la adresa [:https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2008000300005&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2008000300005&nrm=iso)
- Vîlceanu, L., Flori, M., și Puan, V. (2011). Determinarea conductivității termice a materialelor de construcții a XI Conferință națională multidisciplinară.
- Wang, X., Fei, B., și Ni, J. (2013). Experimental Assessment of Hygrothermal Performance of Wood Frame Wall System in Suzhou's Lake Tai Climate Zone (Vol. 8).
- Wegener G., Z. B. (1997). Life Cycle Assessment of wood.
- Westwood, C. H. T. L., și Keim, L. C. (2008). Test data for physical properties of thermo treated wood compared with non-treated wood (ahs, oak, poplar, pine).
- www.au-mex.com. (2020). Thermowood Cladding. Accesat online la adresa [:https://www.au-mex.com/thermo-wooden-cladding/#](https://www.au-mex.com/thermo-wooden-cladding/#)

Rezumat teză

Teza de doctorat intitulată *Cercetări privind realizarea unor panouri inovative pe bază de lemn cu proprietăți termo-izolante și fono-absorbante cu aplicații în mediul exterior* abordează un domeniu important al cercetărilor actuale și anume cel al materialelor termoizolante pentru pereți exteriori ai caselor cu structură din lemn și pe bază de lemn. Rezultatele acestei cercetări aduce beneficii atât din punct de vedere ecologic, cât și economic, deoarece vizează utilizarea unor materiale naturale și a unor materiale reciclabile cu perioadă mare de biodegradare, respectiv materiale plastice și cauciuc.

Obiectivul general al acestei cercetări a fost acela de a realiza panouri cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante, utilizând materiale naturale sustenabile și materiale reciclabile, conform principiului economiei circulare, și aplicarea acestora în structura unor pereți exteriori pentru case din lemn.

Pornind de la obiectivul general, a fost necesară investigarea unor materiale naturale, a unor deșeuri și a unor materiale reciclabile, din punct de vedere al proprietăților fizice și performanțelor termice și acustice.

Investigarea acestor materiale a condus la crearea unor rețete privind realizarea de panouri cu proprietăți termoizolante și fonoabsorbante cu densitate redusă, prin combinarea acestora. Panourile rezultate cu structură compactă au fost testate în vederea determinării proprietăților termice și acustice.

S-au efectuat investigații teoretice și experimentale de laborator și „in situ” privind comportamentul termic și acustic al unei structuri de perete exterior pentru case din lemn, care să conțină panourile propuse, în mai multe variante de așezare, utilizând pentru cercetarea experimentală senzori de temperatură și flux termic.

În urma rezultatelor privind transmitanța termică, obținute atât prin calcul, cât și în condiții reale („in situ”) pentru structuri de case din lemn cu grosime de 175 mm, s-au propus structuri cu grosimi de 300 mm pentru a obține valori ale transmitanței termice care să încadreze structurile propuse pentru case pasive destinate zonelor temperate-reci, reglementate conform criteriilor de case pasive de la Institutul de Case Pasive din Germania .

Short summary

The doctoral thesis entitled “Research on the construction of innovative wood-based panels with thermal-insulating and sound-insulating properties with applications in the external environment” addresses an important area of current research, namely that of thermal insulation materials for exterior walls of houses with wooden and wooden-based structure. The results of this research bring both ecological and economic benefits, as they concern the use of natural materials and recyclable materials with a long period of biodegradation, namely plastics and rubber.

The overall objective of this research was to make panels with thermal and phonoabsorbent properties using sustainable natural materials and recyclable materials based on the principle of circular economy, and their use in the structure of exterior walls for wooden houses.

Starting from the general objective it was necessary to investigate natural materials, waste and recyclable materials in terms of physical properties and their thermal and acoustic performances.

The investigation of these materials led to the creation of recipes for the construction of panels with low density and both thermal insulating and phonoabsorbent properties, by combining them.

The resulted panels with compact structures have been tested for thermal and acoustic properties. Following the results, theoretical and experimental laboratory and *in situ* research investigations on the thermal behaviour of an outdoor wall structure for wooden houses were conducted. These structures contained the proposed panels, in several settlement variants, using temperature and heat flow sensors for experimental research.

Following the results of the thermal transmittance obtained by calculation and *in situ* for the wooden house wall structures with thicknesses of 175 mm, structures with thicknesses of 300 mm were proposed in order to obtain wall structures designed for passive houses for temperate-cold areas on the criteria of passive houses imposed by the Institute of Passive Houses in Germany.