

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI**



CERCETĂRI PRIVIND EXTINDEREA CICLULUI DE VIAȚĂ A PRODUSELOR TEXTILE PRIN REALIZAREA UNOR NOI MATERIALE PENTRU CONSTRUCȚII

Andreea NISTORAC

**Conducător de doctorat :
prof. univ. dr. ing. Maria-Carmen Loghin**

IAȘI, 2024

“ CERCETĂRI PRIVIND EXTINDEREA CICLULUI DE VIAȚĂ A PRODUSELOR TEXTILE PRIN REALIZAREA UNOR NOI MATERIALE PENTRU CONSTRUCTII”

1. Conf.dr.ing.mat. Savin-Dorin IONESI, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași - președinte
2. Prof.dr.ing. Maria-Carmen LOGHIN, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași - conducător de doctorat
3. Prof.dr.ing. Gheorghe MILITARU, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București - referent oficial
4. Prof.dr.ing.ec. Ionel BARBU, Universitatea "Aurel Vlaicu" din Arad - referent oficial
5. Conf.dr.ing. Irina IONESCU, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași - referent oficial

RECTOR,
Prof.dr.ing.Dan CAȘCAVAL

*pentru sustinerile online se va preciza link-ul și soluția de software

CERCETĂRI PRIVIND EXTINDEREA CICLULUI DE VIAȚĂ A PRODUSELOR TEXTILE PRIN REALIZAREA UNOR NOI MATERIALE PENTRU CONSTRUCȚII

Andreea NISTORAC

Domeniul Inginerie Industrială

Președinte comisie doctorat:

Conf. dr. ing. mat. Savin-Dorin IONESI

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. ing. Maria-Carmen LOGHIN

Referenți oficiali:

Prof. dr. ing. Gheorghe MILITARU

Prof. dr. ing. ec. Ionel BARBU

Conf. dr. ing. Irina IONESCU

IAȘI, 2024

CUPRINS

INTRODUCERE	5
FUNDAMENTUL ȘI TRASEUL STRATEGIC AL CERCETĂRII	5
CAPITOLUL 1	12
STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII TEHNICE ÎN DOMENIU	12
1.1. Conceptul de economie circulară	12
1.2. Producția și consumul de textile	12
1.3. Deșeurile textile	13
1.4. Reciclarea și reutilizarea deșeurilor textile	13
1.4.1 Tendințe în valorificarea deșeurilor textile	13
1.4.2 Deșeurile textile și produsele izolatoare existente	14
1.5. Cerințe legislative și directive privind construcția clădirilor	15
1.5.1 Eficiența energetică a clădirilor	15
1.5.2 Aplicarea principiilor de economie circulară în construcții	16
1.6. Textile reciclate și potențialul lor în construcții	16
1.7. Deșeuri textile utilizabile în construcții	16
1.8. Dezvoltarea de noi materiale pentru construcții din produse textile reciclate	17
1.9. Evaluarea performanței materialelor pentru construcții din produse textile reciclate	17
CAPITOLUL 2	18
STUDII PRELIMINARE PENTRU OBTINEREA UNUI MATERIAL INOVATOR DIN DEȘEURI TEXTILE PENTRU IZOLAȚIA TERMICĂ A CLĂDIRILOR	18
2.1. Contextul favorabil și oportun realizării unui material nou din deșeuri textile cu destinație de utilizare în sectorul construcțiilor	18
2.2. Cercetarea preliminară și alegerea materiilor prime	19
2.3. Planificarea realizării probelor preliminare	19
2.3.1 Proiectarea probelor: dimensionare și componență	19
2.3.2 Proiectarea rețetei de amestec format din deșeuri textile și granule de EPS	20
2.3.3 Procesul de supunere la degradare termică: alegerea temperaturii și a timpului de expunere	21
2.4. Realizarea și analiza variantelor de cercetare preliminară	22
2.4.1 Varianta de cercetare stratificată	22
2.4.2 Varianta de cercetare în amestec	23
2.4.3 Studiarea conductivității termice a probelor analizate	24

CAPITOLUL 3.....	26
PLANIFICAREA EXPERIMENTALĂ ȘI CERCETĂRI PRIVIND NOI MATERIALE REALIZATE CU DEȘEURI TEXTILE PENTRU IZOLAȚIA TERMICĂ A CLĂDIRILOR	26
3.1.1 Definirea variabilelor	26
3.1.2 Planificarea și alegerea experimentelor	27
3.2. Obținerea plăcilor TermoTex prin termopresare.....	27
3.3. Determinarea proprietăților variantelor experimentale	28
3.3.1 Coeficientul de conductivitate termică	28
3.3.2 Higroscopicitatea epruvetelor studiate	30
3.3.3 Densitatea aparentă a epruvetelor studiate.....	32
3.4. Analiza parametrilor de performanță și răspunsurilor din analiza Taguchi.....	34
3.5. Influența panourilor izolatoare TermoTEX asupra rezistenței termice a pereților.....	35
3.5.1 Materiale și metodologia utilizată	35
3.6. Analiza comparativă.....	35
CAPITOLUL 4.....	37
EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI AL MATERIALELOR REALIZATE DIN DEȘEURI TEXTILE ȘI POLISTIREN UTILIZATE PENTRU TERMOIZOLAȚIA CLĂDIRILOR.....	37
4.1. Caracterizarea produsului studiat: panouri TermoTEX	37
4.1.1 Caracteristicile unității funcționale	37
4.2. Evaluarea impactului asupra mediului.....	38
4.2.1 Dezvoltarea modelului experimental	38
4.2.2 Rezultate obținute cu metoda IPCC	39
4.3. Identificarea punctelor critice.....	39
4.4. Analiză comparativă între unitatea funcțională și polistirenul expandat	41
4.4.1 Comparație prin metoda ReCiPe.....	42
4.4.2 Concluzii și recomandări de îmbunătățire	43
CAPITOLUL 5.....	44
CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII. VALORIFICAREA REZULTATELOR	44
5.1. Concluzii generale	44
5.2. Contribuții personale.....	52
5.3. Limitările cercetării.....	56
5.4. Direcții viitoare de cercetare	57
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	58

INTRODUCERE

FUNDAMENTUL ȘI TRASEUL STRATEGIC AL CERCETĂRII

Industria textilă este una dintre cele mai mari surse de poluare la nivel global, generând milioane de tone de deșeuri textile anual. Aceste deșeuri, în mare parte, nu sunt gestionate corespunzător, fiind fie incinerate, fie trimise la depozitele de gunoi. Industria textilă contribuie în mod semnificativ la poluarea mediului prin acumularea rapidă de produse textile uzate și resurse naturale intens exploatate. Această situație a generat nevoia de a găsi soluții inovatoare pentru gestionarea eficientă a deșeurilor textile.

În același timp, industria construcțiilor este un alt sector cu un impact semnificativ asupra mediului, consumând resurse naturale, la nivel global, într-un ritm accelerat și contribuind la emisiile de gaze cu efect de seră, în special prin utilizarea materialelor de construcție tradiționale, precum cimentul, cărămida, betonul celular autoclavizat (BCA), polistirenul sau vata minerală.

Există, așadar, o *nevoie urgentă* de a găsi soluții sustenabile care să răspundă acestor două mari probleme: gestionarea deșeurilor textile și reducerea impactului negativ al materialelor de construcții asupra mediului.

Tema cercetării propune extinderea ciclului de viață al materialelor textile prin reciclarea și reutilizarea acestora în construcții, cu scopul de a crea noi materiale pentru izolarea termică a clădirilor. Această soluție contribuie nu doar la gestionarea eficientă a deșeurilor textile, dar și la dezvoltarea unor materiale sustenabile care să îmbunătățească performanța energetică a clădirilor, oferind astfel o alternativă viabilă la materialele tradiționale. Economia circulară este o prioritate globală, iar extinderea ciclului de viață al produselor textile se aliniază cu această tendință. Transformarea deșeurilor textile în materiale pentru construcții sprijină tranziția către un model economic circular. Prin extinderea ciclului de viață al acestor

materiale, cercetarea propune o soluție inovatoare pentru reducerea cantității de deșeuri textile care ajung la gropile de gunoi sau sunt incinerate.

Necesitatea și oportunitatea temei sunt evidențiate de impactul negativ al industriei textile la nivel european și global, în contextul provocărilor economice și de mediu actuale:

- Industria textilă este o sursă majoră de deșeuri cu scenarii principale de sfârșit de viață fie depozitul de deșeuri, fie incinerarea, procese cu un impact sever asupra mediului, contribuind semnificativ la creșterea nivelului de poluare și la consumul intensiv de resurse naturale.

- Probabilitatea unei crize a deșeurilor textile: În Europa, 5,8 milioane de tone de textile sunt aruncate de consumatori în fiecare an, din care doar 1,5 milioane de tone (25%) sunt reciclate. Odată cu noile reglementări de colectare selectivă a produselor de îmbrăcăminte și a textilelor de uz casnic, cantitatea de deșeuri va crește exponențial.

- Strategia UE pentru neutralitatea climatică subliniază că este esențial ca industriile, inclusiv cea textilă și sectorul de construcții, să contribuie la reducerea consumului de resurse și la reutilizarea materialelor.

- Conform datelor Comisiei Europene, în contextul directivei privind economia circulară și Pactul Verde European, industria construcțiilor este responsabilă pentru aproximativ 40% din consumul de energie al UE și 36% din emisiile de gaze cu efect de seră legate de energie

Pe baza acestui context și a nevoilor urgente identificate, **problema de cercetare** constă în găsirea unor soluții inovatoare și sustenabile pentru reciclarea deșeurilor textile, transformându-le în produse utilizabile în construcții, cu scopul de a prelungi ciclul de viață al acestora și de a reduce impactul negativ asupra mediului.

Studiul literaturii de specialitate a ajutat la alegerea direcției de cercetare și anume utilizarea materialelor textile pentru izolarea termică a clădirilor, dar a evidențiat aspectul unilateral al cercetărilor experimentale curente, respectiv utilizarea de adezivi, în special rășini, pentru formarea unor plăci complet rigide din anumite materiale textile tocate sau defibrate. **Provocarea** a constat în găsirea unui liant care să aducă plus valoare unui nou material, atât din punct de vedere al procesului de realizare, cât în special din punct de vedere a reducerii amprente totale de carbon. Utilizarea ca matrice a deșeurilor de polistiren expandat tocat a fuzionat pe toate principiile și nevoile menționate anterior pentru realizarea unui material inovator, cu proprietăți de termoizolare concurențială cu produsele existente pe piață și care să vină în ajutorul soluționării aglomerării de deșeuri atât din industria textilă, cât și din sectorul construcțiilor.

Argumentele care susțin alegerea temei și direcția cercetării pentru extinderea ciclului de viață a materialelor textile în sectorul construcțiilor sunt:

- Reducerea poluării prin reciclarea și reutilizarea deșeurilor textile în construcții, cercetarea propune o soluție inovatoare pentru reducerea cantității de deșeuri;
- Reducerea consumului de resurse naturale prin utilizarea textilelor reciclate în locul materialelor tradiționale de construcție;
- Susținerea principiilor de economie circulară, în care materialele sunt folosite la capacitate maximă, iar deșeurile sunt reutilizate, reparate și reciclate, promovând un consum sustenabil;
- Crearea de noi oportunități economice prin valorificarea deșeurilor textile în industria construcțiilor, care poate dezvolta o nouă ramură industrială, să genereze locuri de muncă și să stimuleze inovația tehnologică în domeniul reciclării și al materialelor sustenabile;
- Dezvoltarea de tehnologii simplificate de reciclare, cum ar fi eliminarea procesului de sortare a deșeurilor textile;
- Performanțe tehnice îmbunătățite, materialele rezultate din textile reciclate având potențialul de a oferi performanțe similare sau chiar superioare materialelor tradiționale în ceea ce privește izolația termică, oferind totodată beneficii suplimentare din punct de vedere al sustenabilității.
- Cercetarea se aliniază cu politicile și directivele europene care încurajează tranziția către o economie circulară, reducerea emisiilor de carbon și utilizarea materialelor sustenabile în construcții.

Obiectivul general al tezei este reprezentat de dezvoltarea și testarea unor noi materiale de construcții obținute din textile reciclate, cu scopul de a extinde ciclul de viață al produselor textile și de a contribui la reducerea deșeurilor. Pentru atingerea acestui obiectiv, s-a investigat impactul deșeurilor textile asupra mediului în contextul unei economii circulare, s-a realizat o analiză a tehnologiilor de reciclare existente în literatură, s-au aplicat metode experimentale pentru evaluarea proprietăților termoizolante ale materialelor dezvoltate și s-au testat performanțele acestora comparativ cu materialele tradiționale utilizate în construcții, pentru a demonstra viabilitatea și eficiența utilizării textilelor reciclate în acest domeniu. Așadar, s-a urmărit crearea de materiale eficiente din punct de vedere termoizolant, capabile să concureze cu materialele convenționale (polistiren, vată minerală) prin utilizarea

materialelor textilelor reciclate, contribuind la reducerea cantității de deșeuri, a consumului de resurse naturale și a impactului asupra mediului.

Pentru realizarea obiectivului general, au fost definite **obiective specifice** (OS), în concordanță cu demersul de cercetare și cu structura tezei de doctorat:

- **OS1: Analiza literaturii de specialitate** privind gestionarea deșeurilor textile și utilizarea acestora în construcții, pentru a crea o imagine de ansamblu asupra provocărilor actuale din domeniul reciclării textilelor și impactul acestora asupra mediului. Acest obiectiv include raportarea la directivele și politicile europene și internaționale legate de economia circulară și sustenabilitatea în construcții. Pentru atingerea OS1 a fost elaborat Capitolul 1.
- **OS2: Dezvoltarea și testarea materialelor de construcții obținute din textile reciclate**, pentru a evalua performanțele lor termoizolante și a le compara cu materialele tradiționale utilizate în industrie, cum ar fi polistirenul. Testele experimentale s-au concentrat pe proprietățile fizice și mecanice ale materialelor reciclate. Pentru atingerea OS2 s-au elaborat Capitolele 2 și 3.
- **OS3: Optimizarea procesului de realizare** și integrarea metodei Taguchi în cadrul cercetării experimentale, pentru a identifica cei mai relevanți factori care influențează performanța materialelor obținute din deșeuri textile și a optimiza parametrii de producție. Validarea rezultatelor s-a realizat prin analiză statistică. Pentru atingerea OS3 s-a elaborat Capitolul 3.
- **OS4: Evaluarea impactului asupra mediului** al materialului nou dezvoltat, utilizând metodologia de evaluare a ciclului de viață pentru a compara materialele din textile reciclate cu alternativele convenționale și a stabili beneficiile ecologice ale utilizării acestora în construcții. Acest obiectiv s-a concretizat în Capitolul 4.

Pentru atingerea obiectivelor stabilite, cercetarea a urmat un **demers experimental** bine structurat, împărțit în mai multe etape:

- Studiul preliminar al materialelor disponibile și alegerea materiilor prime, constând din deșeuri textile post-industriale și deșeuri de polistiren expandat;
- Proiectarea și testarea probelor preliminare pentru a verifica măsura în care acestea se pretează pentru destinația de izolație termică a clădirilor;
- Planificarea și realizarea probelor experimentale utilizând metoda de proiectare experimentală Taguchi, pentru a identifica parametrii optimi de realizare;

- Testarea proprietăților termoizolante ale materialelor obținute și evaluarea densității, conductivității termice și higroscopicității acestora;
- Evaluarea impactului asupra mediului prin aplicarea metodei LCA, comparând materialele reciclate cu polistirenul expandat tradițional;
- Analiza și interpretarea rezultatelor pentru a propune soluții viabile de utilizare a materialelor reciclate în construcții.

Demersul de cercetare al tezei de doctorat este prezentat în Figura 1.

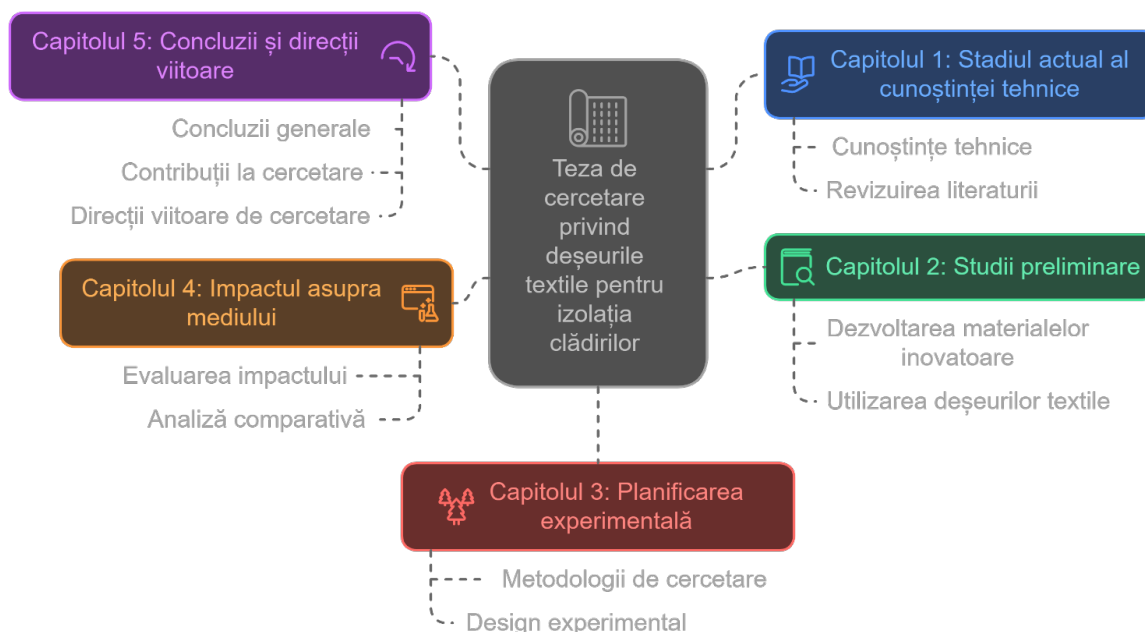


Figura 1 - Demersul de cercetare

Teza de cercetare doctorală este structurată în introducere, patru capitole cu obiective de cercetare, un capitol de concluzii generale, contribuții personale aduse la rezolvarea temei și direcții de cercetare viitoare, și bibliografie. Teza are un format de 204 pagini, conține 62 figuri și 107 tabele. Bibliografia face referință la 180 de trimiteri bibliografice de importanță actuală.

INTRODUCEREA - FUNDAMENTUL ȘI TRASEUL STRATEGIC AL CERCETĂRII descrie tema centrală a tezei – studiarea aprofundată a extinderii ciclului de viață al produselor textile prin realizarea unor noi materiale pentru construcții – cu argumentarea necesității și oportunității cercetării prin raportarea la provocările actuale de mediu. Sunt formulate obiectivul general al tezei și obiectivele specifice și modul în care acestea sunt atinse.

CAPITOLUL 1 - STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII TEHNICE ÎN DOMENIU are rolul de a crea o privire de ansamblu asupra contextului de desfășurare a cercetării din teza

de doctorat, fundamentarea teoretică a părții de cercetare și definirea traseului de abordare a extinderii ciclului de viață al produselor textile. Sunt punctate:

- situația actuală a deșeurilor textile și impactul acestora asupra mediului;
- abordările economiei circulare la nivel european și național;
- metodele actuale de reciclare și reutilizare a textilelor;
- utilizarea materialelor reciclate în industria construcțiilor.

CAPITOLUL 2 – STUDII PRELIMINARE PENTRU OBTINEREA UNUI MATERIAL INOVATOR DIN DEȘEURI TEXTILE PENTRU IZOLAȚIA TERMICĂ A CLĂDIRILOR are ca obiectiv identificarea unor combinații de materiale și modalitatea de dispunere a acestora pentru realizarea unor plăci termoizolante din textile reciclate. Metodologia de cercetare adoptată este de tip experimental. Probele au fost supuse la teste de conductivitate termică, iar rezultatele au fost analizate pentru a valida continuarea experimentării pentru a optimiza performanțele materialelor obținute.

CAPITOLUL 3 - PLANIFICAREA EXPERIMENTALĂ ȘI CERCETĂRI PRIVIND NOI MATERIALE REALIZATE CU DEȘEURI TEXTILE PENTRU IZOLAȚIA TERMICĂ A CLĂDIRILOR are ca obiectiv optimizarea procesului de producție a materialelor termoizolante din textile reciclate. Metoda Taguchi a fost utilizată pentru a evalua și ajusta parametrii de producție, cum ar fi temperatura și timpul de expunere termică, pentru a analiza performanța materialelor. Rezultatele experimentale au fost analizate statistic pentru a valida eficiența metodei și pentru a identifica varianta optimă. Cercetarea a implicat:

- Folosind metoda Taguchi, s-a realizat o analiză factorială a procesului de producție, cu scopul de a optimiza variabilele critice și de a reduce variația rezultatelor.
- Testarea proprietăților fizice: densitate aparentă, conductivitate termică, capacitatea de absorbție a umidității;
- Probele experimentale au fost realizate utilizând diverse combinații de factori de influență: timp de expunere, temperatură, procent de amestec;
- Rezultatele experimentale au fost validate prin analiza statistică pentru a confirma eficiența materialelor dezvoltate și a optimiza procesul de reciclare.

CAPITOLUL 4 – EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI AL MATERIALELOR REALIZATE DIN DEȘEURI TEXTILE ȘI POLISTIREN UTILIZATE PENTRU TERMOIZOLAȚIA CLĂDIRILOR prezintă evaluarea impactului ecologic al materialelor

obținute din textile reciclate, comparativ cu materialele convenționale, utilizând Metodologia Life Cycle Assessment (LCA). Studiul a punctat pe parcursul capitolului:

- Etapele ciclului de viață au inclus aprovizionarea, realizarea și eliminarea materialelor, identificându-se avantajele ecologice ale reciclării materialului inovator și reintroducerea într-un scenariu favorabil de nou ciclu de viață;
- Analiza a folosit atât metodologia IPCC pentru evidențierea impactului asupra mediului, cât și ReCiPe pentru a aduce în discuție și alți parametri relevanți cum ar fi toxicitatea cancerigenă și non cancerigenă;
- Materialul din textile reciclate a fost comparat cu alternativa tradițională – polistirenul expandat, pentru a stabili contribuția la reducerea emisiilor și a consumului de resurse naturale.

CAPITOLUL 5 - CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII. VALORIFICAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE expune principalele concluzii ale cercetării. Principalele contribuții includ dezvoltarea unor materiale sustenabile pentru construcții din textile reciclate, optimizarea procesului de producție și evaluarea impactului asupra mediului prin metodologia LCA. Contribuțiile cercetării includ:

- Crearea unor noi materiale de construcție termoizolante din textile reciclate.
- Optimizarea procesului de producție folosind metoda Taguchi.
- Reducerea impactului ecologic prin utilizarea materialelor reciclate în locul celor convenționale.

Se propun direcții viitoare de cercetare care includ extinderea testelor pe noi combinații de materiale și explorarea aplicabilității acestora în diverse domenii ale construcțiilor.

Rezultatele cercetării doctorale au fost difuzate prin publicarea a 12 articole științifice, dintre care 4 au fost incluse în reviste indexate în WoS, cu factor de impact și prin participarea și susținerea de prezentări la 10 conferințe naționale și internaționale. Trei articole au fost publicate în revista Sustainability, iar altul în revista Buildings. De asemenea, 4 articole au fost prezentate și publicate în cadrul conferințelor indexate în WoS, unde autorul a susținut prezentările respective, pe lângă alte 7 prezentări susținute la conferințe naționale și internaționale, iar alte 2 articole au fost publicate în reviste de specialitate a BIP Iași.

Adițional, autorul a făcut parte din echipele de cercetare ale proiectelor universitare ale TUIASI Compete 2.0. și EFECON și face parte din echipe de autori care au depus 3 cereri de brevet, două la nivel național (OSIM) și una la nivel european (EPO) și au câștigat medalia de argint la salonul de invenție EUROINVENT 2023.

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII TEHNICE ÎN DOMENIU

1.1. Conceptul de economie circulară

Economia circulară reprezintă un model economic inovator, care urmărește să transforme modul în care resursele sunt utilizate și gestionate în economie. Printre principiile economiei circulare se numără reducerea risipei de resurse și utilizarea de resurse naturale printr-un consum responsabil și prin valorificarea materialelor reziduale, extinderea duratei de viață a produselor și promovarea designului durabil care facilitează repararea și modernizarea produselor, reciclarea și regenerarea prin reintroducerea materialelor la ciclul economic prin și promovarea modelelor de afaceri durabile (Avadanei, 2021; Nistorac, 2024).

Acest concept devine din ce în ce mai important într-un context global în care resursele naturale sunt limitate (Fu, 2020), iar deșeurile și poluarea continuă să crească, subliniind nevoia urgentă de tranziție de la modelul liniar la cel circular .

1.2. Producția și consumul de textile

Dimensiunea pieței mondiale a textilelor a fost evaluată la 1599.1 miliarde Euro în 2022 și se anticipează că va crește cu o rată anuală compusă de creștere (CAGR) de 7,0% din 2023 până în 2030 (GVR, 2023). Creșterea cererii de îmbrăcăminte din industria modei, împreună cu creșterea platformelor de comerț electronic, este de așteptat să impulsioneze creșterea pieței (Nordås, 2004).

Bumbacul deține o cotă semnificativă pe piața industriei textile datorită proprietăților sale fizice superioare, precum textura moale, confortul și respirabilitatea, care îl fac ideal pentru articolele de îmbrăcăminte. Disponibilitatea globală a bumbacului, cultivat în multe regiuni ale lumii, asigură o ofertă constantă și variată pe piață, fiind perceput ca un material natural, ceea ce îl face atractiv pentru consumatorii care caută opțiuni ecologice. Din nefericire însă, acesta utilizează aproximativ 16% din cererea de pesticide și 7% din cererea de erbicide (Eder-Hansen et al., 2017), având un impact negativ semnificativ asupra mediului încă din etape de cultivare.

1.3. Deșeurile textile

Preocuparea în ultimele decenii față de degradarea mediului a crescut exponențial (Toprak, 2017), culminând de când au apărut strategii specifice pentru depășirea schimbărilor climatice, cum ar fi Pactul Verde European (2019-2020). Industria textilă este unul dintre cele mai importante sectoare ale economiei globale, atingând o producție de fibre de 53 milioane de tone la nivel mondial, aflată în continuă creștere, strâns legată de generarea de milioane de tone de deșuri textile la nivel mondial, adăugând impact negativ asupra mediului, inclusiv gaze cu efect de seră, cu o generare de 17 tone de dioxid de carbon la 1 tonă de producție textilă și o rată generală de reciclare de 12% (Textile Recycling Association, 2021).

Directivele și reglementările privind eliminarea materialelor reziduale au fost deja stabilite în UE, în ceea ce privește eliminarea gropilor de gunoi, incinerarea deșeurilor și dezvoltarea unor sisteme mai durabile de gestionare a deșeurilor, care se concentrează atât pe protecția mediului, cât și pe reutilizarea deșeurilor textile (Directiva - cadru a deșeurilor, 2008; Harsha, 2021).

1.4. Reciclarea și reutilizarea deșeurilor textile

1.4.1 Tendințe în valorificarea deșeurilor textile

Reciclarea este procesul de transformare a materialelor scoase din uz sau aflate la sfârșitul ciclului de viață, în produse noi. În cele mai multe cazuri, reciclarea implică un amestec de procese mecanice, chimice și termice (Fernandez, 2017).

Reutilizarea este cea mai simplă strategie: implică reutilizarea produselor în sine, permițându-le să-și prelungească ciclul de viață, vizând noi utilizări, consumatori și piețe (Ben-

Eli, 2018). Reutilizarea produselor textile se referă la diferite modalități de prelungire a duratei de viață utilă, cu sau fără modificare prealabilă, și transferarea acesteia către un nou proprietar. Această metodă necesită un consum redus de energie, deoarece nu necesită resurse speciale și este de obicei limitată la colectare și revânzare.

În ceea ce privește **impactul asupra mediului**, cercetările arată că reutilizarea deșeurilor textile este mai puțin poluantă decât reciclarea, deoarece implică prelungirea duratei de viață a textilelor prin transferul acestora către noi proprietari. (Schmidt et al., 2016; Zamani et al., 2015). Atât deșeurile pre-consum, cât și post-consum, disponibile în special din deșeurile aferente sectorului de modă și îmbrăcăminte, sunt dificil de reciclat.

1.4.2 Deșeurile textile și produsele izolatoare existente

Studiile din literatura de specialitate (Islam, 2019; Sukigara, 2003) au cercetat proprietățile de izolare termică atât ale deșeurilor textile, cât și ale materialelor izolatoare comerciale. Pentru a face comparația mai precisă, au fost înregistrate măsurători ale grosimii și densității materialelor pe lângă conductivitatea termică a acestora. O prezentare sintetică a proprietăților relevante sunt prezentate în Tabelul 1.1. și Tabelul 1.2.

Tabel 1.1 Media proprietăților de izolare termică a deșeurilor textile

	<i>Grosime</i> (m)	<i>Densitate</i> (kg/m ²)	<i>Conductivitate termică</i> (W/mK)
Poliester reciclat	0.016	62.5	0.035
Deșeuri de lână (covoare)	0.030	45	0.0325
Bumbac reciclat		35	0.0415
Deșeuri acrilice (filare)		14.571	0.046

Tabel 1.2 Media proprietăților de izolare termică a materialelor izolatoare din date comerciale

	<i>Grosime</i> (m)	<i>Densitate</i> (kg/m ²)	<i>Conductivitate termică</i> (W/mK)
Spuma poliuretanică		45	0.0235
Vată de sticlă	0.025	92.5	0.040
Vată minerală		35	0.0425
Vată bazaltică		140	0.030

Deșeurile de poliester și lână au proprietăți termice mai bune decât sticla și vata minerală utilizate în prezent. Bumbacul reciclat prezintă o conductivitate termică crescută față de vata minerală, având și aceeași densitate.

Conform valorilor găsite în cercetările academice (mai puțin de 0,07 W/mK), toate deșeurile textile au proprietăți izolante puternice (Lakatos, 2014). Din perspectiva ecologică europeană (mai puțin de 0,044 W/mK), deșeurile de lână, poliesterul reciclat și bumbacul reciclat au conductivitatea termică a unui produs verde termoizolant (Nistorac, 2023a).

1.5. Cerințe legislative și directive privind construcția clădirilor

Ca parte a Pactului ecologic european, Comisia și-a prezentat strategia valului de renovare (EC, 2020) în octombrie 2020. Are un plan de acțiune care include măsuri specifice de reglementare, financiare și alte măsuri de sprijin pentru a accelera renovarea clădirilor. Acesta își propune să încurajeze renovarea extensivă și cel puțin să dubleze rata anuală de renovare energetică a clădirilor până în 2030.. Propunerea Comisiei dorește să contribuie la atingerea obiectivului de reducere a emisiilor cu cel puțin 60% în sectorul construcțiilor până în 2030 în comparație cu 2015 și la atingerea neutralității climatice până în 2050, pentru a se asigura că și clădirile sunt pregătite pentru ambiția sporită în materie de climă, care a fost prezentată în Planul-țintă climatic pentru 2030 (EC, 2020).

1.5.1 Eficiența energetică a clădirilor

Clădirile au nevoie de multă energie pentru a menține locuitorii confortabili, pentru prepararea apei calde menajere, încălzirea spațiilor, ventilația, aerul condiționat și răcirea, precum și alimentarea cu energie pentru lumini și alte echipamente casnice. Planificarea eficientă a clădirii în etapa de construcție a devenit recent mai importantă. Aceasta include planificarea pentru proiectare ecologică, orientarea clădirii, cea mai bună modalitate de a utiliza sistemele de plante verzi pentru acoperișul și fațada clădirii, utilizarea umbririi, iluminatului natural și ventilației în secțiune transversală și alți factori (Bianchi, 2022).

Codurile moderne de construcție specifică nevoile sistemelor de inginerie structurală și limitează performanța termică a anvelopei clădirii. Un accent este protecția termică pentru îmbunătățirea anvelopei clădirii prin izolarea termică (Klein, 2020).

1.5.2 Aplicarea principiilor de economie circulară în construcții

Aplicarea principiilor economiei circulare în sectorul construcțiilor se concentrează pe crearea unui sistem mai sustenabil și eficient din punct de vedere al utilizării resurselor (Kaczmarek, 2019):

- Proiectarea durabilă: Crearea clădirilor și infrastructurii pentru a avea o durată de viață mai lungă, cu posibilitatea de a fi reparate sau modernizate ușor.
- Reutilizarea materialelor: Reciclarea materialelor de construcție, cum ar fi betonul, oțelul și lemnul, pentru a preveni eliminarea prematură și pentru a reduce cererea de resurse.
- Reducerea deșeurilor: Planificarea unor metode de gestionare a deșeurilor care includ reducerea, reutilizarea și reciclarea materialelor provenite din demolări sau renovări.

1.6. Textile reciclate și potențialul lor în construcții

Textilele reciclate pot fi transformate într-o gamă diversă de materiale utile în construcții (Nistorac, 2023b). Materialele textile reciclate pot fi transformate în diverse produse utilizabile în construcții, inclusiv în ranforsare (Amann, 2023), contribuind astfel la dezvoltarea proiectelor sustenabile și economisirea resurselor: izolația din fibre textile reciclate, panouri compozite din textile reciclate, cărămizi din textile reciclate, plăci acustice din fibre textile reciclate, geotextile reciclate

Așadar, materialele textile pot fi utilizate în construcții cu rol de rezistență sub formă de plăci, blocuri sau element liniare, cu rol de izolație termică (bumbac, lână, cânepă, poliesteri, acril, nailon, polipropilene) fie sub formă de panouri sau păături izolante (Sedlmajer, 2015), fie sub formă de materiale izolatoare termic și cu rol de izolație fonică.

1.7. Deșeuri textile utilizabile în construcții

Utilizarea produselor textile reciclate în obținerea unor materiale pentru construcții este o modalitate de a reduce impactul negativ al industriei textile asupra mediului (Băr, 2022). Materialele pentru construcții din produse textile reciclate sunt mai ieftine, mai ușoare și mai eficiente din punct de vedere energetic decât materialele pentru construcții tradiționale. În plus, aceste materiale sunt mai sustenabile, deoarece sunt fabricate din materiale reciclate (Kamble, 2021).

1.8. Dezvoltarea de noi materiale pentru construcții din produse textile reciclate

Materialele pentru construcții din produse textile reciclate pot fi mai ieftine, mai ușoare și mai eficiente din punct de vedere energetic decât materialele pentru construcții tradiționale (Asdrubali, 2015). De asemenea, aceste materiale pot fi mai durabile și mai rezistente la intemperii decât materialele pentru construcții tradiționale. În ultimii ani, au fost dezvoltate o serie de noi materiale pentru construcții din produse textile reciclate. Aceste materiale au o serie de avantaje, inclusiv:

- Sunt mai durabile decât materialele tradiționale pentru construcții.
- Sunt eficiente din punct de vedere energetic.
- Sunt mai accesibile din punct de vedere al costului.

1.9. Evaluarea performanței materialelor pentru construcții din produse textile reciclate

Evaluarea performanței materialelor pentru construcții din produse textile reciclate este o sarcină complexă (Velosa, 2012), care implică o serie de factori, inclusiv:

- Proprietățile fizice ale materialului: Acestea includ proprietăți precum rezistența la tracțiune, rezistența la compresiune, densitatea, conductivitatea termică și impermeabilitatea. Studiarea proprietăților de izolare termică (Ricciu, 2018) reprezintă un potențial deosebit pentru utilizarea acestora pentru izolarea termică a clădirilor.
- Proprietățile chimice ale materialului: Acestea includ proprietăți precum rezistența la agenții chimici, rezistența la foc și durabilitatea.
- Costul materialului: Acest factor este important pentru a determina dacă materialul este fezabil din punct de vedere economic.
- Disponibilitatea materialului: Acest factor este important pentru a determina dacă materialul este disponibil pe piață în cantități suficiente.
- Impactul asupra mediului: Acest factor este important pentru a determina dacă materialul are un impact negativ asupra mediului în timpul producției, utilizării și reciclării, așadar se poate discuta despre necesitatea calculării amprente de carbon.

CAPITOLUL 2

STUDII PRELIMINARE PENTRU OBȚINEREA UNUI MATERIAL INOVATOR DIN DEȘEURI TEXTILE PENTRU IZOLAȚIA TERMICĂ A CLĂDIRILOR

2.1. Contextul favorabil și oportun realizării unui material nou din deșeuri textile cu destinație de utilizare în sectorul construcțiilor

Dezvoltarea unui material nou de izolație termică pentru clădiri, bazat pe deșeuri de textile și polistiren expandat, reprezintă o oportunitate semnificativă pentru îmbunătățirea eficienței energetice și protejarea mediului. Acest tip de material combină două surse de deșeuri care, prin reciclare și procesare, pot deveni resurse valoroase pentru industria construcțiilor.

Un aspect major al acestui studiu este contribuția sa la sustenabilitate. Într-o eră în care reciclarea și gestionarea deșeurilor sunt priorități globale (Patti, 2021), dezvoltarea unui material de izolație din deșeuri textile și polistiren expandat ajută la reducerea cantității de deșeuri care ajung în gropile de gunoi.

Elementul de noutate propus este utilizarea unui alt deșeu ca liant în realizarea panourilor de izolație termică din deșeuri textile, respectiv polistirenul expandat (EPS).

Polistirenul expandat (EPS) este un material extrem de durabil, dar care se descompune foarte greu în mediu. EPS poate persista în mediu timp de sute de ani. De exemplu, studiile sugerează că EPS poate dura între 500 și 1.000 de ani pentru a se descompune complet (EPA, 2021). EPS se degradează în bucăți mai mici, dar nu se descompune complet, contribuind la acumularea de microplastice în mediu. La nivel global,

aproximativ 14 milioane de tone de EPS sunt produse anual, iar conform unui raport al Plastic Europe (2021), aproximativ doar 10% din EPS-ul produs anual este reciclat, restul fiind trimis la gropile de gunoi sau incinerat.

În acest mod, prin dezvoltarea unui nou material din deșeuri textile și deșeuri de polistiren, cu destinație de utilizare în izolația termică a clădirilor, problemele de mediu create de industria textilă și de sectorul construcțiilor sunt atacate dintr-un plan poligonal:

- Reducerea cantității de deșeuri textile;
- Utilizarea într-un nou ciclu de viață cât mai îndelungat;
- Reducerea cantității de deșeuri de polistiren expandat;
- Dezvoltarea de materiale de izolație inovatoare care pot contribui la îndeplinirea cerințelor NZEB.

Așadar, dezvoltarea unui material de izolație termică din deșeuri de textile și polistiren expandat reprezintă o inițiativă promițătoare, care adresează atât problemele de mediu ale industriei textile, cât și nevoile economice și de performanță din sectorul construcțiilor.

2.2. Cercetarea preliminară și alegerea materiilor prime

Secțiunea experimentală a cercetării a fost realizată pornind de la deșeuri textile post-industriale. Deșeurile textile au fost preluate tocate și amestecate. Deșeurile de polistiren pot proveni din renovări, reabilitări sau demolări ale clădirilor, respectiv din plăci termoizolante din granule de polistiren expandat, fabricate din materie primă ignifugată, pentru spații fără încărcare statică deosebită, izolarea spațiilor libere, izolare în interiorul clădirilor și la intradosul plafoanelor sau din colectarea și reciclarea ambalajelor pentru asigurarea protecției echipamentelor în deosebi electronice la transport.

2.3. Planificarea realizării probelor preliminare

2.3.1 Proiectarea probelor: dimensionare și componentă

Din probele efectuate inițial s-a observat că volumul polistirenului expus la temperaturi ridicate scade la aproximativ 25% din cel inițial, fără aplicarea unei forțe de presiune, doar sub greutate proprie. Etuva utilizată în cadrul laboratorului de cercetare al Facultății de Construcții TUIASI suportă o înălțime maximă de 40 cm.

Restricții:

În eventualitatea alegerii unui reper de comparație - placă EPS de 10 cm grosime, utilizată inclusiv pentru izolații exterioare și respectarea standardelor de măsurare a instrumentului ISOMET 2114, s-a ales realizarea unor probe de 20x20x10 cm prin umplerea unei matrițe realizate la dimensiunea de 20x20x40 cm și utilizarea unui procent maxim de 25% EPS din cauza limitării volumetrice a etuvei (Figura 2.3).



(a) etuvă cu matriță



(b) matriță cu
balamale și
prindere fluture



(c) matrițe închise complet cu
capac și bază detașabilă

Figura 2.1 - Matrițele utilizate pentru cercetarea preliminară

2.3.2 Proiectarea rețetei de amestec format din deșeuri textile și granule de EPS

Pentru utilizarea granulelor de EPS cu rol de liant în amestec și realizarea unor probe viabile s-a ales varianta cu procent maxim de polistiren care poate fi supusă studiului în condițiile furnizate de laborator, respectiv un procent de 25% granule EPS și 75% deșeuri textile tocate. Cantitățile necesare și ponderile procentuale ale materialelor sunt prezentate în Tabelul 2.6.

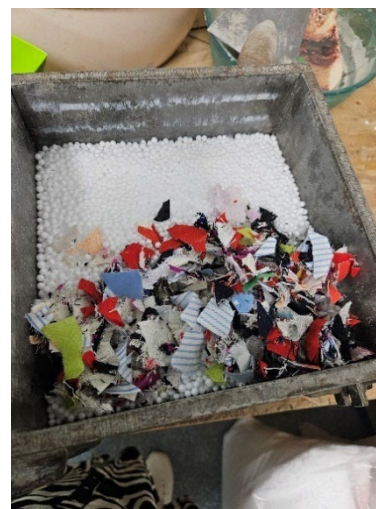
Pentru verificarea capacității optime a EPS cu rol de liant și a crește integritatea structurală a probelor, variantele de cercetare propuse au fost dispunerea materiilor prime în straturi orizontale suprapuse intercalat și sub formă de amestec a cărui omogeneitate a fost realizată manual (Fig. 2.4).



(a) Strat EPS



(b) Strat deșeuri textile



(c) Suprapunerea straturilor



(d) Amestecare elemente



(e) Amestec omogen



(f) Aspect probă amestec

Figura 2.2 - Procesul de realizare a rețetelor pentru variantele de cercetare în straturi (a, b, c) și sub formă de amestec (d, e, f)

2.3.3 Procesul de supunere la degradare termică: alegerea temperaturii și a timpului de expunere

Testele preliminare efectuate asupra polistirenului expandat (EPS) au evidențiat că temperatura de modificare vizibilă a structurii acestui material se situează între 140 și 150 °C. În momentul expunerii probelor de 580g la aceeași temperatură s-a observat că la atingerea acestor temperaturi, structura EPS nu a suferit modificări vizibile. Granulele de polistiren și-au păstrat aspectul nemodificat, iar structura probei a demonstrat o lipsă de coerență și stabilitate.

În acest context, a fost evidențiat rolul esențial al deșeurilor textile tocate, care, plasate între granulele de polistiren, au acționat ca un material izolator eficient. Inclusiv la prelungirea

timpului de supunere la o temperatură de 140°C până la 90 de minute, EPS nu și-a mai îndeplinit rolul de adeziv și nu a consolidat structura probei (Fig. 2.5).

Prin încercări experimentale s-a identificat temperatura de topire a EPS izolat de amestec de deșeuri textile ca fiind 170°C, timp de 120 de minute. Durata extinsă de expunere este cauzată atât de pereții de fier de 1 cm grosime ai matriței de lucru care se încălzesc foarte greu, cât și de propagarea lentă a temperaturii în interiorul amestecului. Pentru aflarea duratei de expunere reale la temperatura de 170°C s-a folosit un termometru cu senzor fără fir introdus în mijlocul probei.

2.4. Realizarea și analiza variantelor de cercetare preliminară

Probele preliminare au fost realizate prin umplerea matrițelor cu amestec de deșeuri textile tocate și granule de polistiren expandat până la înălțimea de 40 cm și introducerea acestora în etuva preîncălzită la o temperatură de 170°C. Durata de expunere la încălzire în etuvă a fost de 120 de min, din care perioada de degradare termică la temperatura de 170°C în interiorul probelor a fost de 20 de minute.

2.4.1 Varianta de cercetare stratificată

Au fost realizate trei probe din materii prime dispuse în 8 straturi de granule EPS având o înălțime de 4 cm și 7 straturi de deșeuri textile tocate cu înălțimea de 1 cm, Tabel 3.7. Materiile prime au fost dispuse în matrițe până la înălțimea de 39 de cm. S-a optat pentru un strat de EPS atât la începutul cât și la finalul stratificării pentru respectarea procentului de polistiren de 25%.

După prelucrarea termică timp de 120 de minute, din care 20 de minute la temperatura de 170°C au fost realizate 3 specimene pentru testare (Figura 2.7. și Tabelul 2.8).

Tabel 2.1 Variante de amestec pentru stratificare

<i>Proba</i>	<i>Masa textile (g)</i>	<i>Masa EPS (g)</i>	<i>Masa totală (g)</i>	<i>Procent textile (%)</i>	<i>Procent EPS (%)</i>
TermoTex S1	440	145	585	75.21	24.79
TermoTex S2	445	145	590	75.42	24.58
TermoTex S3	445	147	592	75.17	24.83



(a) TermoTex S1

(b) TermoTex S2

(c) TermoTex S3

Figura 2.3 - Probele realizate în straturi

Tabel 2.2 Caracteristicile probelor realizate în straturi

<i>Proba</i>	<i>L</i> (cm)	<i>l</i> (cm)	<i>h</i> (cm)	<i>m</i> (g)	<i>V</i> (cm ³)	<i>ρ</i> (kg/m ³)
TermoTex S1	21.5	22	6	489	2838	172.30
TermoTex S2	21	21.5	6.5	506	2934.75	172.42
TermoTex S3	21	21	7	515	3087	166.83

2.4.2 Varianta de cercetare în amestec

Au fost realizate trei probe din materii prime amestecate manual până la omogenizare, Tabelul 3.9. Amestecul de deșeuri textile tocate și granule EPS a fost dispus în matrițe până la înălțimea de 39 de cm. S-a respectat procentul de polistiren propus de 25%.

Tabel 2.3 Proprietățile amestecului

<i>Proba</i>	<i>Masa textile</i> (g)	<i>Masa EPS</i> (g)	<i>Masa totală</i> (g)	<i>Procent textile</i> (%)	<i>Procent EPS</i> (%)
TermoTex AM1	440	140	580	75.86	24.14
TermoTex AM2	440	143	583	75.87	24.53
TermoTex AM3	460	150	610	75.41	24.59

După prelucrarea termică timp de 120 de minute, din care 20 de minute la temperatura de 170°C au fost realizate 3 specimene pentru testare (Figura 2.8. și Tabelul 2.10).



(a) TermoTex AM1



(b) TermoTex AM2



(c) TermoTex AM3

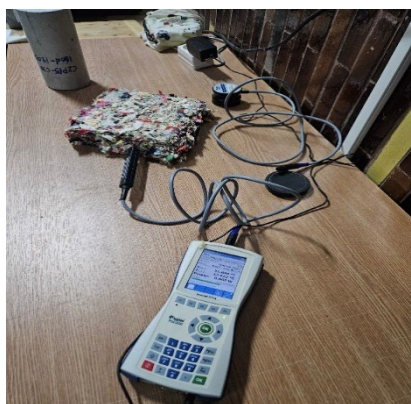
Figura 2.4 - Probele realizate în amestec

Tabel 2.4 Caracteristicile probelor realizate în amestec

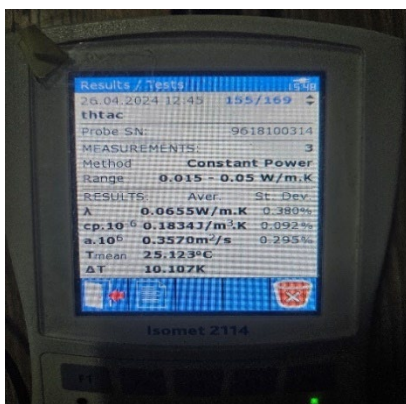
<i>Proba</i>	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>h</i>	<i>m</i>	<i>V</i>	<i>ρ</i>
	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	(cm ³)	(kg/m ³)
TermoTex AM1	22	21	8.5	566	3927	144.13
TermoTex AM2	20	21	9.5	573	3990	143.61
TermoTex AM3	20	20	10.5	590	4200	140.48

2.4.3 Studiarea conductivității termice a probelor analizate

Coeficientul de conductivitate termică (λ) a fost evaluat utilizând dispozitivul ISOMET 2114, în conformitate cu standardul ASTM-5334-08 (ASTM, 2008). Măsurătorile au fost realizate folosind senzorul cu ac (Figura 2.9 și Tabelul 2.11), iar valorile determinate reprezintă media a 3 măsurători în același punct.



(a) TermoTex straturi



(b) Media a 3 măsurători



(c) TermoTex amestec

Figura 2.5 - Determinarea coeficientului de conductivitate termică (λ)

Tabel 2.5 Valorile coeficientului de conductivitate termică (λ)

Varianta în straturi		Varianta în amestec	
Proba	λ (W/mK)	Proba	λ (W/mK)
TermoTex S1	0.0667	TermoTex AM1	0.0655
TermoTex S2	0.0657	TermoTex AM2	0.0674
TermoTex S3	0.0669	TermoTex AM3	0.0643
$\lambda_s = 0.0664$		$\lambda_{am} = 0.0657$	

Comparând valorile coeficientului de conductivitate termică între cele două variante, se poate observa că amestecurile tind să aibă coeficienți de conductivitate similar de scăzute, ceea ce indică o eficiență bună de izolare termică. Tabelul 2.12, sugerează că acestea pot fi utilizate cu succes în aplicații de izolație termică, având capacitatea de a îndeplini cerințele specifice ale proiectelor de construcție. Totuși, este important de menționat că varianta în amestec oferă o stabilitate structurală mult mai ridicată, ceea ce o face mai potrivită pentru aplicații care necesită rezistență și durabilitate pe termen lung.

TermoTex (materialul compozit nou), cu o conductivitate termică între 0.06 și 0.07 W/mK, se situează într-un interval competitiv, având performanțe similare cu cele ale fibrei de cânepă și ale plăcilor de poliester, dar inferioare materialelor precum poliuretanul, EPS și vata minerală. Aceasta sugerează că TermoTex poate fi o opțiune viabilă pentru izolația termică a clădirilor. Utilizarea deșeurilor textile ca materie primă se aliniază cu tendințele globale către economia circulară și construcțiile sustenabile.

CAPITOLUL 3

PLANIFICAREA EXPERIMENTALĂ ȘI CERCETĂRI PRIVIND NOI MATERIALE REALIZATE CU DEȘEURI TEXTILE PENTRU IZOLAȚIA TERMICĂ A CLĂDIRILOR

Pornind de la rezultatele obținute în cercetarea preliminară modelul ales pentru studiu suplimentar este cel al plăcilor TermoTex realizate din amestec de deșeuri textile postindustriale tocate cu componență majoritară din bumbac (92%) și granule de polistiren expandat de 3 mm diametru. Procesul de realizare este bazat pe expunerea preliminară la temperaturi de 170°C pe o durată de 20 de minute.

Scopul aplicării analizei Taguchi în cercetare este de a analiza, caracteriza și scala factorii care influențează procesul de realizare (Priyanga, 2023) a panourilor de deșeuri textile și polistiren expandat (EPS), denumite TermoTEX pentru a evidenția specificații legate de aspectele de performanță vizate: conductivitate termică, absorbția de umezeală din aer și densitatea relativă.

3.1.1 Definirea variabilelor

Factorii de control, Tabel 3.1, au fost selectați ca fiind parametrii care caracterizează componența panoului TermoTEX - **procentul de polistiren și implicit cel de amestec de deșeuri textile tocate** – și care caracterizează procesul de presare termică, respectiv **temperatura de presare și timpul de expunere la temperatură**. Presiunea nu a fost luată în considerare întrucât, la temperaturi ridicate (170°C), valoarea medie înregistrată a fost de 0 N/cm², plăcile termoizolante opunând rezistență doar în minutele incipiente. Variabilele de răspuns selectate au fost **conductivitatea termică, absorbția de umezeală și densitatea**.

3.1.2 Planificarea și alegerea experimentelor

Matricei ortogonală a redus numărul de experimente de la 27, la 9 încercări detaliate în Tabelul 3.3.

Tabel 3.1 Matricea ortogonală

Valori codate				Matricea experimentală		
Încercare	T (°C)	t (min)	EPS (%)	T (°C)	t (min)	EPS (%)
TermoTEX1	1	1	1	170	10	25
TermoTEX 2	1	2	2	170	15	20
TermoTEX 3	1	3	3	170	20	15
TermoTEX 4	2	1	2	140	10	20
TermoTEX 5	2	2	3	140	15	15
TermoTEX 6	2	3	1	140	20	25
TermoTEX 7	3	1	3	110	10	15
TermoTEX 8	3	2	1	110	15	25
TermoTEX 9	3	3	2	110	20	20

3.2. Obținerea plăcilor TermoTex prin termopresare

Au fost realizate 9 probe utilizând o presă termică prin corelarea celor 3 temperaturi de 170, 140 și 110°C cu 3 intervale de timp de expunere la temperatură, respectiv 20, 15 și 10 minute și cu 3 variante de procent de granule de polistiren expandat de 25, 20 și 15%.



25 % EPS

20% EPS

15% EPS

(a) Plăci TermoTEX realizate la 170°C



20% EPS

15% EPS

25% EPS

(b) Plăci ThermoTEX realizate la 140°C



15% EPS

25% EPS

20% EPS

(c) Plăci ThermoTEX realizate la 110°C

Figura 3.1 - Variante experimentale realizate prin termopresare

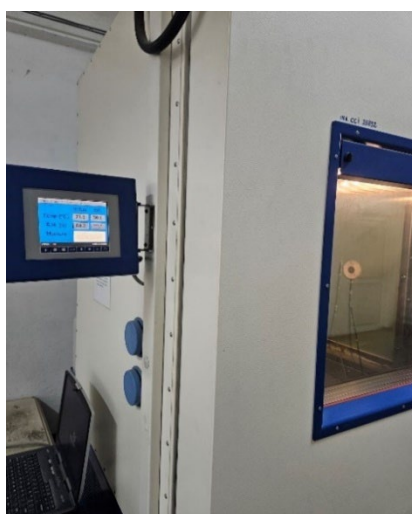
3.3. Determinarea proprietăților variantelor experimentale

3.3.1 Coeficientul de conductivitate termică

Studiul caracteristicilor termice a fost realizat în camera climatică dublă. Plăcile ThermoTEX au fost incastate într-o ramă de polistiren expandat de 2 cm grosime pentru a asigura etanșeitatea amplasării în peretele separator și între 2 plăci de rigips de grosime 1 cm pe care au fost montați central un set de termocupluri pentru determinarea diferenței de temperatură și senzor de flux (Figura 3.3). S-a optat pentru o diferență de 10°C între camera rece și camera caldă, respectiv de la 20 la 30°C. Alegerea temperaturilor a fost bazată pe temperatura deja existentă în laborator de 23°C și s-a preferat pentru eficientizare, temperaturi apropiate. Probele au fost menținute timp de 4 ore, cu măsurători efectuate la intervale de 10 minute, ceea ce a permis o evaluare detaliată a comportamentului termic al materialului.



(a) Pregătirea probelor



(b) Camera caldă 30°C



(c) Camera rece 20°C

Figura 3.2 - Realizarea măsurătorilor în camera climatică

Tabel 3.2 Valoarea coeficientului de conductivitate termică al epruvetelor TermoTEX 170 °C

	$\Delta T_{total\ mediu}$ (K)	$F_{total\ mediu}$ (W/m ²)	$R_{total\ mediu}$ (Km ² /W)	d (m)	λ (W/mK)
TermoTex1	8.81	18.15	0.49	0.02	0.0519
TermoTex2	8.96	16.50	0.54	0.02	0.0451
TermoTex3	8.91	16.59	0.54	0.02	0.0458

Tabel 3.3 Valoarea coeficientului de conductivitate termică al epruvetelor TermoTEX 140 °C

	$\Delta T_{total\ mediu}$ (K)	$F_{total\ mediu}$ (W/m ²)	$R_{total\ mediu}$ (Km ² /W)	d (m)	λ (W/mK)
TermoTex4	8.93	16.47	0.54	0.02	0.0452
TermoTex5	8.86	16.12	0.55	0.02	0.0445
TermoTex6	8.88	16.75	0.53	0.02	0.0464

Tabel 3.4 Valoarea coeficientului de conductivitate termică al epruvetelor TermoTEX 110°C

	$\Delta T_{total\ mediu}$ (K)	$F_{total\ mediu}$ (W/m ²)	$R_{total\ mediu}$ (Km ² /W)	d (m)	λ (W/mK)
TermoTex7	9.18	14.15	0.65	0.02	0.0364
TermoTex8	9.20	13.03	0.71	0.02	0.0329
TermoTex9	9.22	14.43	0.64	0.02	0.0371

Valorile indică o conductivitate termică scăzută, sugerând că materialul TermoTex este eficient în prevenirea pierderilor de căldură. Coeficienții obținuți sunt competitivi și sugerează o performanță similară cu alte soluții izolante disponibile pe piață și chiar mai bună decât polistirenului de 0.04 W/mK. Introducând deșeurile textile în amestec, la temperatura de realizare de 110°C, performanța termică a panourilor izolatoare TermoTEX a fost îmbunătățită.

3.3.2 Higroscopicitatea epruvetelor studiate

Testarea s-a realizat ajutorul cu camerei climatice prezentate în subcapitolul anterior. Temperatura de testare și procentul de umiditate relativă au fost alese din media temperaturilor minime la o medie de umiditate maximă înregistrată în România în 2022 conform raportului anual realizat de Administrația națională de meteorologie, respectiv o temperatură de 13 °C și o umiditate de 71%.



(a) amplasarea probelor



(b) setarea condițiilor



(c) cântărirea probelor

Figura 3.3 - Realizarea testării și a măsurătorilor de higroscopicitate

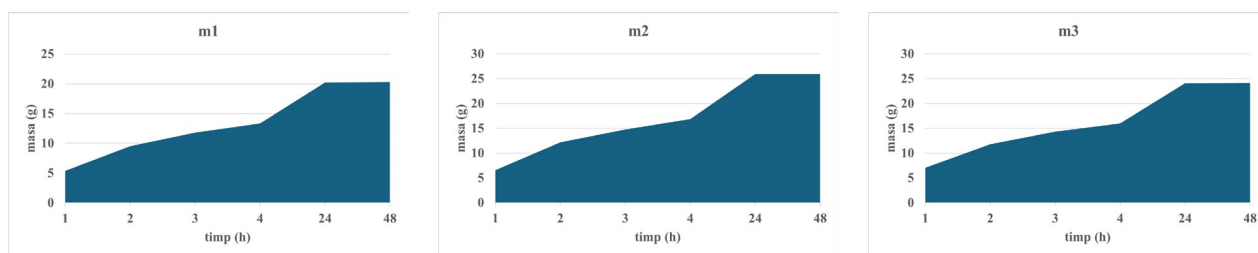
Au fost efectuate cântăriri din oră în oră până la 4 ore, apoi la 24 de ore și 48 de ore până la stabilizare. Tabelul 4.11 prezintă variația masei epruvetelor analizate în urma absorbției de apă din aer pe parcursul a 48 de ore.

După o oră, toate epruvetele au înregistrat o creștere a masei, sugerând că au început să absoarbă umiditatea din aer. Pe măsură ce timpul de expunere crește, masa epruvetelor continuă să crească, atingând valori maxime după 24 de ore.

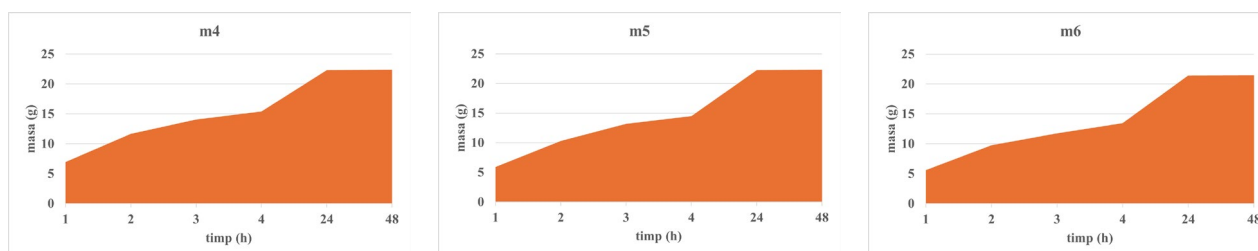
Măsurătorile efectuate la 48 de ore arată că masele epruvetelor se stabilizează, cu valori care rămân aproape constante față de cele de la 24 de ore.

Probele TermoTEX 1, 9 și 8 au înregistrat cea mai mică cantitate de apă absorbită din aer. Proba 1 este realizată la 170°C cu o expunere de 20 de minute și procentul cel mai mare de granule EPS de 25%.

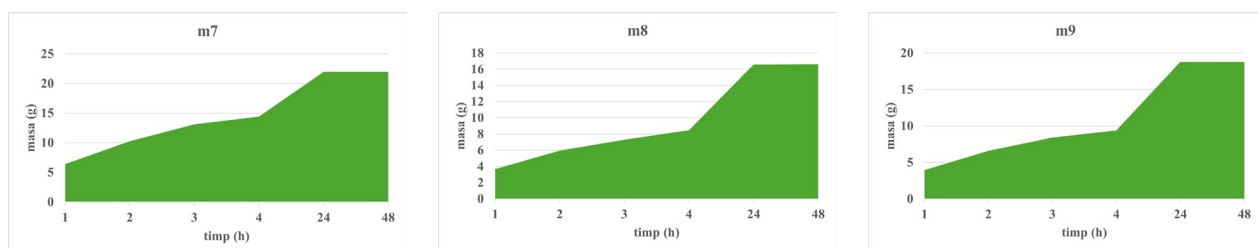
Figura 3.5 și Figura 3.6 evidențiază o creștere constantă a masei probelor în primele 4 ore. Această creștere sugerează că materialele au o rată rapidă de absorbție a umidității în faza inițială de expunere.



(a) Modificările de masă ale epruvetelor realizate la 170°C



(b) Modificările de masă ale epruvetelor realizate la 140°C



(c) Modificările de masă ale epruvetelor realizate la 110°C

Figura 3.4 - Variația higroscopicității în condiții de 71% umezeală timp de 48 de ore

După 24 de ore, toate probele tind să atingă o stabilizare a masei, indicând că au atins capacitatea maximă de absorbție a umidității în condițiile date. În Figura 3.5, stabilizarea este clară, unde nu se mai înregistrează modificări semnificative ale masei între 24 și 48 de ore.

Această stabilizare arată că materialele au un punct de saturație, unde nu mai pot absorbi umiditate suplimentară din aer.

Absorbția de umezeală cuprinsă între 3.77% și 5.48%. Valoarea cea mai mică a fost înregistrată de epruveta TermoTEX8 realizată la 110°C, timp de expunere de 15 minute și 25% procent de granule EPS. În figura 3.7. sunt reprezentate comparativ repriza materialului studiat TermoTEX și repriza bumbacului.

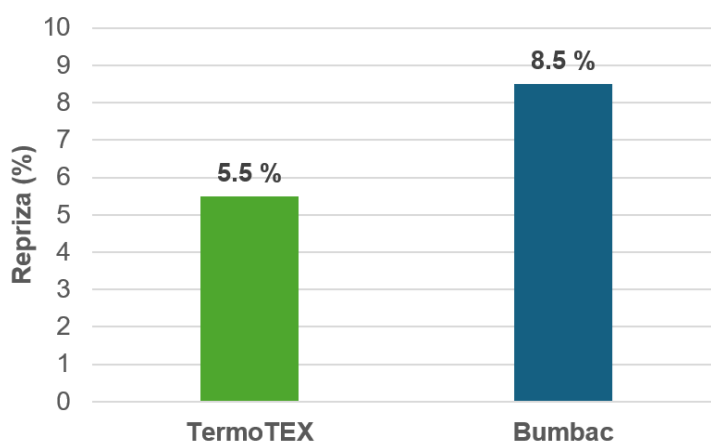


Figura 3.5 Analiză comparativă a higroscopicității TermoTEX – Bumbac
(dex-tex.info)

Repriza TermoTEX în cazul cel mai nefavorabil este cu peste 35% mai scăzută decât cea a bumbacului, deși materialul textil aflat la baza materialului studiat este același (92% bumbac 100%). Amestecarea cu polistiren, care este un material hidrofob, conduce la reducerea semnificativă a absorbției de umezeală a materialului, îmbunătățind astfel capacitatea de a-și păstra caracteristicile de izolare termică pe termen mai îndelungat.

3.3.3 Densitatea aparentă a epruvetelor studiate

Pentru determinarea densității aparente a epruvetelor, probele au fost plasate în tăvi de aluminiu pentru a preveni pierderile de materiale în timpul manipulării. Epruvetele au fost expuse la o temperatură constantă de 60 °C în camera climatică timp de 5 ore, până când au atins mase constante.

Măsurătorile la intervale de timp arată o tendință de scădere graduală a masei pentru majoritatea probelor. Această scădere poate fi atribuită pierderilor de umiditate și este esențial să se observe că valorile se stabilizează, ceea ce confirmă atingerea unei mase constante.

Masa constantă a fost atinsă după 5 ore de expunere la temperatură și este considerată ca fiind masa reală. În continuare, probele au fost măsurate din punct de vedere al dimensiunilor, s-a calculat volumul și în final densitatea aparentă.

Tabel 3.5 Determinarea densității aparente a epruvetelor

Proba	L (cm)	l (cm)	h (cm)	V (m³)	m (kg)	ρ (kg/m³)
Tex1	39.9	30	1.9	0.0023	0.4250	186.8839
Tex2	40.2	30	2	0.0024	0.4473	185.4270
Tex3	40.1	29.9	2	0.0024	0.4231	176.4443
Tex4	40.1	30.1	2	0.0024	0.4219	174.7666
Tex5	40.1	30.1	1.9	0.0023	0.4261	185.8049
Tex6	40	30	2	0.0024	0.4476	186.5125
Tex7	40	30	2.1	0.0025	0.4195	166.4683
Tex8	40.3	30.2	2.2	0.0027	0.4241	158.4071
Tex9	40.2	30.3	2.1	0.0026	0.4229	165.3332

Dimensiunile epruvetelor variază ușor, cu lungimi între 39.9 cm și 40.3 cm, lățimi constante de 30 cm, și înălțimi variind de la 1.9 cm la 2.2 cm. Aceste variații pot influența volumul total al fiecărei probe și, implicit, densitatea acestora. Cu toate acestea valorile volumului exprimate în metri cubi, variind de la 0.0023 m³ la 0.0027 m³, indică o bună uniformitate în dimensiunile probelor.

Densitatea aparentă, calculată ca raport între masă și volum, variază între 158.4071 kg/m³ și 186.8839 kg/m³. Epruvetele Tex1 și Tex6 au cele mai mari valori ale densității, ceea ce sugerează că acestea conțin o cantitate mai mare de material pe unitatea de volum, în timp ce Tex8 prezintă cea mai mică densitate.

Valorile de densitate observate sugerează că majoritatea probelor sunt adecvate pentru aplicații de izolație, dar se va ține cont de performanțele termice și de umiditate pentru a evalua eficiența preliminară generală a acestora.

3.4. Analiza parametrilor de performanță și răspunsurilor din analiza Taguchi

Caracteristicile epruvetelor au fost considerate parametri de performanță în cadrul proiectării experimentale.

Pentru raportul S/N valorile parametrilor sunt maxime, așadar pentru urmărirea principiului the smaller the better, varianta optimă a fost interpretată după graficul mediilor reprezentat în Figura 3.11.

Acest grafic prezintă efectul factorilor experimentali asupra valorii medii a răspunsului măsurat. Media este o măsură de performanță utilizată pentru a compara efectele diferiților factori. În acest grafic, se observă din nou o influență mai mare a procentului de EPS asupra mediei, urmată de timp și temperatură. Pentru a putea observa cu ușurință varianta optimă, graficul a fost realizat și în programul Minitab.

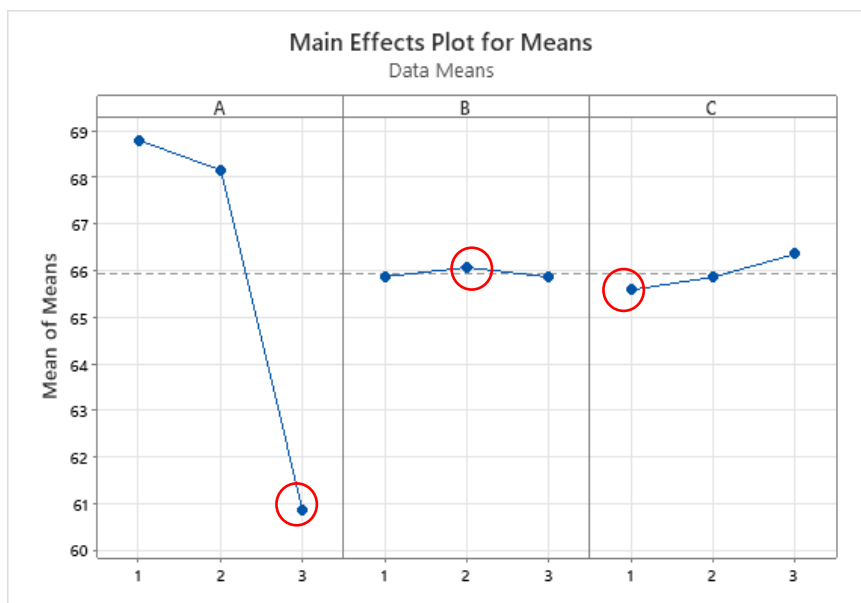


Figura 3.6 Graficul principalelor efecte ale mediei (MINITAB)

A	B	C	Conductivitate	Higroscopicitate	Densitate	A - Temp	B - t	C - PS
3	1	3	0.036	21.96	166.468	170	20	25
3	2	1	0.033	16.61	158.407	140	15	20
3	3	2	0.037	18.80	165.333	110	10	15

*Legenda 3.11

Așadar analiza mediilor arată varianta optimă A3B2C1 marcată cu roșu. Din cele 9 variante analizate, **varianta optimă este TermoTEX8**, care a înregistrat valorile minime pentru toți parametrii observați.

Proba optimă a fost obținută în condițiile experimentale:

- ✓ Temperatura 110°C
- ✓ Durată expunere 15 minute
- ✓ Procent EPS 25%

Proprietățile variantei optime TermoTEX8 sunt:

- ✓ $\lambda = 0.033 \text{ W/mK}$
- ✓ $H = 3.8 \%$
- ✓ $\rho = 158 \text{ kg/m}^3$

3.5. Influența panourilor izolatoare TermoTEX asupra rezistenței termice a pereților – studii de caz

3.5.1 Materiale și metodologia utilizată

Materialele structurale pentru studiile de caz au fost selectate pe baza ponderii de utilizare a acestora în structuri rezidențiale. Partea structurală a peretelui are grosimea de $d = 0,3 \text{ m}$, iar pentru realizarea acestuia au fost alese următoarele materiale: cărămida, betonul armat și betonul celular autoclavizat (BCA). Pentru pereții structurali analizați în studiile de caz s-au considerat două straturi de tencuială aplicate pe materialul principal, astfel: o tencuială interioară cu grosimea de $0,01 \text{ m}$ realizată din mortar de ciment și o tencuială exterioară de tip tencuială armată cu polimeri cu grosimea de $0,005 \text{ m}$. Pereții au fost analizați în două variante: cu și fără izolație TermoTEX. Panoul TermoTEX are grosimea de $0,02 \text{ m}$. Aspectele generale din cele trei studii de caz sunt prezentate în continuare, cu detalieri pentru fiecare caz în parte.

3.6. Analiza comparativă a studiilor de caz

Pe baza valorilor determinate în analiza numerică de la subcapitolul 3.7.2, se pot formula observații referitoare la îmbunătățirea izolației termice prin utilizarea panourilor TermoTEX, evidențiate grafic în Figura 3.18.

- **Creșterea rezistenței termice:** În toate cele trei tipuri de pereți analizați (cărămidă, beton armat, BCA), adăugarea panourilor TermoTEX conduce la o creștere semnificativă a rezistenței termice a peretelui. Acest lucru înseamnă că pereții izolați cu TermoTEX au o capacitate mult mai mare de a reține căldura în interiorul clădirii, ceea ce duce la o reducere a necesarului de energie pentru încălzire.

- **Eficiența energetică:** Panourile TermoTEX îmbunătățesc performanța termică a tuturor tipurilor de pereți, dar cel mai puternic impact este observat la pereții din beton armat, care au o rezistență termică scăzută, iar după montarea panoului TermoTEX cu grosimea de 2 cm, rezistența termică a crescut cu 170,2%.
- **Performanța de izolare termică:** Chiar dacă BCA are deja o rezistență termică ridicată, stratul TermoTEX îmbunătățește și mai mult izolarea, ceea ce face ca acest tip de perete să prezinte o performanță de izolare termică superioară, în comparație chiar cu materiale structurale de izolare tradiționale.

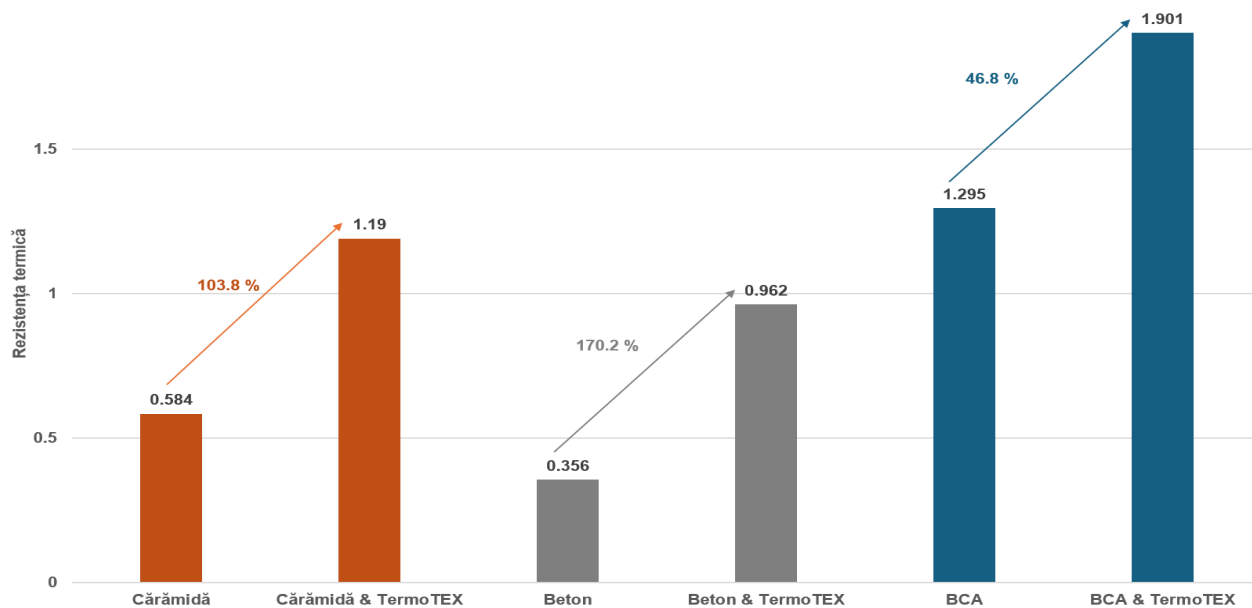


Figura 3.7 – Comparatie a coeficienților de transfer liniar de căldură ai structurilor din cărămidă, beton și BCA, cu și fără strat TermoTEX

- Betonul armat, care are cele mai mari pierderi de căldură fără izolație, beneficiază cel mai mult de pe urma adăugării TermoTEX. Coeficientul Ψ scade considerabil, indicând o performanță mult îmbunătățită și o izolație mai eficientă.

Utilizarea panourilor izolatoare TermoTEX aduce o îmbunătățire semnificativă a performanței termice a tuturor tipurilor de pereți, indiferent de materialul structural de bază (cărămidă, beton armat, BCA). Panourile TermoTEX sunt extrem de eficiente și în reducerea fluxului termic prin pereți, fiind deosebit de utile pentru pereții din beton armat, care altfel ar pierde o cantitate considerabilă de căldură. O contribuție semnificativă este observată și la reducerea coeficienților de transfer liniar de căldură pentru toate tipurile de pereți studiați.

CAPITOLUL 4

EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI AL MATERIALELOR REALIZATE DIN DEȘEURI TEXTILE ȘI POLISTIREN UTILIZATE PENTRU TERMOIZOLAȚIA CLĂDIRILOR

4.1. Caracterizarea produsului studiat: panouri TermoTEX

4.1.1 Caracteristicile unității funcționale

În vederea realizării studiului unitatea funcțională este definită ca fiind un **pachet de panouri termoizolante TermoTEX**. Acest pachet constă din 20 de plăci, fiecare având dimensiunile de 1 metru lungime și 0,5 metri lățime, cu o grosime de 0,02 metri. Aceste plăci au un volum total de 0,2 metri cubi și acoperă o suprafață de 10 metri pătrați, comparabilă cu produsele similare disponibile pe piață, cum ar fi cele din polistiren expandat.

Panourile TermoTEX sunt concepute pentru a fi utilizate ca soluții termoizolante în diverse aplicații de construcții. Acestea sunt potrivite pentru montajul pe fațade ventilate, pot fi utilizate pentru izolarea exterioară a clădirilor și pot fi aplicate pe socluri și planșee pentru a asigura o izolare termică uniformă și eficientă în cazul podurilor și pardoselilor..

Tabel 4.1 Caracteristicile unității funcționale adoptate

Element analizat	Suprafață acoperită (m ²)	Grosime (m)	Volum (m ³)	U.F. (kg)
Pachet TermoTEX	10	0.02	0.2	35.33

4.2. Evaluarea impactului asupra mediului

4.2.1 Dezvoltarea modelului experimental

Figura 5.4 descrie schema logică a materialelor și proceselor create și legenda care explică semnificația fiecărei culori din diagramă. Impactul atribuit deșeurilor este reprezentat doar de emisiile realizate în etapa de transport. Procesele create au fost cele de tocare și le-a fost atribuit consumul de energie electrică aferent, Figura 4.4.

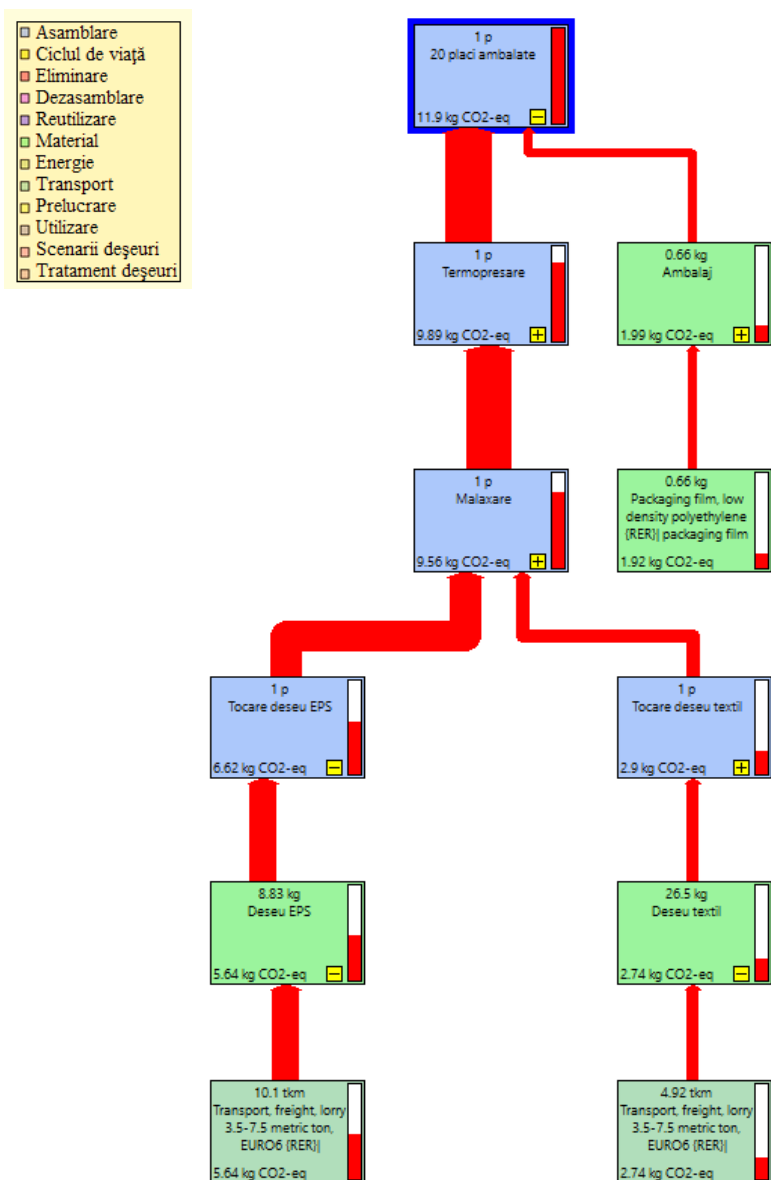


Figura 4.1 - Rețeaua schemei logice

La finalizarea tuturor proceselor de fabricație, unitatea funcțională un pachet TermoTEX format din 20 plăci și ambalat cu folie de polietilenă are un impact de 11.9 kg CO₂eq, Fig. 4.8.

4.2.2 Rezultate obținute cu metoda IPCC

Amprenta de carbon a unui pachet de 20 de panouri TermoTEX folosind metoda IPCC 2021 GWP 100y v1.02 / Caracterizare este prezentată în Tabelul 4.5.

Tabel 4.2 Valorile rezultatelor totale obținute folosind metoda IPCC

Categorie impact	U.M.	U.f.	U.f. ambalată	Eliminare depozit deșeuri	Reutilizare
IPCC GWP 100y	kgCO ₂ eq	9.89	11.9	144	- 4.65
Total scenariu nefavorabil					155.9
Total scenariu favorabil					7.25

4.3. Identificarea punctelor critice

Un aspect esențial al LCA este identificarea și evaluarea punctelor critice (hotspots), care reprezintă etapele sau procesele cu cel mai mare impact asupra mediului (Bianco, 2023). În acest context, metoda IPCC este frecvent utilizată pentru a cuantifica potențialul de încălzire globală asociat emisiilor de gaze cu efect de seră (Tabel 4.16).

Potențialul de încălzire globală rezultat din emisiile de GHG în urma producției unui pachet de 20 plăci izolatoare TermoTEX ambalat este de 11.9 kgCO₂eq.

Amprenta totală de carbon pentru unitatea funcțională evaluată este de 7.23 kgCO₂eq în scenariul de reutilizare la sfârșitul duratei de viață și de 156 kgCO₂eq în cazul eliminării la depozitul de deșeuri. Impactul pe fiecare etapă este prezentat procentual în Figura 4.11.

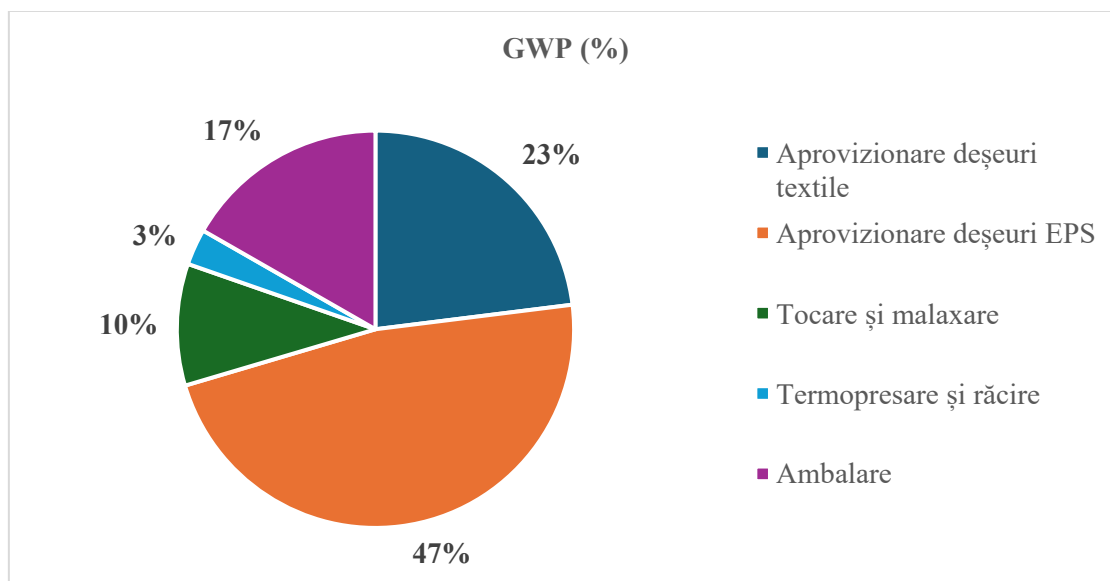


Figura 4.2 - Amprenta de carbon pentru fiecare etapă (fără scenariul de sfârșit de viață)

Etapa de aprovizionare cu deșeuri contribuie cel mai mult la totalul impactului asupra mediului al produsului analizat, în proporție de 70%. Etapa de ambalare reprezintă 17% din totalul amprente de carbon. Valoarea crescută provine din alegerea materialului de ambalare folie de polietilenă și transportul local aferent aprovizionării cu aceasta. Tocarea și malaxarea au o contribuție de 10%. Procesul cu impact semnificativ este cel de tocare cu o valoare de 1.14 kgCO₂eq, cel de malaxare contribuind doar cu o valoare de 0.04 kgCO₂eq.

Din punct de vedere al sfârșitului de viață, scenariul preferat este cu siguranță reutilizarea, care scade amprenta totală de carbon a produsului cu 4.65 kgCO₂eq. În cazul eliminării la groapa de gunoi, impactul crește de peste 20 de ori față de scenariul favorabil, ajungând la un potențial de încălzire globală de 156 kgCO₂eq (Figura 4.12).

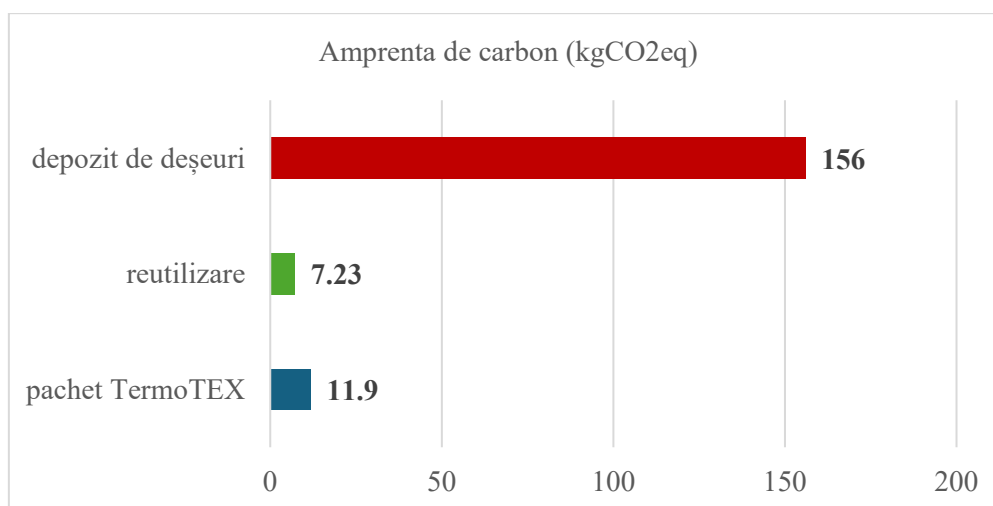


Figura 4.3 - Comparație a amprente de carbon cu fiecare scenariu de sfârșit de viață

În vederea optimizării impactului asupra mediului, s-au formulat mai multe propuneri:

- Optimizarea transportului: Reducerea distanțelor de transport prin aprovizionare locală sau înlocuirea vehiculelor convenționale cu variante electrice poate reduce emisiile de carbon și alte impacturi asociate transportului.
- Ambalaje durabile: Utilizarea materialelor pentru ambalaje reciclate sau biodegradabile poate diminua impactul asupra mediului și poate sprijini obiectivele de sustenabilitate ale produsului.

4.4. Analiză comparativă între unitatea funcțională și polistirenul expandat

Pentru a evidenția impactul pe care îl poate avea unitatea funcțională studiată este necesară comparația cu polistirenul expandat existent la momentul actual pe piață (EPS), așadar cu un pachet de plăci EPS de densitate medie, de aceeași dimensiune și care acoperă aceeași suprafață de montare, fără a fi luată în considerare eliminarea.

Tabel 4.3 Caracteristicile unităților comparate

Element analizat	Suprafață (m ²)	Grosime (m)	Densitate (kg/m ³)	U.F. (kg)
Pachet TermoTEX	10	0.02	176.65	35.33
Pachet EPS	10	0.02	15	3

Tabel 4.4 Comparație prin metoda IPCC GWP100 v1.02 / Caracterizare

Categorie impact	U.M.	Pachet TermoTEX	Pachet EPS
Fosil	kgCO₂eq	11.8705	12.6479
Biogen	kgCO ₂ eq	0.0074	0.0648
Transformarea terenurilor	KgCO ₂ eq	0.0070	0.0030
Total	kgCO₂eq	11.8850	12.7157

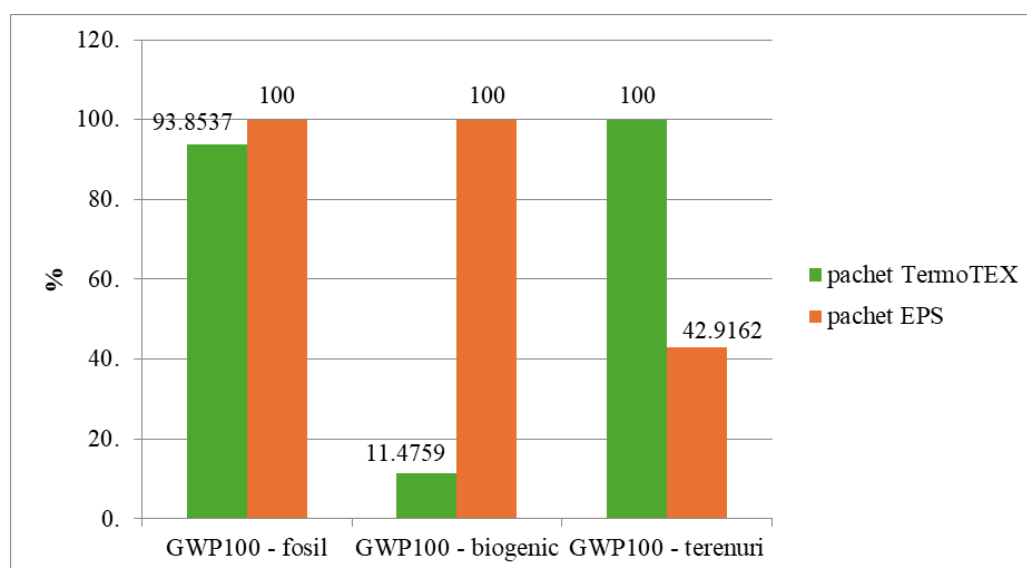


Figura 4.4 - Comparație GWP100 TermoTEX / EPS (%)

Deși plăcile EPS au o densitate semnificativ mai mică (15 kg/m^3) comparativ cu plăcile TermoTEX (176.65 kg/m^3), amprenta de carbon totală pe unitate de funcționalitate este mai mare pentru EPS. În mod specific, EPS are o amprentă de carbon totală de $12.7157 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ comparativ cu $11.8850 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ pentru TermoTEX, în ciuda faptului că EPS este de aproximativ 12 ori mai ușor.

Categoria de impact carbon fosil reprezintă cea mai semnificativă contribuție la amprenta de carbon pentru ambele tipuri de plăci. Pachetul EPS are un impact mai mare în această categorie ($12.6479 \text{ kgCO}_2\text{eq}$) comparativ cu TermoTEX ($11.8705 \text{ kgCO}_2\text{eq}$), indicând o dependență mai mare de resurse fosile pentru EPS.

Evaluarea comparativă sugerează că TermoTEX este mai favorabil din punct de vedere al impactului asupra încălzirii globale, în ciuda densității și greutatei sale mai mari. Acest lucru subliniază importanța considerării impactului total asupra mediului, nu doar a caracteristicilor fizice ale materialului.

4.4.1 Comparăție prin metoda ReCiPe

Datele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.20 și se concentrează pe indicatorii relevanți pentru încălzirea globală, sănătatea umană și cei cu semnificative supraunitare. Prin aplicarea metodei ReCiPe, analiza comparativă evidențiază în continuare un potențial de încălzire globală redus în cazul TermoTEX, la fel și în cazul scăderii resurselor fosile, dar valorile celorlalți indicatori sunt mai ridicate.

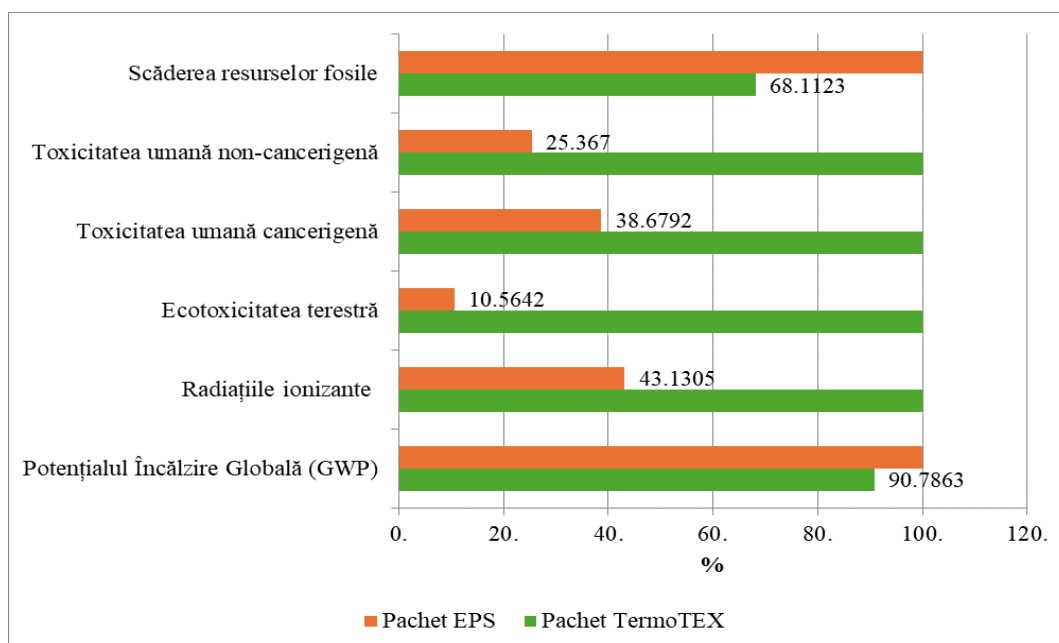


Figura 4.5 - Comparăție procentuală TermoTEX / EPS - indicatori semnificativi

TermoTEX prezintă un impact mai mare în ceea ce privește radiațiile ionizante, ecotoxicitatea terestră și toxicitatea umană, comparativ cu EPS. Acest lucru sugerează că, deși TermoTEX poate fi mai eficient din punct de vedere al încălzirii globale, potențialul său impact negativ asupra sănătății umane și mediului poate fi mai mare, dar are o amprentă de carbon mai mică și sugerează o utilizare mai eficientă a resurselor neregenerabile, deci o abordare mai sustenabilă din acest punct de vedere. Procentual, valorile sunt prezentate în Figura 4.14.

4.4.2 Concluzii și recomandări de îmbunătățire

Analiza comparativă bazată pe metoda IPCC a evidențiat că plăcile TermoTEX prezintă un potențial de încălzire globală (GWP) mai redus comparativ cu polistirenul expandat (EPS). Acest rezultat indică faptul că TermoTEX contribuie mai puțin la schimbările climatice pe termen lung, oferind o opțiune mai favorabilă în contextul încălzirii globale.

În evaluarea efectuată cu metoda ReCiPe, TermoTEX a demonstrat o amprentă mai mică asupra scăderii resurselor fosile comparativ cu EPS. Aceasta subliniază eficiența mai mare a plăcilor TermoTEX în utilizarea și conservarea resurselor neregenerabile, indicând o abordare mai sustenabilă în utilizarea resurselor naturale.

Deși TermoTEX este favorabil în ceea ce privește încălzirea globală și resursele fosile, analiza ReCiPe a evidențiat un impact semnificativ în categoriile de ecotoxicitate terestră și toxicitate umană. Recomandarea principală ar fi dezvoltarea unor formule și procese de fabricație care să reducă utilizarea substanțelor toxice, respectiv a noxelor emise în procesul de termopresare și să minimizeze poluarea solului. Implementarea unor tehnologii de producție mai curate și utilizarea de procese mai puțin toxice ar putea contribui la reducerea acestor impacturi.

Promovarea unor strategii de reutilizare și reciclare la sfârșitul ciclului de viață al plăcilor TermoTEX poate contribui la minimizarea deșeurilor și la reducerea impactului asupra mediului. Crearea unor sisteme de colectare și reciclare eficiente ar putea facilita reintroducerea materialelor în ciclul de producție, aspect analizat în varianta favorabilă de scenariu de sfârșit de viață și care reduce impactul total cu 39%.

Prin aplicarea acestor recomandări, TermoTEX nu doar că își va îmbunătăți profilul ecologic și va reduce impactul negativ asupra mediului și asupra sănătății umane, dar va deveni și un lider pe piața materialelor de izolare sustenabile, consolidându-și poziția ca o alegere favorabilă atât din punct de vedere ecologic, cât și potențial din perspectivă economică.

CAPITOLUL 5

CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII. VALORIFICAREA REZULTATELOR OBȚINUTE ÎN CADRUL PROGRAMULUI DE CERCETARE DOCTORALĂ. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

5.1. Concluzii generale

Într-un context global în care presiunile asupra resurselor naturale sunt în continuă creștere, iar schimbările climatice și gestionarea deșeurilor reprezintă provocări majore, economia circulară devine o soluție vitală pentru un viitor sustenabil. Industria textilă, una dintre cele mai mari generatoare de deșeuri la nivel mondial, se confruntă cu o criză profundă legată de utilizarea inefficientă a resurselor și generarea masivă de deșeuri. Majoritatea produselor textile au un ciclu de viață scurt, cauzând acumularea de deșeuri care, în mare parte, ajung la gropile de gunoi sau sunt incinerate. Pe de altă parte, industria construcțiilor este un alt mare consumator de resurse naturale și generator de deșeuri, având o amprentă semnificativă de carbon.

Teza de față și-a propus să exploreze posibilitatea integrării acestor două industrii – textilă și construcții – prin reutilizarea deșeurilor textile pentru fabricarea de materiale inovatoare pentru construcții, cu scopul de a extinde ciclul de viață al produselor textile și de a reduce impactul negativ asupra mediului. Conceptul principal din spatele acestei cercetări a fost dezvoltarea unor soluții care să contribuie la economia circulară, reducând consumul de resurse și reutilizând deșeurile textile într-un mod eficient. Materialele rezultate din reciclarea textilelor au fost testate pentru proprietăți izolante, demonstrându-se astfel potențialul lor de a

Înlocui materialele convenționale de izolare termică. Dezvoltarea unui material inovator și realizarea panourilor de izolație termică TermoTEX reprezintă un rezultat cu potențial pe punere pe piață care poate schimba impactul asupra mediului din ambele industrii:



Figura 5.1 - Logo panouri izolație termică TermoTEX realizat în CorelDRAW

Obiectivul general al tezei de doctorat a fost dezvoltarea unor materiale inovatoare pentru construcții prin reciclarea deșeurilor textile, cu scopul de a extinde ciclul de viață al produselor textile și de a contribui la reducerea impactului acestora asupra mediului. Lucrarea a vizat atât crearea unor materiale eficiente din punct de vedere termoizolant, cât și evaluarea impactului ecologic al acestora, comparativ cu materialele convenționale utilizate în construcții. Cercetarea s-a concentrat pe realizarea experimentală și optimizarea procesului de producție, oferind soluții sustenabile pentru sectorul construcțiilor.

Prin aceste obiective, lucrarea de față aduce o contribuție valoroasă în direcția reducerii deșeurilor și promovării materialelor reciclate, sprijinind tranziția către o economie circulară și sustenabilă.

Cercetarea a oferit noi perspective asupra reutilizării textilelor reciclate în industria construcțiilor, în special în realizarea materialelor de izolație termică. Principalele concluzii ale fiecărui capitol se referă la următoarele aspecte esențiale:

CONCLUZIILE CERCETĂRII BIBLIOGRAFICE

1. Analiza literaturii de specialitate: Teza oferă o sinteză cuprinzătoare a literaturii despre gestionarea deșeurilor textile, evidențiind provocările principale în utilizarea acestora în construcții și impactul asupra mediului.
2. Economia circulară în contextul sustenabilității: Lucrarea accentuează necesitatea integrării economiei circulare în industrii poluante, cum ar fi textilul și construcțiile, subliniind cum reciclarea deșeurilor textile reduce amprenta de carbon.

3. Sustenabilitatea ca aspect central al cercetării: Reciclarea textilelor în materiale izolatoare contribuie la reducerea deșeurilor și a dependenței de resurse naturale pentru producția de materiale tradiționale.
4. Provocările managementului deșeurilor textile: Deșeurile textile reprezintă o problemă globală din cauza volumului și gestionării lor inadecvate. Soluțiile propuse de lucrare vizează reciclarea acestora pentru construcții, adresând o necesitate urgentă de reducere a impactului ecologic.
5. Materiale de construcții și impactul lor asupra mediului: Materialele tradiționale, precum polistirenul, sunt criticate pentru consumul de resurse și emisiile poluante. Reutilizarea textilelor pentru materiale termoizolante oferă o alternativă sustenabilă, îmbunătățind eficiența energetică a clădirilor.
6. Identificarea soluțiilor în gestionarea deșeurilor textile: Teza evidențiază provocările reciclării textilelor, inclusiv dificultățile de separare și infrastructura inadecvată, explorând soluții precum utilizarea acestora în produse izolatoare.
7. Reglementări și politici europene privind sustenabilitatea: Politicile europene promovează implementarea economiei circulare și reciclării în industrii, iar propunerea tezei se aliniază cu aceste directive, demonstrând fezabilitatea utilizării textilelor reciclate în construcții ecologice.
8. Cercetări în literatură privind reciclarea textilelor: Bibliografia indică o creștere a interesului pentru utilizarea deșeurilor textile în construcții, iar teza contribuie la acest domeniu prin dezvoltarea unui material inovator care combină proprietățile izolatoare ale textilelor reciclate cu polistirenul expandat.

Prin concluziile formulate anterior se consideră că obiectivul specific OS1 formulat inițial, care vizează analiza și sinteza informațiilor din literatura de specialitate privind gestionarea deșeurilor textile și utilizarea acestora în construcții, realizarea unei imagini de ansamblu asupra provocărilor și soluțiilor existente, precum și raportarea la politicile și directivele europene și internaționale în domeniul economiei circulare și sustenabilității, a fost atins. Studiul literaturii de specialitate și a reglementărilor europene a permis fundamentarea unei baze teoretice solide pentru dezvoltarea ulterioară a soluțiilor experimentale propuse în cadrul tezei (Figura 5.7).

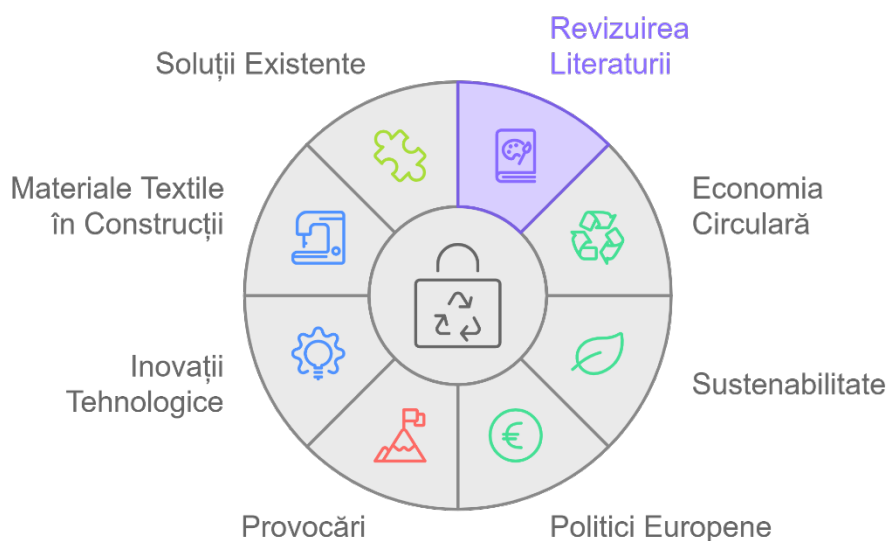


Figura 5.2 – Reprezentarea grafică a concluziilor din capitolul I care ating OS1

CONCLUZIILE CERCETĂRII EXPERIMENTALE PRELIMINARE

1. Proiectarea și realizarea probelor: Au fost testate combinații de deșeuri textile și granule de polistiren expandat, iar alegerea amestecului de materii prime a asigurat o structură stabilă.
2. Îmbunătățirea proprietăților mecanice și termice: Rezultatele experimentale sugerează ajustarea structurii materialului pentru a optimiza proprietățile mecanice și termice. Modificarea temperaturii de tratare a dus la îmbunătățiri semnificative, deschizând direcții pentru perfecționarea procesului de fabricație.
3. Optimizarea procesului de producție: Capitolul 2 a subliniat importanța optimizării parametrilor de producție, cum ar fi temperatura și timpul de expunere, pentru a asigura o structură stabilă a materialelor.
4. Testarea proprietăților termoizolante: Probele au fost evaluate pentru conductivitate termică, demonstrând valori scăzute, ceea ce le face potrivite pentru izolațiile termice ale clădirilor.
5. Eficiența materialelor din textile reciclate: Materialele rezultate din textile reciclate și polistiren expandat s-au dovedit fezabile pentru continuarea cercetării, conform concluziilor din Capitolul 2.
6. Sustenabilitate și reciclare: Materialele dezvoltate din deșeuri textile și granule de polistiren contribuie la reducerea deșeurilor, oferind o soluție sustenabilă pentru construcții și diminuând amprenta ecologică a industriei textile.

7. Inovația tehnologică în utilizarea deșeurilor textile nesortate: Cercetările din Capitolul 2 confirmă inovația tehnologică prin utilizarea textilelor reciclate în construcții, demonstrând viabilitatea acestei abordări pentru reducerea deșeurilor și crearea de materiale alternative, fără a compromite performanța izolării termice și fără a necesita sortarea prealabilă.

Prin concluziile formulate în acest capitol, obiectivul specific OS2, referitor la dezvoltarea și testarea materialelor obținute din textile reciclate, a fost justificat și parțial îndeplinit, punând bazele pentru optimizarea ulterioară a procesului de producție și testarea suplimentară a performanțelor acestora. Sinteza capitolului este prezentată în Figura 5.8.

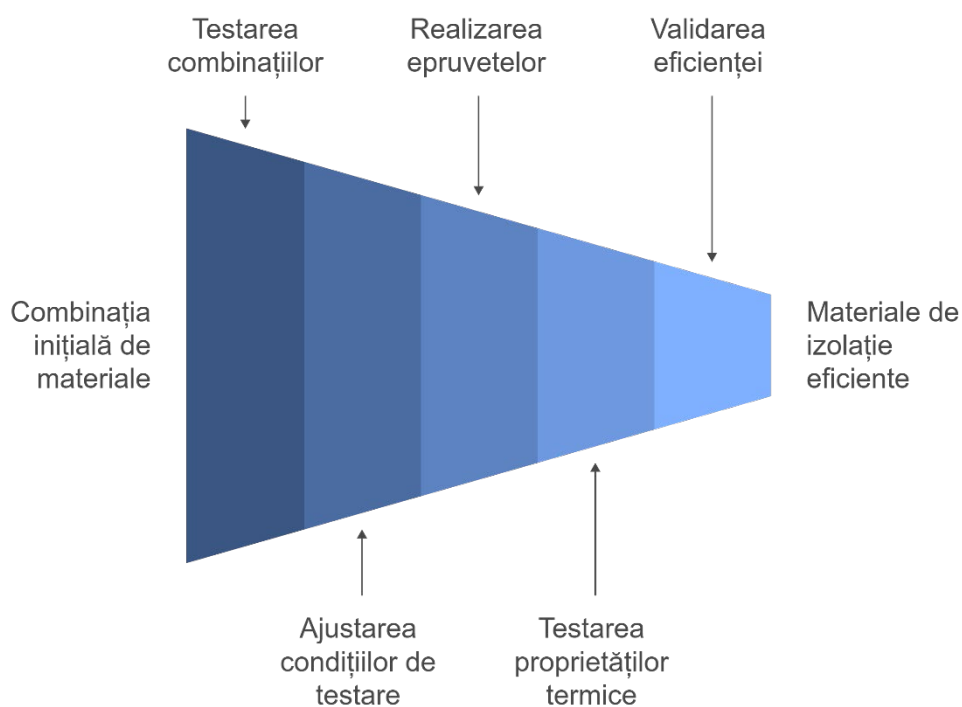


Figura 5.3 – Etapele parcurse în cercetarea preliminară pentru îndeplinirea OS2

CONCLUZIILE CERCETĂRII EXPERIMENTALE ȘI OPTIMIZAREA PROCESULUI DE REALIZARE

1. Optimizarea structurii materialelor TermoTEX: Utilizarea deșeurilor textile cu polistiren expandat generează un material termoizolant eficient. Metoda Taguchi a permis ajustări precise pentru a atinge o densitate și conductivitate termică optimă, demonstrând că TermoTEX depășește performanțele polistirenului.

2. Determinarea proprietăților de higroscopicitate și mecanice: Materialele din textile reciclate au arătat o rezistență excelentă la umiditate, având o absorbție de apă de peste două ori mai bună decât bumbacul, fiind astfel potrivite pentru izolații diverse. Proprietățile mecanice, inclusiv densitatea, au fost satisfăcătoare, sugerând un potențial ridicat pentru utilizare extinsă.
3. Metoda Taguchi ca instrument de optimizare: Această metodologie a evaluat interacțiunile dintre variabilele de producție, cum ar fi proporția materialelor, temperatura și timpul de presare, conducând la îmbunătățiri semnificative ale performanțelor materialelor TermoTEX.
4. Efectul parametrilor de producție asupra performanței termoizolante: Ajustarea parametrilor de producție, precum temperatura și timpul de presare, a influențat performanțele termoizolante. O temperatură prea ridicată sau un timp insuficient pot deteriora structura materialului, afectând eficiența izolatoare.
5. Stabilirea unei metodologii robuste de testare: Cercetarea a dezvoltat un cadru metodologic clar pentru evaluarea proprietăților termoizolante și mecanice ale materialelor reciclate, servind ca model pentru viitoare studii în dezvoltarea materialelor sustenabile pentru construcții.
6. Durabilitatea și potențialul de reutilizare: Materialele din textile reciclate au demonstrat o bună rezistență la condiții de mediu, cum ar fi umiditatea și variațiile de temperatură, fiind adecvate pentru utilizări pe termen lung. Acestea pot fi reciclate la sfârșitul ciclului de viață, susținând un model de economie circulară.
7. Eficiență și scalabilitate industrială: Optimizarea procesului de producție prin metoda Taguchi a confirmat viabilitatea materialelor reciclate pentru producția industrială la scară largă.

Prin concluziile formulate în capitolul 3, obiectivul specific OS2, referitor la dezvoltarea și testarea materialelor termoizolante din textile reciclate, a fost atins, materialele dovedindu-se competitive din punct de vedere al proprietăților termoizolante și mecanice. De asemenea, OS3, privind optimizarea procesului de producție, a fost realizat cu succes, evidențiindu-se parametrii de fabricație care influențează direct performanțele materialelor și stabilindu-se un proces de producție scalabil la nivel industrial (Figura 5.9).

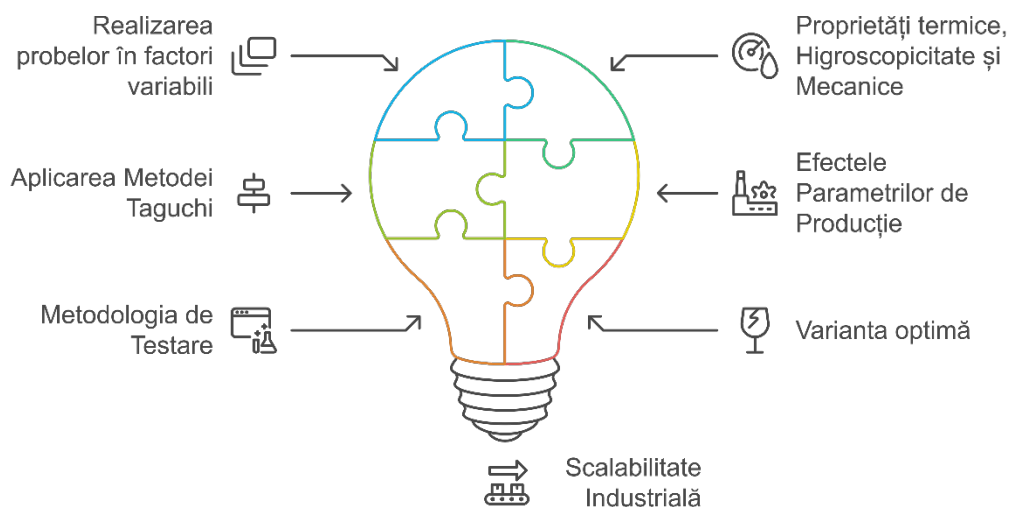


Figura 5.4 – Etapele parcurse în cercetarea experimentală pentru îndeplinirea OS2 și OS3

CONCLUZIILE ANALIZEI IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI

1. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră: Studiul a demonstrat că materialele obținute din textile reciclate au un impact semnificativ mai mic asupra mediului comparativ cu materialele convenționale, cum ar fi polistirenul expandat.
2. Scenarii de sfârșit de viață: Evaluarea a inclus diferite scenarii de sfârșit de viață pentru materialele analizate, cum ar fi depozitarea la gropi de gunoi sau reciclarea. Scenariile care implică reutilizarea materialelor în proporție mare (aproximativ 95%) au demonstrat beneficii ecologice semnificative, în timp ce scenariile de eliminare completă la depozitul de deșeuri au arătat un impact de mediu nefavorabil.
3. Compararea cu polistirenul expandat: Rezultatele obținute au arătat că materialele din textile reciclate au o performanță mai bună din punct de vedere al amprente de carbon, comparativ cu polistirenul expandat, ceea ce face ca aceste materiale să fie o opțiune mai sustenabilă pentru construcții. TermoTEX are un impact mai redus asupra mediului atât în etapa de producție, cât și pe parcursul ciclului lor de viață.
4. Utilizarea metodologiei IPCC și ReCiPe: Studiul a utilizat metode precum IPCC și ReCiPe pentru a evalua impactul de mediu, evidențiind reduceri semnificative în ceea ce privește emisiile de gaze cu efect de seră și toxicitatea materialelor reciclate comparativ cu alternativele tradiționale.
5. Implicarea în politici de sustenabilitate: Rezultatele obținute susțin implementarea de politici de sustenabilitate și de mediu la nivel european și global. Utilizarea

materialelor din textile reciclate se aliniază cu directivele privind reducerea deșeurilor și susținerea economiei circulare, oferind o soluție practică și eficientă pentru construcții sustenabile.

6. Eliminarea la sfârșitul duratei de viață: Un punct critic esențial este eliminarea materialelor la sfârșitul duratei de viață. Impactul asupra mediului crește exponențial atunci când materialele sunt eliminate prin depozitare la groapa de gunoi, contribuind la emisiile de gaze cu efect de seră și la poluarea solului. Reutilizarea materialelor poate reduce semnificativ acest impact, scăzând amprenta de carbon cu peste 20 de ori față de scenariul de eliminare prin depozitare.
7. Procesul de tocare: Etapa de tocare a materialelor textile reciclate a fost identificată ca un alt punct critic major. Aceasta contribuie cu 10% la amprenta totală de carbon, în special prin consumul de energie electrică necesar procesului. Pentru a reduce acest impact, este recomandată îmbunătățirea eficienței energetice a acestui proces. .

Prin concluziile formulate anterior, se consideră că obiectivul specific OS4, care vizează evaluarea impactului asupra mediului al materialului nou dezvoltat, a fost atins. Cercetarea a utilizat metodologia de evaluare a ciclului de viață pentru a analiza comparativ impactul materialelor din textile reciclate cu alternativele convenționale, cum ar fi polistirenul expandat. Sinteza capitolului este reprezentată în Figura 5.10.

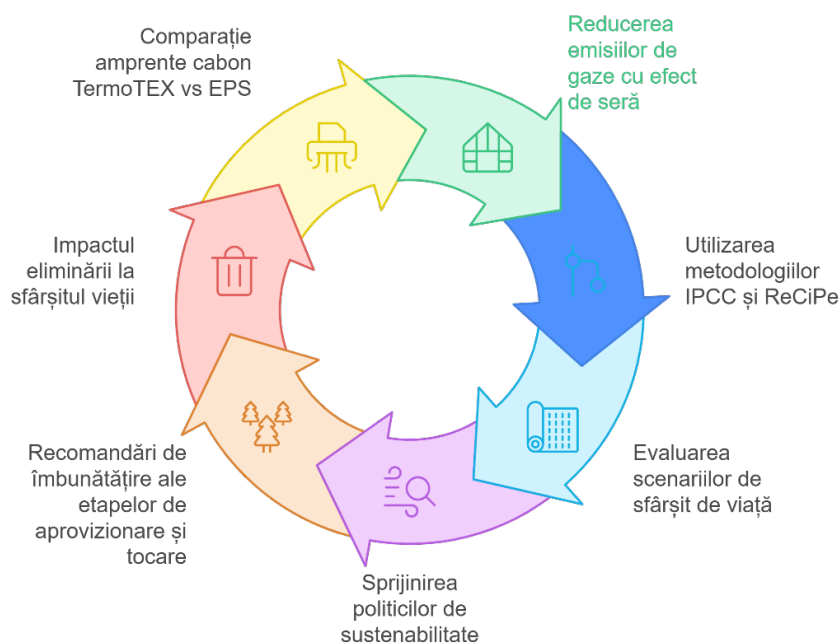


Figura 5.5 – Sinteza evaluării impactului TermotEX asupra mediului pentru îndeplinirea OS4

5.2. Contribuții personale

Contribuțiile în planul cunoașterii:

- Economia circulară în industria textilă și construcții: Lucrarea detaliază aplicarea simultană a economiei circulare în aceste industrii, extinzând ciclul de viață al materialelor și diminuând impactul ecologic.
- Tehnici actuale de reciclare a deșeurilor textile: Autorul revizuieste metodele recente de reciclare a textilelor, sistematizându-le pentru a identifica cele mai eficiente și sustenabile direcții în construcții.
- Impactul deșeurilor textile în construcții: Se analizează critic gestionarea deșeurilor textile și potențialul lor de a fi transformate în materiale utile pentru izolații.
- Proces industrial pentru materiale termoizolante: Contribuția constă în dezvoltarea unui proces tehnologic clar și reproductibil pentru transformarea deșeurilor textile și polistirenului expandat în materiale eficiente.
- Metodologia Taguchi pentru optimizare: Utilizarea acestei metodologii a îmbunătățit parametrii de producție, sporind eficiența și performanța materialelor, aducând o contribuție semnificativă în statistica aplicată în ingineria industrială.
- Estimarea aportului TermoTEX în izolarea termică: Analiza numerică (prin elemente finite) a demonstrat contribuția panoului TermoTEX la eficiența energetică a clădirilor și reducerea impactului ecologic al deșeurilor.
- Evaluarea impactului ecologic prin analiza ciclului de viață: Lucrarea oferă o evaluare cuprinzătoare a impactului asupra mediului al materialelor dezvoltate, comparându-le cu cele tradiționale.

Contribuțiile practice:

- Dezvoltarea unui nou material termoizolant: Autorul a creat un material compozit din deșeuri textile și polistiren expandat, având proprietăți termoizolante competitive, reducând necesitatea materialelor convenționale.
- Simplificarea reciclării deșeurilor textile: Teza propune o metodă care combină textilele reciclate cu polistirenul, eliminând etapa de sortare.
- Utilizarea deșeurilor textile și polistirenului în construcții: Lucrarea demonstrează aplicarea acestor deșeuri în realizarea panourilor termoizolante, oferind o soluție viabilă.

- Evaluarea performanțelor termice: Autorul a dezvoltat și testat prototipuri de materiale, evaluând conductivitatea termică, higroscopicitatea și densitatea acestora.
- Identificarea variabilelor de influență: Folosind metoda Taguchi, autorul a clasificat factorii care influențează performanța materialelor, oferind o bază pentru dezvoltări viitoare.
- Model practic pentru utilizarea textilelor reciclate: Teza prezintă un model testat pentru producerea de materiale termoizolante din deșeuri textile.
- Soluții inovatoare în construcții: Lucrarea extinde gama de materiale utilizate prin includerea textilelor reciclate, propunând soluții practice pentru reducerea impactului ecologic.
- Valorizarea deșeurilor în industrii: Lucrarea arată cum valorificarea deșeurilor textile poate reduce costurile și impactul asupra mediului în ambele industrii.
- Aplicație experimentală extinsă: Materialele și procesele descrise pot fi utilizate și extinse în cercetări ulterioare pentru îmbunătățirea performanțelor.
- Validarea ecologică a materialelor: Contribuția constă în validarea impactului ecologic al materialelor din deșeuri textile, demonstrând potențialul de reducere a emisiilor.

Aceste contribuții se evidențiază atât prin originalitatea soluțiilor propuse, cât și prin aplicabilitatea lor în industrie, oferind o bază solidă pentru cercetări viitoare și pentru implementarea acestor tehnologii în producția de materiale sustenabile. Contribuțiile sunt relevante atât în domeniul reciclării textilelor, cât și al construcțiilor sustenabile, oferind noi direcții de cercetare și aplicabilitate industrială.

Analiza și cercetarea realizate în cadrul tezei de doctorat au condus la dezvoltarea unui nou material izolator termic TermoTEX, care oferă o soluție inovatoare pentru gestionarea crizei generate de deșeurile textile și a crizei emergente și iminente a deșeurilor de polistiren expandat odată cu reabilitarea fațadelor clădirilor. Acest material se aliniază tendințelor actuale în domeniul sustenabilității și contribuie semnificativ la reducerea impactului asupra mediului. Caracteristicile materialului dezvoltat sunt prezentate în Figura 5.11.

TermoTEX Izolație sustenabilă, viitor responsabil. Produse fabricate din materiale textile și polistiren expandat PRODUS 100% DIN MATERIALE RECICLATE Plăci termoizolante din 75% material textil și 25% polistiren fabricate din deșeuri textile tocate și deșeuri de polistiren expandat tocat. Se folosesc sub forma panourilor termoizolante pentru: fațade ETICS (sisteme termoizolante la exteriorul clădirilor civile și industriale), acoperișuri, plafoane suspendate, pereți subsol.		
CARACTERISTICA	VALOAREA	U.M.
Conductivitatea termică	0.033	W/mK
Rezistența termică	0.61	m ² K/W
*pentru o grosime de 20 mm		
Repriza	3.8	%
Densitatea	158	kg/m ³
Masa	424	g
Dimensiuni (L x l x g)	40 x 30 x 2	cm
GWP	11.9	kgCO ₂ eq
*pentru o suprafață de 10 m ² sau 35 plăci		

Figura 5.6 – Fișă tehnică TermoTEX

Articole publicate în reviste de specialitate și alte contribuții în domeniu

- *Reviste cotate ISI:*

1. Isopescu, D.N.; Adam, L.; Nistorac, A.; Bodoga, A. Carbon Footprint Assessment: Case Studies for Hemp-Based Eco-Concrete Masonry Blocks. *Buildings* 2024, 14, 3150. <https://doi.org/10.3390/buildings14103150>
2. Isopescu, D.N.; Galatanu, C.-D.; Ungureanu, A.; Maxineasa, S.-G.; Vizitiu-Baciu, I.-R.; Nistorac, A.; Moga, L.M. Balancing the Energy Efficiency Benefits of Glazed Surfaces: A Case Study. *Buildings* 2024, 14, 2157. <https://doi.org/10.3390/buildings14072157>
3. Bodoga, A.; Nistorac, A.; Loghin, M.C.; Isopescu, D.N. Environmental Impact of Footwear Using Life Cycle Assessment—Case Study of Professional Footwear. *Sustainability* 2024, 16, 6094. <https://doi.org/10.3390/su16146094>
4. Bodoga, A.; Nistorac, A.; Dragomir, A.; Ailenei, E.C.; Seul, A.; Diaconu, M.; Balan, C.D.; Loghin, M.C. Ozone–Vacuum-Based Decontamination: Balancing Environmental Responsibility and Textile Waste. *Sustainability* 2023, 15, 16068. <https://doi.org/10.3390/su152216068>

- *Buletinul Institutului politehnic:*

5. Bodoga A.; Nistorac, A.; Loghin, M.C. Raising awareness of textile waste contamination danger, BUL IPI CIC - chemistry and chemical engineering, vol. 69 (73), Nr.3/2023, DOI: 10.5281/zenodo.10072414
6. Nistorac, A.; Ailenei, E.C.; Isopescu, D.N.; Baciuc I.R.; Maxineasa S.B. Thermal Properties of Insulating Materials Made From Hemp Fibres, BUL IPI Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Construction. Architecture Section, acceptat pentru publicare

- *Lucrări publicate în volumele conferințelor:*

7. Bodoga A., Nistorac A., Loghin M.C., Need for Textile Waste Decontamination in a Post-pandemic Environment, In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 17th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-ENG 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 926. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54664-8_28
8. Nistorac A., Loghin M.C, The future of textile waste materials in construction, In: The 18th Romanian Textiles and Leather Conference (pp.157-164), 2023, 10.2478/9788367405133-025
9. A. Bodoga, M. Costea, A. Iovan-Dragomir, A. Nistorac (2023) Educational tools used by teachers and students in the field of leather goods design, INTED2023 Proceedings, pp. 6995-6999.
10. A. Bodoga, A. Nistorac (2023) Teaching students about the use of textile waste as thermal insulating systems, INTED2023 Proceedings, pp. 6988-6994
11. Nistorac A., Bodoga A., Ailenei C. and Loghin C. "Sustainable Horizons: Exploring Technical Textiles and Environmental Responsibility". International Symposium "Technical Textiles - Present and Future". Edition 2023, Sciendo , 2024, pp. 136-140.
12. Bodoga A., Nistorac A., Ailenei C. and Loghin C.. "Carbon Footprint of Recycled Raw Materials from Textile Waste in a New Product Life Cycle". International Symposium "Technical Textiles - Present and Future". Edition 2023, Sciendo , 2024, pp. 115-120.

- **Cereri de brevet**

1. **La nivel național:**

- A100556/06.10.2023 (OSIM) - Procedeu de dezinfecție a produselor textile utilizate potențial contaminate cu agenți patogeni, Inventatori: Nistorac A., Bodoga A., Loghin M.C.
- În curs: Panouri din material compozit cu performanțe termice superioare prin valorificarea deșeurilor textile și de polistiren expandat, Inventatori: Nistorac A., Loghin M.C.

2. **La nivel european:** 10EPO/2024 – Device and method for disinfection of contaminated clothing products, Inventatori: Nistorac A., Bodoga A., Loghin M.C.

- **Participare salon inventică** - Medalie de argint - EUROINVENT 2023 - Mechatronic Decontamination System used in textile recycling process, Nistorac A., Bodoga A
- **Mobilitate de cercetare** la City University of Hong Kong (Top ARWU 101-150, Material Science and Engineering), perioada 15-31 octombrie 2023.
- **Experiență în cercetare:**
 1. **Asistent cercetător post-doc** în cadrul programului **Compete 2.0** Soluții Inovative al TUIASI, "Cercetări privind decontaminarea și eliminarea încărcăturii biologice a produselor de îmbrăcăminte și încălțăminte uzate, folosind un sistem mecatronic ReTex", perioada oct 2022 – oct 2023;
 2. **Cercetător asistent cercetare industrială proiect EFECON** Produse și tehnologii ecoinovatoare pentru eficiență energetică în construcții, în cadrul Facultății de Construcții și Instalații al TUIASI, proiect cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operațional Competitivitate - Parteneriate pentru transfer de cunoștințe (Knowledge Transfer Partnership), perioada martie 2023 – în curs

5.3. Limitările cercetării

În teza de doctorat elaborată, cercetarea prezintă o serie de limitări care trebuie luate în considerare:

- Cercetarea se bazează pe deșeuri textile și polistiren expandat, dar disponibilitatea și uniformitatea acestor materiale pot varia regional, influențând performanțele produselor finale și replicabilitatea rezultatelor în alte contexte geografice.
- Materialele inovatoare au fost evaluate în condiții de laborator, oferind date despre proprietățile lor termice și mecanice, dar aplicabilitatea acestora la scară largă și comportamentul în condiții reale de utilizare necesită investigații suplimentare.
- Teza analizează doar anumite metode de reciclare a deșeurilor textile cu polistiren expandat, excluzând alte procese care ar putea îmbunătăți performanțele și impactul ecologic al materialelor, limitând astfel opțiunile de optimizare.
- Deși tehnologiile de fabricație sunt eficiente în condiții experimentale, implementarea acestora la scară industrială poate necesita ajustări.

Aceste limitări indică necesitatea unor cercetări ulterioare pentru a extinde aplicabilitatea materialelor propuse și pentru a evalua pe deplin impactul lor asupra industriei și asupra mediului.

5.4. Direcții viitoare de cercetare

Cercetările viitoare ar trebui să exploreze testarea pe termen lung a materialelor din textile reciclate în diverse condiții de mediu. Este esențial să se evalueze rezistența mecanică și termică, inclusiv comportamentul în condiții de îngheț-dezghet, umiditate și expunere la radiații UV.

Transferul tehnologic către sectorul reciclării și producției de materiale de construcții ar putea accelera adoptarea pe scară largă a soluțiilor sustenabile. Aceasta va oferi oportunități pentru colaborări între sectorul public și privat, având potențialul de a îmbunătăți eficiența proceselor de producție.

Integrarea principiilor de design durabil în dezvoltarea materialelor din textile reciclate trebuie să fie o prioritate. Aceste materiale ar trebui să fie proiectate nu doar pentru eficiență energetică, ci și pentru a facilita reutilizarea sau reciclarea la sfârșitul ciclului lor de viață, asigurând o abordare circulară completă. Investigarea integrării acestora în construcții modulare sau prefabricate ar putea oferi perspective valoroase asupra aplicabilității lor în diverse medii de utilizare.

Pe baza rezultatelor cercetării, elaborarea unor standarde și reglementări pentru utilizarea textilelor reciclate în construcții ar putea stimula adoptarea acestora. Aceste standarde ar putea include criterii de performanță termică și cerințe de durabilitate, încurajând astfel producătorii de materiale să adopte soluții ecologice.

În concluzie, direcțiile viitoare de cercetare deschise de această lucrare oferă oportunități semnificative pentru dezvoltarea reciclării și utilizării sustenabile a resurselor. Studiile suplimentare pot explora comportamentul materialelor din textile reciclate în diverse condiții de mediu și pot contribui la îmbunătățirea tehnologiilor de reciclare, promovând astfel un viitor mai verde și mai eficient din punct de vedere al resurselor. Această teză constituie un pas important în implementarea principiilor economiei circulare în industriile textilă și de construcții, valorificând deșeurile textile într-o manieră inovatoare pentru a reduce consumul de resurse și cantitatea de deșeuri.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Aguiar, G.J.A., Almeida, L.R., Fernandes, B.S., Gavazza, S., Silva, G.L., Machado Santos, S., (2023), Use of life cycle assessment as a tool to evaluate the environmental impacts of textile effluents: a systematic review, *Environ. Sci, i Pollut. Res.*, Vol. 30, 76455–76470, <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27785-6>;
2. ASTM C518-21, (2021) Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus, Disponibil la: <https://www.astm.org/c0518-21.html>;
3. Avadanei, M., Olaru, S., Ionescu, I., Florea, A., Curteza, A., Loghin, E., Dulgheriu, I., Cezar-Doru, R., (2021), Clothing development process towards a circular model, *Industria Textilă*. 72, pp. 89-96;
4. Bär, S., & Krupka, J., (2022), Textile-reinforced concrete for sustainable infrastructure in Europe. *Construction and Building Materials*, 243, 121852;
5. Bianchi, G., Pisiotis, U., Cabrera Giraldez, M., (2022), GreenComp – Cadrul european de competențe în materie de durabilitate, Bacigalupo, M., Punie, Y. (editori), EUR 30955 RO, Oficiul pentru Publicații al Uniunii Europene, Luxemburg, ISBN 978-92-76-53197-5, doi:10.2760/152587, JRC128040;
6. Bodoga, A., Nistorac, A., Loghin, M.C., Isopescu, D.N., (2024), Environmental Impact of Footwear Using Life Cycle Assessment - Case Study of Professional Footwear, *Sustainability*, Vol. 16, 6094, <https://doi.org/10.3390/su16146094>;
7. European Commission (EC), (2022), Analysis of the national long-term renovation strategies, pp. 10-155. Disponibil la <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-12/SWD-Analysis-of-2020-LTRS.PDF>;
8. Fonseca, A., Ramalho, E., Gouveia, A., Henriques, R., Figueiredo, F., Nunes, J., (2023), Systematic Insights into a Textile Industry: Reviewing Life Cycle Assessment and Eco-Design, *Sustainability*, Vol.15(21):15267, <https://doi.org/10.3390/su152115267>;
9. Giorgi, G., & Marini, F., (2022), Textile-reinforced concrete for seismic retrofitting of historic buildings in Italy, *Engineering Structures*, Vol. 243, 121852;
10. Harsha R., Goutam S., (2021), Organizations and standards related to textile and fashion waste management and sustainability, Editor(s): Rajkishore Nayak, Asis Patnaik, *The Textile Institute Book Series, Waste Management in the Fashion and Textile Industries*, Woodhead Publishing, pp. 173-196, ISBN 9780128187586, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818758-6.00009-0>;
11. Hegyi, A., Vermeșan, H., Lăzărescu, A.V., Petcu, C., Bulacu, C., (2022), Thermal Insulation Mattresses Based on Textile Waste and Recycled Plastic Waste Fibres, *Integrating Natural*

- Fibres of Vegetable or Animal Origin. *Materials* (Basel), Vol.11;15(4):1348. doi: 10.3390/ma15041348. PMID: 35207888; PMCID: PMC8878766;
12. Isopescu, D.N., Adam, L., Nistorac, A., Bodoga, A., (2024), Carbon Footprint Assessment: Case Studies for Hemp-Based Eco-Concrete Masonry Blocks, *Buildings*, 14, 3150. <https://doi.org/10.3390/buildings14103150>
 13. Jamshaid, H., Shah, A., Shoaib, M., Mishra, R.K., (2024), Recycled-Textile-Waste-Based Sustainable Bricks: A Mechanical, Thermal, and Qualitative Life Cycle Overview. *Sustainability*, Vol. 16(10):4036, <https://doi.org/10.3390/su16104036>;
 14. Juanga-Labayen, J.P., Labayen I.V., Yuan, Q., (2022), A Review on Textile Recycling Practices and Challenges, *Textiles*, Vol. 2(1), pp. 174-188, <https://doi.org/10.3390/textiles2010010>;
 15. Kamble, Z., Behera, B.K., (2021), Sustainable hybrid composites reinforced with textile waste for construction and building applications, *Constr. Build. Mater.*, Vol. 284, 122800;
 16. Naimur, R., C., Sanjoy, K., P., Tapan, S., Yangyan, S., (2023), Implementing smart waste management system for a sustainable circular economy in the textile industry, *International Journal of Production Economics*, Vol. 262, ISSN 0925-5273;
 17. Nistorac A., Bodoga A., Ailenei C. and Loghin C., (2024), Sustainable Horizons: Exploring Technical Textiles and Environmental Responsibility, *International Symposium Technical Textiles - Present and Future*, Edition 2023, Sciendo 2024, pp. 136-140;
 18. Nistorac, A., (2023a), Teaching Students about the Use of Textile Waste as Thermal Insulating Systems, ISSN: 2340-1079 ISBN: 978-84-09-49026-4 Vol. I, pp. 6995-6999, doi: 10.21125/inted.2023.1901;
 19. Nistorac A., Loghin M.C, (2023b), The future of textile waste materials in construction, In: *The 18th Romanian Textiles and Leather Conference* (pp.157-164)
 20. Pathak, S.R., Sharma, P., Mali, H.S., (2024) Optimization of machining parameters during milling on glass fiber-reinforced textile composite, *Multiscale and Multidiscip. Model. Exp. and Des.*, Vol. 7, pp. 249–261, <https://doi.org/10.1007/s41939-023-00204-6>;
 21. Priyanga, R., Muthadhi, A., (2023), Optimization of compressive strength of cementitious matrix composition of Textile Reinforced Concrete—Taguchi approach, *Results in Control and Optimization*, Vol. 10, ISSN 2666-7207;
 22. Scheurer, M., Friese, D., Penzel, P., Dittel, G., Bhat, S., Overhage, V., Hahn, L., Heins, K., Cherif, C., Gries, T., (2023), Current and Future Trends in Textiles for Concrete Construction Applications. *Textiles*, Vol. 3(4), pp. 408-437, <https://doi.org/10.3390/textiles3040025>;
 23. Wojnowska-Baryła, I., Bernat, K., Zaborowska, M., Kulikowska, D., (2024), The Growing Problem of Textile Waste Generation—The Current State of Textile Waste Management, *Energies.*, Vol. 17(7):1528, <https://doi.org/10.3390/en17071528>;