

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții – RECOMLABS-1
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC AL ETAPEI nr.4

Cod proiect: ERANET-INCOMERA-RECOMLABS-1

Contract: nr. 8 / 2018

Denumire proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții

Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

Termen de predare: 31.08.2019

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

1. Obiectivul general al proiectului

Proiectul RECOMLABS reunește o echipă de șase organizații, trei din vestul Greciei și trei din România, cu mai mult de cincisprezece ani de implicare activă în proiectele de cercetare NMP.

Obiectivul principal al proiectului este de a utiliza patrimoniul acumulat anterior în confecționarea materialelor compozite cu proprietăți relevante pentru domeniul aeronautică și de a extinde aplicabilitatea acestor materiale în domeniul construcțiilor (civile, industriale, turistice etc.).

Punctul de plecare al prezentului proiect este reprezentat de niște modele testate și validate în condiții de laborator pentru materiale compozite destinate domeniului aeronautică, propunându-ne ca, în cadrul acestui proiect, să utilizăm cunoștințele și experiența astfel dobândite pentru a dezvolta componente și materiale potrivite pentru a construi pereți interiori și pentru izolarea termică exterioară a clădirilor, cu capacități îmbunătățite la radiații UV și auto-curățare.

În ansamblu, se propune un produs inovator pentru utilizatori finali, ceea ce ar putea conduce la o aplicație pe piață. Acest lucru se poate realiza prin extinderea activităților de testare în condiții reale de funcționare. Proiectul vizează transferul de la produse de nișă la produse de piață mai largi, crescând astfel impactul său social și dimensiunea industrială.

2. Obiectivele etapei

Etapa curentă a fost destinată efectuării corecțiilor și definitivării documentației de execuție a prototipului, executării, testării în condiții reale și omologării lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior, având ca obiective:

- O 4.1 - Achiziție servicii de consultanță în domeniul inovării și de sprijinire a inovării;
- O 4.2 – Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior;
- O 4.3 - Executarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior;
- O 4.4 - Testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

3. Rezumatul etapei; gradul de atingere a rezultatelor estimate

Pentru atingerea obiectivului etapei, s-au desfășurat următoarele activități:

- A 4.1 - Achiziție servicii de consultanță în domeniul inovării și de sprijinire a inovării;
- A 4.2_ Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior;
- A 4.3_ Executarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior;
- A 4.4 - Testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior.

Rezultatele estimate și realizate ca urmare a desfășurării acestor activități sunt:

- RST-Extenso_A4.1_ Achiziție servicii de consultanță în domeniul inovării și de sprijinire a inovării (anexat prezentului RST);
- RST-Extenso_A4.2_ Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior (anexat prezentului RST);
- RST-Extenso_A4.3_ Executarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior (anexat prezentului RST);
- RST-Extenso_A4.4_ Testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior(anexat prezentului RST).

4. Descrierea științifică și tehnică, cu punerea în evidență a rezultatelor etapei și gradul de realizare a obiectivelor

- ***RST-Extenso_A4.1_ Achiziție servicii de consultanță în domeniul inovării și de sprijinire a inovării***

Acest document conține informațiile transferate de compania de consultanță Focus Innovazione srl prin activitatea A4.1 către clientul Horus Energie Alternativă SRL.

Raportul oferă o imagine de ansamblu în ceea ce privește brevetabilitatea soluției RECOMLABS. În principal, a fost realizată o analiză a principalelor brevete existente în literatura de specialitate, pentru a se evalua „Libertatea de a opera” („Freedom to operate”) în piață.

Nanotehnologia permite dezvoltarea de materiale cu proprietăți îmbunătățite sau total noi. Prin urmare, nanotehnologia are potențialul de a ne schimba radical mediul

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereți despărțitori de interior

construit și modul în care trăim. Nanotehnologiile se ocupă, în general, de structuri cu dimensiunea de 100 nanometri sau mai mici în cel puțin o dimensiune și implică dezvoltarea materialelor și a dispozitivelor în cadrul acestor dimensiuni [1]. Nanomaterialele sunt de obicei definite ca materiale care au cel puțin o dimensiune (înălțime, lungime, adâncime) mai mică de 100 nanometri. Un nanometru măsoară aproximativ 1/80.000 din lățimea unui fir de păr uman sau 1/7000 din dimensiunea unei celule roșii din sânge [1]. Materialele la scară-nano au adesea proprietăți fizice, chimice și biologice foarte diferite de omologii lor de dimensiuni obișnuite. Nanotehnologia este unul dintre sectoarele industriale cu cea mai rapidă creștere din ultimii ani la nivel mondial. Materialele bazate pe nanotehnologie au fost folosite anterior în cercetarea spațială, farmaceutică și electronică, iar în ultimii zece ani au apărut diferite materiale de izolare termică bazate pe nanotehnologie în industria construcțiilor [2]. Industriile de arhitectură, inginerie și construcții ar putea exploata nanotehnologia și aplicațiile nanomaterialelor. Industria construcțiilor începe să privească inovațiile din nanotehnologie cu o atenție tot mai mare, identificată fiind ca o resursă importantă pentru a da un nou impuls creșterii pieței. Produsele generate prin nanotehnologie prezintă caracteristici unice, care pot rezolva semnificativ unele probleme de construcție și pot modifica cerințele și organizarea procesului de construcție [1].

Potențialul nanotehnologiei în ceea ce privește dezvoltarea materialelor de construcție poate fi rezumat după cum urmează [2], [3]:

- Utilizarea nano-particulelor, nano-carboanelor și nano-fibrelor poate crește rezistența și durabilitatea compozitelor;
- Producția de oțel economic anticoroziv;
- Producția de materiale pentru izolarea termică. Pe piață putem găsi diferite materiale de izolare termică bazate pe nanotehnologie: produse din polistiren expandat, inclusiv aditivi de pulbere de grafit (EPS Graphite); airtel utilizat pentru izolarea structurilor de clădire transparente; panouri termoizolante pe bază de nanoparticule; acoperiri de izolare termică nano-ceramică;
- Acoperirile pe bază de nanoparticule pot asigura o mai bună aderență, transparență, auto-curățare, protecție la coroziune și protecție împotriva incendiilor.

În acest document sunt descrise posibilele brevete și lucrări din literatura de specialitate pentru construcția structurilor sandwich combinate cu nano-ranforsări potențial aplicabile în domeniul construcțiilor.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereți despărțitori de interior

- ***RST-Extensio_A4.2_ Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului de panou inteligent și multifuncțional pentru pereți despărțitori de interior***

Acest document prezintă posibilele îmbunătățiri ale structurii de tip sandwich, propusă în proiectul de cercetare RECOMLAB, acestea având ca țintă îmbunătățirea proprietăților mecanice și termice ale materialului. Obiectivele studiului supus cercetării sunt reprezentate, în mod special, de îmbunătățirile ce pot fi aduse unui material având structura de matrice polimerică prin nano-armare/umplere, aceasta, având în vedere că structurile ce vor fi realizate în acest proiect de cercetare, sunt panouri de tip sandwich, cu miez de polistiren expandat (PSE), suprafețele panourilor urmând să fie ranforsate cu rășină armată cu țesătură de cânepă. În unele probele realizate a fost utilizată rășina epoxidică, iar în altele bio-rășina cu diderite nano umpluturi.

Din diversitatea de polimeri existenți, rășina epoxidică cu matricea polimerică termosimetrică este cea mai frecvent utilizată în compozitele polimerice cu matrice compozită PMC [1]. Monomerii reprezintă elementele de bază ale polimerului, care alcătuiesc materiale plastice. Aproape toate materialele plastice includ aditivi precum plastifianți, pigmenți, stabilizatori împotriva radiațiilor solare, conservanți și parfumuri. Plasticul este o substanță care conține material natural sau sintetic cu molecule organice, acest material poate fi lichefiat și astfel vărsat în matrițe specifice. Plasticul este, deasemenea, un material utilizat pe scară largă în construcții, sub formă de elemente de pardoseală, acoperișuri și pereți (panouri pentru pereți). Repararea acestor materiale sau înlocuirea lor este dificilă și costisitoare. Materialele plastice ar trebui să aibă o viață funcțională de cel puțin 50 de ani, echivalentă cu cea a altor materiale de construcție din clădire [2]. O modalitate tradițională de a îmbunătăți proprietățile materialelor polimerice, de a le face mai potrivite pentru diferite condiții de ranforsare, este încorporarea de fibre scurte (de exemplu, sticlă sau carbon) sau de particule ceramice. Diametrul acestor armături este, de obicei, în intervale diferite de ordinul micrometrilor și asigură creșterea stabilității termice, a rigidității și a rezistenței matricei polimerice utilizate. Cu toate acestea, există unele dezavantaje cu privire la utilizarea acestor umpluturi, cum ar fi, de exemplu, reducerea stresului la rupere

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

și rezistența la impact. Pentru a rezolva această problemă, este necesară o abordare inovatoare în domeniul exploatării particulelor cu diametre aflate în intervale de ordinul nanometrilor [3]. Prin încorporarea de nanoparticule se pot realiza materiale compozite cu proprietăți superioare în comparație cu polimerul matricial ordonat. Gradul de îmbunătățire depinde de caracteristicile materialului utilizat pentru matrice și de tipul ranforsărilor folosite. Pentru această clasă de materiale interfața dintre matrice și umplutură joacă un rol fundamental pentru proprietățile materialului. Având în vedere un număr mare de nano-particule cu suprafață specifică ridicată în contact cu matricea polimerică din jur, comportamentul rezultat al compozitului poate fi determinat din ce în ce mai mult de pe interfață.

Figura 1 explică schematic motivul pentru care ar trebui să obținem proprietăți diferite sau chiar superioare, în cazul nano-compozitelor, în comparație cu compozitele tradiționale care conțin micro sau macroparticule.

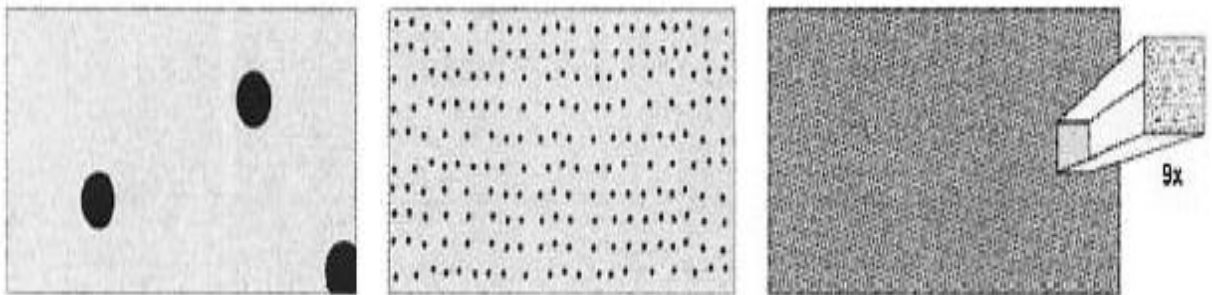


Figura 1-Corelația dintre numărul relativ n de particule și mărimea particulelor d într-un conținut constant de umplere de 3% din volumul interior al unui volum de referință [3].

Corelația dintre numărul relativ de particule sferice, dimensiunea lor și suprafața specifică este ilustrată în **Figura 1**, pentru un conținut constant de umplutură de 3% pe volum.

În interiorul unui volum de referință de $50000 \mu m^3$ pot fi detectate numai 3 particule, atunci când diametrul lor este de $10 \mu m$ (**Figura 1**, la stânga). Cu toate acestea, numărul de particule crește enorm la peste 3 milioane, dacă se folosesc nano-particule cu diametrul de 100 nm (**Figura 1**, a dreapta). Este evident că, nano-particulele pot oferi o suprafață de interfață mult mai mare decât particulele „mari”. În acest caz, putem vorbi

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

despre materiale „dominate de interfață” și astfel devine clar faptul că, această zonă de interfață extinsă poate determina în mare măsură proprietățile materialului compozit.

- ***RST-Extenso_A4.3_Executarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior***

În acest raport sunt descrise materialele și metodele de fabricare a probelor experimentale pentru panourile sandwich Recomlab, realizate cu diverse nano ranforsări și cu diferite rășini, în vederea testării și comparării caracteristicilor obținute, în conformitate cu standardele ASTM utilizate la nivel mondial privind îmbunătățirea calității produselor, sporirea siguranței și facilitatea comercializării acestora.

În scopul atingerii obiectivului proiectului de cercetare - și anume, identificarea soluțiilor optime economice (atât pentru producție, cât și pentru întreținere) și nu în ultimul rând ecologice, au fost create și comparate trei clase de structuri, toate pe baza unui nucleu EPS și cu diverse structuri de umplere a panourilor, după cum urmează

- Bio-rășină epoxidică și țesătură de fibră de cânepă.
- Bio-rășină epoxidică ranforsată cu nano particule și țesătură de fibră de cânepă.
- Rășină epoxidică și țesătură de fibră de cânepă.

Înainte de a descrie realizarea fizică a probelor sandwich, este prezentată o vedere de ansamblu a aplicațiilor structurilor sandwich utilizate în ingineria construcțiilor civile/edilitare.

- ***RST-Extenso_A4.4_Testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior***

Acest document contribuie la realizarea proiectului ”D5.2 - Evaluarea produsului. Raport privind evaluările produsului” și este rezultatul lucrărilor de cercetare desfășurate în timpul sarcinii 5.2 în care Horus, împreună cu ceilalți parteneri de proiect, au colaborat pentru a identifica modalitățile de îmbunătățire a panoului RECOMLAB.

Așa cum s-a descris în acest document, printre alte diverse activități conexe ale sarcinii 5.2, a fost realizată și activitatea de identificare a metodelor de testare care trebuie efectuate pentru omologarea panourilor pentru construcții civile. Mai mult, au fost, de asemenea, analizate testele ASTM, pornind de la eșantioanele de probă, rezultatele obținute prin testarea, fiind în măsură să contribuie cu un feedback evaluativ, pozitiv, și

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

bine venit, prin returnarea unui plus de informație și de valoare studiilor efectuate, în vederea optimizării fabricației, utilității și valorificării panourilor stratificate proiectate.

5. Rezultatele etapei. Anexe

Rezultatele etapei, care se constituie ca anexe ale prezentului RST, sunt următoarele:

- RST-Extensio_A4.1_ Achiziție servicii de consultanță în domeniul inovării și de sprijinire a inovării ;
- RST-Extensio_A4.2_ Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior ;
- RST-Extensio_A4.3_ Executarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior ;
- RST-Extensio_A4.4_ Testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior.

6. Concluzii

S-au desfășurat cu succes toate activitățile prevăzute în Planul de realizare a proiectului, fiind atinse obiectivele etapei și obținute rezultatele estimate și planificate pentru această etapă.

Pentru buna desfășurare a activităților etapei, s-au efectuat cheltuielile prevăzute în Devizul proiectului, anexă a Contractului de finanțare și prezentate în detaliu Fișa de evidență a cheltuielilor etapei.

În sinteză, concluziile rezultate din fiecare activitate desfășurată sunt:

A4.1:

Analiza literaturii arată că există numeroase lucrări care se ocupă de panouri sandwich, în special panouri sandwich cu nano-umpluturi într-o matrice polimerică. Analiza a arătat că particulele nano TiO₂ (la concentrația potrivită) pot îmbunătăți sau varia proprietățile termice și mecanice ale compozitului matricei polimerice [4], [7], [8] și [10]. Alte nano-particule, cum ar fi nanoparticulele SiO₂, Al₂O₃ și Zn, pot fi utilizate pentru a îmbunătăți proprietățile structurilor sandwich. Acestea au fost utilizate pentru a consolida panourile din placaj compozit [6]. Exemplele prezentate sunt doar câteva lucrări posibile prezente în literatura de specialitate, care ar putea constitui un punct de plecare pentru construcția unei structuri sandwich pentru domeniul construcțiilor edilitare / civile.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

Din analiza brevetelor, o singură lucrare prezintă invenția unei structuri sandwich specifică construcțiilor [13], celelalte brevete se referă la construcția de structuri sandwich cu nano materiale care ar putea fi utilizate, cu unele modificări, în domeniul construcțiilor. Modificările ar putea fi legate de nano-umpluturi: în funcție de proprietatea care trebuie conferită nano-compozitului, trebuie identificate nano-umpluturile corespunzătoare și să fie evaluată sarcina optimă, a acestora, în matrice.

De exemplu, din lucrarea [15] am putea lua în considerare o substituie sau o integrare a nano-aluminiului cu alte nano particule, cum ar fi oxidul de zinc, acesta pentru a evalua proprietățile de auto-curățare a suprafelelor compuse.

Alte modificări se pot referi la utilizarea unor materiale pentru construcția structurii sandwich. De exemplu, din lucrarea [14] ne-am putea gândi la folosirea unei rășini epoxidice în loc de rășina de poliester vinil. Matricea epoxidică conferă performanțe mecanice mai bune decât poliesterul și decât esterul vinilic.

A4.2:

Din analiza stării tehnicii prezentată în alineatele anterioare, rezultă clar că prezența nano-umpluturilor într-o matrice polimerică conduce la îmbunătățirea sau modificarea proprietăților electrice, termice și mecanice în raport cu materialele de bază. Iată punctele principale ale analizei efectuate:

- Nano-umpluturile fiind de ordinul mărimii mai mici decât umpluturile pe scala micrometrului (acestea au dimensiuni similare cu cele ale fisurii critice, astfel încât pot provoca defecte precoce din material) pot preveni defectele precoce din materiale, ducând la nano-compozite cu ductilitate și rezistență îmbunătățite.
- Creșterea ariei interfațiale dintre lanțul polimer și nanofillere crește cantitatea de interacțiuni lanț/umplutură. Acest efect crește eficiența transferului de stres între matricea de umplere și matricea polimerică.
- Unele nano-fillere, cum ar fi grafenul, determină o îmbunătățire a rezistenței la fractură. În special, grafenul poate îmbunătăți semnificativ rezistența la fractură a nanocompozitelor epoxidice. Atunci când epoxidicul este consolidat cu grafen, foile carbonice blochează fisura și limitează progresul acesteia.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

- Conductivitatea termică a polimerilor a fost în mod tradițional îmbunătățită prin adăugarea de materiale de umplură termică, inclusiv grafit, negru de carbon, fibre de carbon, ceramică sau particule metalice.
- Îmbunătățirea conductivității termice și electrice în nano-compozite cu matrice polimerică depind de metoda de dispersie a nanofillerelor, de exemplu în lucrarea [23] îmbunătățirea maximă a fost observată în cazul agitației mecanice.
- Nu întotdeauna o valoare ridicată a conductivității termice sau electrice a materialelor de umplere (cel puțin teoretic) duce la o conductibilitate termică mai mare compozită, așa cum se arată în lucrare [13].
- Pentru a îmbunătăți proprietățile materialului de armare, nano umpluturile trebuie dispersate uniform.

În concluzie, prin adăugarea unei nano-umpluturi cu matrice polimerică, în rășină polimerică, este de așteptat să se îmbunătățească proprietățile materialului, în comparație cu materialul de bază. Aceste ipoteze vor fi verificate prin compararea testelor corespunzătoare pe eșantioanele în care polimerul este consolidat cu nano-umpluturi cu aceleași teste efectuate pe probe fără întărirea nano-umpluturii.

Testele vor fi efectuate de Universitatea din Patras (partenerul de proiect).

A4.3:

În acest document a fost prezentată mai întâi o scurtă privire de ansamblu asupra structurilor sandwich (deoarece literatura din acest domeniu este vastă, având în vedere numeroasele domenii de aplicare a structurii sandwich) și, ulterior, au fost descrise metodele de fabricare a probelor sandwich pentru panoul RECOMLABS. În mod particular, în document au fost descrise materialele și metodele de preparare a probelor. În total, au fost realizate 38 de probe, care au fost distribuite după cum urmează:

- 4 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: rășină epoxidică + fibră de cânepă + rășină epoxidică. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 850mm și lățime 50mm.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

- 4 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: rășină epoxidică + fibră de cânepă + rășină epoxidică. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 60mm și lățime 60mm.
- 5 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: bio-rășină epoxidică + fibră de cânepă + bio-rășină epoxidică. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 60mm și lățime 60mm.
- 5 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: bio-rășină epoxidică + fibră de cânepă + bio-rășină epoxidică. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 850mm și lățime 50mm.
- 5 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: bio-rășină epoxidică + fibră de cânepă + bio-rășină epoxidică + ranforsată. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 60 și lățime 60mm.
- 5 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: bio-rășină epoxidică + fibră de cânepă + bio-rășină epoxidică + ranforsată cu WO₃. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 60mm și lățime 60mm.
- 5 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: bio-rășină epoxidică + fibră de cânepă + bio-rășină epoxidică + ranforsată cu ZnO. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 850mm și lățime 50mm.
- 5 probe sandwich cu: nucleu EPS și foi de față compuse din: bio-rășină epoxidică + fibră de cânepă + bio-rășină epoxidică + ranforsată cu WO₃. Dimensiune: grosime 40mm, lungime 850mm și lățime 50mm.

Toate probele au fost trimise la Universitatea din Patras pentru teste relevante.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

Bibliografie

A4.1:

- [1] "Nano-Innovation in Construction, a New Era of Sustainability," in *International Academy of Engineers (IA-E) April 24-25, 2015 Pattaya (Thailand)*, 2015.
- [2] D. Bozsaky, "Special Thermal Insulation Methods of Building Constructions with Nanomaterials," *Acta Technica Jaurinensis*, vol. 9, pp. 29–41, Mar. 2016.
- [3] P. Rawat, A. Kumar, and A. Verma, "A REVIEW ON NANOTECHNOLOGY IN CIVIL ENGINEERING," 2015.
- [4] M. Keshavarz, S. M. Zebarjad, H. Daneshmanesh, and M. H. Moghim, "On the role of TiO₂ nanoparticles on thermal behavior of flexible polyurethane foam sandwich panels," *J Therm Anal Calorim*, vol. 127, no. 3, pp. 2037–2048, Mar. 2017.
- [5] N. Abuali Galehdari and A. Kelkar, "Characterization of Nanoparticle Enhanced Multifunctional Sandwich Composites Subjected to Space Radiation," 2016, p. V001T03A032.
- [6] Z. Candan and T. Akbulut, "Nano-engineered plywood panels: Performance properties," *Composites Part B: Engineering*, vol. 64, pp. 155–161, Aug. 2014.
- [7] H. Mahfuz, M. S. Islam, V. K. Rangari, M. C. Saha, and S. Jeelani, "Response of sandwich composites with nanophased cores under flexural loading," *Composites Part B: Engineering*, vol. 35, no. 6–8, pp. 543–550, Sep. 2004.
- [8] H. Mahfuz, M. F. Uddin, V. K. Rangari, M. C. Saha, S. Zainuddin, and S. Jeelani, "High Strain Rate Response of Sandwich Composites with Nanophased Cores," *Appl Compos Mater*, vol. 12, no. 3–4, pp. 193–211, May 2005.
- [9] A. F. Ávila, M. C. Andrade, E. C. Dias, and D. T. L. Cruz, "'NANOSANDWICH' STRUCTURES UNDER IMPACT LOADINGS," p. 10.
- [10] X. Liu *et al*, "The property and microstructure study of polyimide/nano-TiO₂ hybrid films with sandwich structures," *Thin Solid Films*, vol. 544, pp. 54–58, Oct. 2013.
- [11] P. Reis, P. Santos, J. A. M. Ferreira, and M. Richardson, "Impact response of sandwich composites with nano-enhanced epoxy resin," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 32, pp. 898–906, Jun. 2013.
- [12] W. Liang, Z. Duan, H. He, F. Wang, and Q. Liu, "Preparation process of three-dimensional glass fiber fabric reinforced epoxy resin sandwich composite material," CN107471686 (A), 15-Dec-2017.
- [13] Y. Qin, "High strength fireproof heat-isolating environment-friendly building panel and preparation method thereof," CN108948669 (A), 07-Dec-2018.
- [14] X. Meng *et al*, "Nano-glass fiber reinforced plastic panel material for electric power cabinet of electric power system," CN107556720 (A), 09-Jan-2018.
- [15] C. Jiming and L. Hua, "Nano aluminum composite panel," CN202248690 (U), 30-May-2012.
- [16] G. Ziegler, H. Jensen, and T. Reenberg, "Method of applying photocatalytic nanoparticles on wood fibre board panels," NZ600856 (A), 26-Jul-2013.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

- [17] H. Wang, "Nano foamed aluminum composite sandwich panel with gradient interface and preparation method thereof," CN106984818 (A), 28-Jul-2017.
- [18] A. D. Kelkar and G. N. Abuali, "Manufacturing Controlled Dispersion High Concentration Nanoparticles in Nanocomposites," US2019182996 (A1), 13-Jun-2019.
- [19] W. Huang, "Foam aluminum composite sandwich panel and preparation method thereof," CN105774134 (A), 20-Jul-2016.

A4.2:

- [1] K. Jiang, Lihong Cheng, Liaoying Zheng, Zheng Yao, Guorong Li, and Qingrui Yin, "The unique dielectric behaviour of nanosilica epoxy composites," in *2007 7th IEEE Conference on Nanotechnology (IEEE NANO)*, 2007, pp. 1101–1106.
- [2] E. Kasapo, "Polymer-based Building Materials: Effects of Quality on Durability," p. 8, 2008.
- [3] F. Hauptert, B. Wetzal, K. Friedrich, S. Fakirov, and Z. Zhang, "Reinforcement of Thermosetting Polymers by the Incorporation of Micro- and Nanoparticles," 2005, pp. 45–62.
- [4] L. S. Schadler, L. C. Brinson, and W. G. Sawyer, "Polymer nanocomposites: A small part of the story," *JOM*, vol. 59, no. 3, pp. 53–60, Mar. 2007.
- [5] A. D. de Oliveira and C. A. G. Beatrice, "Polymer Nanocomposites with Different Types of Nanofiller," *Nanocomposites - Recent Evolutions*, Dec. 2018.
- [6] A. J. Crosby and J. Lee, "Polymer Nanocomposites: The 'Nano' Effect on Mechanical Properties," *Polymer Reviews*, vol. 47, no. 2, pp. 217–229, Apr. 2007.
- [7] S. C. Tjong, "Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites," *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 53, no. 3–4, pp. 73–197, Aug. 2006.
- [8] S. Ahmed and F. R. Jones, "A review of particulate reinforcement theories for polymer composites," *J Mater Sci*, vol. 25, no. 12, pp. 4933–4942, Dec. 1990.
- [9] A. C. Balazs, T. Emrick, and T. P. Russell, "Nanoparticle Polymer Composites: Where Two Small Worlds Meet," *Science*, vol. 314, no. 5802, pp. 1107–1110, Nov. 2006.
- [10] A. Tsekmes, R. Kochetov, P. Morshuis, and J. J. Smit, "Thermal Conductivity of Polymeric Composites: A Review," presented at the Proceedings of IEEE International Conference on Solid Dielectrics, ICSD, 2013.
- [11] Z. Han and A. Fina, "Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review," *Progress in Polymer Science*, vol. 36, no. 7, pp. 914–944, Jul. 2011.
- [12] R. Kochetov, "Thermal and Electrical Properties of Nanocomposites, Including Material Properties," *Astrophysical Journal Letters - ASTROPHYS J LETT*, Jan. 2012.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

- [13] Z. Han, J. W. Wood, H. Herman, C. Zhang, and G. C. Stevens, "Thermal Properties of Composites Filled with Different Fillers," in *Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Vancouver, BC, 2008, pp. 497–501.
- [14] M. Choudhury, S. Mohanty, S. K. Nayak, and R. Aphale, "Preparation and Characterization of Electrically and Thermally Conductive Polymeric Nanocomposites," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 11, Jan. 2012.
- [15] W. Evans, R. Prasher, J. Fish, P. Meakin, P. Phelan, and P. Keblinski, "Effect of aggregation and interfacial thermal resistance on thermal conductivity of nanocomposites and colloidal nanofluids," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 51, no. 5–6, pp. 1431–1438, Mar. 2008.
- [16] M. R. Vengatesan and V. Mittal, "Nanoparticle- and Nanofiber-Based Polymer Nanocomposites: An Overview," in *Spherical and Fibrous Filler Composites*, V. Mittal, Ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2016, pp. 1–38.
- [17] R. Rajamanikam, P. Pichaimani, M. Kumar, and A. Muthukaruppan, "Optical and thermomechanical behavior of benzoxazine functionalized ZnO reinforced polybenzoxazine nanocomposites," *Polym. Compos.*, vol. 38, no. 9, pp. 1881–1889, Sep. 2017.
- [18] H.-Y. Jin, Y.-Q. Yang, L. Xu, and S.-E. Hou, "Effects of spherical silica on the properties of an epoxy resin system," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 121, no. 2, pp. 648–653, Jul. 2011.
- [19] R. K. Goyal and R. Sulakhe, "Study On Poly(vinylidene Fluoride)/nickel Composites With Low Percolation," *AML*, vol. 6, no. 4, pp. 309–317, Apr. 2015.
- [20] D. I. Tee, M. Mariatti, A. Azizan, C. H. See, and K. F. Chong, "Effect of silane-based coupling agent on the properties of silver nanoparticles filled epoxy composites," *Composites Science and Technology*, vol. 67, no. 11–12, pp. 2584–2591, Sep. 2007.
- [21] A. Thabet, Y. A. Mobarak, and M. Bakry, "A REVIEW OF NANO-FILLERS EFFECTS ON INDUSTRIAL POLYMERS AND THEIR CHARACTERISTICS," p. 27.
- [22] X. Xu, F. Liu, L. Jiang, J. Y. Zhu, D. Haagenson, and D. P. Wiesenborn, "Cellulose Nanocrystals vs. Cellulose Nanofibrils: A Comparative Study on Their Microstructures and Effects as Polymer Reinforcing Agents," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 6, Mar. 2013.
- [23] R. Atif, I. Shyha, and F. Inam, "Mechanical, Thermal, and Electrical Properties of Graphene-Epoxy Nanocomposites—A Review," *Polymers*, vol. 8, no. 8, p. 281, Aug. 2016.

A4.3:

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

- [1] D. G Vamja and G. Tejani, "ANALYSIS OF COMPOSITE MATERIAL (SANDWICH PANEL) FOR WEIGHT SAVING," *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 1, pp. 2012–2278, Dec. 2012.
- [2] V. D'Alessandro, G. Petrone, F. Franco, and S. De Rosa, "A review of the vibroacoustics of sandwich panels: Models and experiments," *Jnl of Sandwich Structures & Materials*, vol. 15, no. 5, pp. 541–582, Sep. 2013.
- [3] V. Birman and G. A. Kardomateas, "Review of current trends in research and applications of sandwich structures," *Composites Part B: Engineering*, vol. 142, pp. 221–240, Jun. 2018.
- [4] N. Z. M. Zaid, M. R. M. Rejab, and N. A. N. Mohamed, "Sandwich Structure Based On Corrugated-Nucleo: A Review," *MATEC Web Conf.*, vol. 74, p. 00029, 2016.
- [5] "Development of a Sandwich Material with Polypropylene/natural Fibre Skins and Paper Honeycomb Nucleo - Cerca con Google." .
- [6] V. N. Burlayenko and T. Sadowski, "Analysis of structural performance of sandwich plates with foam-filled aluminum hexagonal honeycomb nucleo," *Computational Materials Science*, vol. 45, no. 3, pp. 658–662, May 2009.
- [7] S. Dariushi and M. Sadighi, "A Study on Flexural Properties of Sandwich Structures with Fiber/Metal Laminate Face Sheets," *Appl Compos Mater*, vol. 20, no. 5, pp. 839–855, Oct. 2013.
- [8] A. Trombeva, M. Lazarevska, and M. Cvetkovska, "Experimental testing of composite sandwich panels with different face sheets," *Istrazivanja i projektovanja za privredu*, vol. 14, pp. 163–168, Jan. 2016.
- [9] J. Huang and L. J. Gibson, "Creep of Sandwich Beams with Polymer Foam Nucleos," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 171–182, Aug. 1990.
- [10] "Structural Insulated Panels: Past, Present, and Future." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/285913853_Structural_Insulated_Panels_Past_Present_and_Future.
- [11] A. Kermani and R. Hairstans, "Racking Performance of Structural Insulated Panels," *J. Struct. Eng.*, vol. 132, no. 11, pp. 1806–1812, Nov. 2006.
- [12] A. Manalo, T. Aravinthan, A. Fam, and B. Benmokrane, "State-of-the-Art Review on FRP Sandwich Systems for Lightweight Civil Infrastructure," *J. Compos. Constr.*, vol. 21, no. 1, p. 04016068, Feb. 2017.
- [13] K. Mak, A. Fam, and C. MacDougall, "Flexural Behavior of Sandwich Panels with Bio-FRP Skins Made of Flax Fibers and Epoxidized Pine-Oil Resin," *J. Compos. Constr.*, vol. 19, no. 6, p. 04015005, Dec. 2015.
- [14] N. H. Ramli Sulong, S. A. S. Mustapa, and M. K. Abdul Rashid, "Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: A review," *J Appl Polym Sci*, p. 47529, Jan. 2019.
- [15] B. Petter Jelle, "Nano-based thermal insulation for energy-efficient buildings," in *Start-Up Creation*, Elsevier, 2016, pp. 129–181.

Proiect: Materiale compozite armate în legătură cu sectoarele aeronautică și construcții - RECOMLABS
Etapa 4 - Efectuarea corecțiilor și definitivarea documentației de execuție a prototipului. Executarea, testarea în condiții reale și omologarea lotului prototip de panou inteligent și multifuncțional pentru pereti despărțitori de interior

- [16] A. Shahzad, "Hemp fiber and its composites – a review," *Journal of Composite Materials*, vol. 46, no. 8, pp. 973–986, Apr. 2012.
- [17] D. Dixit, R. Pal, G. Kapoor, and M. Stabenau, "Lightweight composite materials processing," in *Lightweight Ballistic Composites*, Elsevier, 2016, pp. 157–216.
- [18] J. L. Massingill and R. S. Bauer, "EPOXY RESINS," in *Applied Polymer Science: 21st Century*, Elsevier, 2000, pp. 393–424.
- [19] E. A. Baroncini, S. K. Yadav, G. R. Palmese, and J. F. Stanzione, "Recent advances in bio-based epoxy resins and bio-based epoxy curing agents," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 133, no. 45, 2016.

A4.4:

- [1] EOTA, *ETAG 003_ Internal partition kits for use as non load-bearing walls*. 2012.
- [2] ASTM International, C 297/C 297M – 04, "Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions." .
- [3] ASTM International, C 393 – 00, "Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions."