



UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII IASI



CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

Student doctorand:

arh. Alexandra COJOCARU (căsătorită UNGUREANU)

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. ing. Dorina Nicolina ISOPESCU

IAȘI – 2024

UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI
R E C T O R A T U L

Către,

Vă facem cunoscut că, în data de 01.11.2024 la ora 10:30, în Sala 0.1R a Corpului R al Facultății de Construcții și Instalații Iași, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**„CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A
CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC”**

elaborate de doamna **arh. Alexandra COJOCARU (căsătorită UNGUREANU)** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1. Prof. univ. dr. ing. Andrei BURLACU | <i>președinte</i> |
| Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași | |
| 2. Prof. univ. dr. ing. Dorina Nicolina ISOPESCU | <i>conducător de doctorat</i> |
| Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași | |
| 3. Prof. univ. dr. ing. Ana-Maria GRĂMESCU | <i>referent oficial</i> |
| Universitatea „Ovidius” din Constanța | |
| 4. Prof. univ. dr. ing. Ioan AȘCHILEAN | <i>referent oficial</i> |
| Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca | |
| 5. Prof. univ. dr. arh. Mihai DRIȘCU | <i>referent oficial</i> |
| Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași | |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR,
Prof. univ. dr. ing. Dan Cașcaval

Secretar universitate,
Ing. Cristina Nagiț

„Dacă nu înveți, atunci nu ești creativ.

Este important să înveți din trecut. Dacă vrei să privești departe în viitor, trebuie mai întâi să te uiți departe în trecut. Și apoi să fii conștient că proiectezi pentru prezent. Dar, de asemenea, proiectezi pentru un viitor care este necunoscut.”

(Norman Foster)

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

CUPRINS

	Teză	Rezumat
CUPRINS	i	i
REZUMAT	v	-
LISTA FIGURILOR	vii	-
LISTA TABELELOR	xiii	-
CAPITOLUL 1. INTRODUCERE	1	1
1.1 Aspecte generale	1	1
1.2 Motivația și obiectivele cercetării	3	1
1.3 Conținutul tezei	7	1
CAPITOLUL 2. ASPECTE GENERALE PRIVIND EFICIENȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR	9	3
2.1 Starea de confort și locuința	9	3
2.2 Anvelopa termică, clădiri eficiente energetic, nZEB	12	3
2.3 Casa Pasivă	16	5
2.4 Eficiența energetică: strategii pasive de proiectare	28	6
2.5 Influența formei clădirii asupra bilanțului energetic	32	6
CAPITOLUL 3. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL MATERIALELOR FOLOSITE PENTRU CLĂDIRILE MODULARE PREFABRICATE	39	9
3.1 Prefabricarea și modularea clădirilor	39	9
3.2 Alegerea materialelor de construcție pentru anvelopa clădirii	42	10
3.3 Materiale și sisteme folosite pentru clădirile modulare prefabricate	44	10
3.4 Soluții de îmbunătățire a performanțelor de izolare termică ale betonului	48	11
3.4.1 Aspecte generale	48	11
3.4.2 Beton cu cauciuc mărunțit	50	12
3.4.3 Beton cu perlit	55	13

CAPITOLUL 4. STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ	61	15
4.1 Studii privind influența formei asupra balanței energetice	61	15
4.1.1 Aspecte generale	61	15
4.1.2 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 1	63	15
4.1.3 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 2	66	17
4.1.4 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 3	68	19
4.1.5 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 4	73	23
4.1.6 Rezultate și concluzii privind influența formei	78	26
4.2 Propunere modul prefabricat pentru locuință	79	27
CAPITOLUL 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ	87	31
5.1. Cercetări experimentale – Etapa I	87	31
5.1.1 Descrierea programului experimental – Etapa I	87	31
5.1.2 Realizarea probelor și determinarea lucrabilității compozițiilor propuse de beton cu cauciuc mărunțit	88	31
5.1.3 Determinarea densității pentru probele cu cauciuc mărunțit	90	31
5.1.4 Determinarea conductivității termice pentru probele cu cauciuc mărunțit	92	32
5.1.5 Determinarea rezistenței la compresiune pentru probele cu cauciuc mărunțit	96	34
5.1.6 Analiza aderenței cauciucului mărunțit față de celelalte elemente din compoziția betonului	99	35
5.2. Cercetări experimentale – Etapa II	102	36
5.2.1 Descrierea programului experimental – Etapa II	102	36
5.2.2 Realizarea probelor și determinarea lucrabilității compozițiilor propuse de beton cu perlit	103	36
5.2.3 Determinarea densității pentru probele cu perlit	104	37
5.2.4 Determinarea conductivității termice pentru probele cu perlit	107	37
5.2.5 Determinarea rezistenței la compresiune pentru probele cu perlit	109	39
5.2.6 Variația caracteristicilor fizio-mecanice a betonului prin înlocuirea totală a sortului 0-4mm din rețeta betonului cu perlit	111	40

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

5.2.7 Analiza aderenței perlitului față de celelalte elemente din compoziția betonului	115	41
5.3 Evaluarea comparativă a proprietăților de izolare termică pentru compozițiile de beton cu cauciuc mărunțit și de beton cu perlit studiate	116	42
CAPITOLUL 6. STUDII PRIVIND EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI PENTRU SOLUȚIILE DE BETON UTILIZABILE LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ	121	45
6.1 Introducere	121	45
6.2 Metodologia LCA	122	45
6.3 Obiectivul și domeniul, inventarul ciclului de viață și evaluarea impactului asupra mediului	124	45
6.4 Scenarii de evaluare	125	46
6.5 Evaluarea impactului betonului asupra mediului. Studii de caz	127	47
6.5.1 Studiu de caz 1 – rețeta beton standard – Martor	127	47
6.5.2 Studiu de caz 2 – beton cu 10% cauciuc – S1 – 10C	130	47
6.5.3 Studiu de caz 3 – beton cu 20% cauciuc – S2 – 20C	132	47
6.5.4 Studiu de caz 4 – beton cu 30% cauciuc – S3 – 30C	134	48
6.5.5 Studiu de caz 5 – beton cu 10% perlit – S1 – 10P	136	48
6.5.6 Studiu de caz 6 – beton cu 20% perlit – S2 – 20P	139	48
6.5.7 Studiu de caz 7 – beton cu 30% perlit – S3 – 30P	141	49
6.5.8 Studiu de caz 8 – beton cu 100% perlit – S4 – 100P	143	49
6.6 Interpretarea rezultatelor obținute în cadrul studiilor de caz efectuate	146	49
CAPITOLUL 7. CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA CARACTERISTICILOR DE PUNTE TERMICĂ. STUDII DE CAZ PENTRU MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ	151	53
7.1 Introducere	151	53
7.2 Compararea rezistențelor termice unidirecționale în câmp curent	152	53
7.2.1 Determinarea rezistențelor termice	152	53
7.2.2 Compararea rezultatelor	162	54
7.3 Determinarea coeficientului liniar de transfer termic	163	55
7.3.1 Studiu de caz 1	164	55
7.3.2 Studiu de caz 2	165	55
7.3.3 Studiu de caz 3	165	55
7.3.4 Studiu de caz 4	166	56

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

7.3.5 Studiu de caz 5	167	56
7.3.6 Interpretarea rezultatelor studiilor de caz 1-5	168	56
7.3.7 Studiu de caz 6	169	57
7.3.8 Studiu de caz 7	170	57
7.3.9 Studiu de caz 8	171	57
7.3.10 Studiu de caz 9	172	58
7.3.11 Interpretarea rezultatelor studiilor de caz 1,2 și 6-9	173	58
7.4 Interpretarea rezultatelor și calculul U pentru puntea termică în cazul modulului de locuință propus	174	59
CAPITOLUL 8. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII. VALORIFICAREA REZULTATELOR OBȚINUTE ÎN CADRUL PROGRAMULUI DE CERCETARE DOCTORALĂ. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	179	63
8.1 Concluzii generale	179	63
8.2 Contribuții	182	64
8.3 Valorificarea rezultatelor	184	66
8.4 Direcții viitoare de cercetare	187	69
BIBLIOGRAFIE	189	71

CAPITOLUL 1.

INTRODUCERE

1.1 Aspecte generale

În ultimii ani, la nivel mondial, consumul de energie din sectorul construcțiilor a crescut exponențial și a ajuns la aproximativ 30% - 40% din toată energia primară (UNEP, 2007) și contribuie la aproximativ 26% din totalul emisiilor de CO₂ din Uniunea Europeană, conform Directivei Uniunii Europene din 2018 (European Commission Directive, 2018). Consumul de energie al clădirilor rezidențiale crește pe plan mondial cu aproximativ 30% anual (Allouhi et al., 2015). Din acest motiv, realizarea clădirilor rezidențiale sustenabile a avut prioritate în implementarea unor concepte de eficiență energetică.

1.2 Motivația și obiectivele cercetării

Tematica generală a tezei de doctorat se referă la dezvoltarea unor soluții conceptuale moderne, prin studii de materiale și formă arhitecturală, pentru realizarea în sistem modular prefabricat a clădirilor eficiente energetic.

Pentru a avea o conductivitate termică bună, elementele anvelopei termice ale clădirilor au nevoie de materiale termoizolante clasice cu grosimi mari, care nu oferă soluția conformă, sub aspectul rezistenței și stabilității, pentru realizarea construcțiilor. Din acest motiv, folosirea materialelor naturale sau a deșeurilor, pentru a îmbunătăți din punct de vedere al performanțelor termice materialele existente utilizate în domeniul construcțiilor la elementele componente ale anvelopei termice, poate fi o soluție favorabilă în dezvoltarea sustenabilă a clădirilor.

Obiectivul principal al programului de cercetare dezvoltat constă în a oferi un model de locuință unifamilială, cu un grad ridicat de flexibilitate a partiului, cu o înaltă performanță energetică și impact minim asupra mediului, realizabilă la un preț accesibil diferitelor categorii sociale.

1.3 Conținutul tezei

Teza de doctorat **Contribuții la realizarea în sistem modular prefabricat a clădirilor eficiente energetic** este structurată pe opt capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 – *Introducere*, prezintă motivația și obiectivele ce au stat la baza programului de cercetare al tezei de doctorat și etapele programului de cercetare, iar în a doua parte, sunt descrise succint capitolele și conținutul lor.

Capitolul 2 – *Aspecte generale privind eficiența energetică a clădirilor*, constă într-o sinteză bibliografică a stadiului actual al cercetării în domeniul conceptelor de eficiență energetică, conceptului de Casă Pasivă și impactul asupra stării de confort.

Capitolul 3 - *Stadiul actual al cercetării în domeniul materialelor folosite pentru clădirile modulare prefabricate*, prezintă un studiu de sinteză privind prefabricarea anvelopei termice, tipuri de case prefabricate și materiale folosite. De asemenea în Capitolul 3 sunt prezentate studii de îmbunătățire termică a betonului.

Capitolul 4 – *Studii privind modulul prefabricat de clădire rezidențială*, prezintă o serie de studii pentru identificarea unui set de parametri necesari în realizarea unui ghid de proiectare de arhitectură a clădirilor rezidențiale prefabricate prin analiza influenței formei în bilanțul energetic.

Capitolul 5 – *Cercetări experimentale pentru îmbunătățirea proprietăților termice ale betonului utilizat la modulul prefabricat propus*, conține programul experimental dezvoltat în scopul determinării caracteristicilor unor amestecuri de beton cu cauciuc mărunțit și de beton cu perlit în diverse procentaje.

Capitolul 6 – *Studii privind evaluarea impactului asupra mediului pentru soluțiile de beton utilizabile la modulul prefabricat propus*, explorează utilizarea deșeurilor de cauciuc mărunțit și de perlit în diverse procente ca înlocuitor parțial pentru diverse agregate în producția de beton și analizează impactul acestor propuneri asupra mediului printr-o analiză a ciclului de viață (LCA).

Capitolul 7 – *Cercetări privind evaluarea caracteristicilor de punte termică. Studii de caz pentru modulul prefabricat propus*, prezintă o analiză multicriterială sub aspectul performanțelor termice, a rezultatelor obținute pe cale experimentală.

Capitolul 8 – *Concluzii generale. Contribuții. Valorificarea rezultatelor obținute în cadrul programului de cercetare doctorală. Direcții viitoare de cercetare*, expune concluziile generale ce reies din cercetările realizate și valorificarea rezultatelor.

CAPITOLUL 2.

ASPECTE GENERALE PRIVIND EFICIENȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR

2.1 Starea de confort și locuința

Confortul termic oferă starea de bine, care este evaluată prin percepția subiectivă a fiecărui om (Emetere, 2022). De asemenea, există șapte factori care determină confortul termic (Permana, As'ad, 2023). Trei criterii sunt diferite pentru fiecare persoană în parte: starea psihologică și aspecte personale ale omului, precum vârsta, genul și starea de sănătate, rata metabolică și nivelul de îmbrăcăminte adoptat. Celelalte patru sunt caracteristici ale spațiului interior: temperatura și umiditatea aerului, temperatura medie radiantă și viteza aerului (Permana, As'ad, 2023). Adicional acestor factori se numără și intensitatea luminoasă, calitatea aerului în sine (prospețimea acestuia, concentrația diferitelor substanțe și mirosuri), zgomotele și vibrațiile.

2.2 Anvelopa termică, clădiri eficiente energetic, nZEB

În ultimii ani, urmare a Acordului de la Paris, majoritatea țărilor au elaborat și adaptat o serie de politici pentru a facilita implementarea strategiilor de reducere a emisiilor de carbon în domeniul construcțiilor, care includ dezvoltarea tehnologiilor verzi pentru clădiri, utilizarea materialelor de construcție sustenabile și economisirea energiei în utilizarea clădirii (Wei et al., 2023). Aceste directive folosesc concepte pentru clădiri „cu emisii reduse de carbon”, „cu consum de energie aproape zero” sau chiar „cu consum de energie zero” ca unelte pentru reducerea emisiilor de carbon prin eliminarea resurselor convenționale de energie poluantă (Wei et al., 2023).

Conceptele de clădiri eficiente energetic sunt numeroase, însă cele mai cunoscute în România sunt:

- nZEB (Net Zero Energy Building) – clădiri cu consum de energie aproape zero, concept obligatoriu pentru toate clădirile construite în România din 2020, conform Directivei 2010/31/UE a Parlamentului și a Consiliului European și

ASPECTE GENERALE PRIVIND EFICIENȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR

- Case Pasive (Passive House – clădiri certificate de Institutul de Case Pasive din Germania) - clădiri care asigură un climat interior confortabil, și vara, și iarna, fără a fi nevoie de o sursă convențională de încălzire/răcire, conform Wikipedia (https://ro.wikipedia.org/wiki/Cas%C4%83_pasiv%C4%83)

Conform Ghidului (RTC 4, 2022), există o listă de cerințe minime de confort higrotermic, care include nivelul de etanșeitate ridicat, pierderi minime de căldură prin ventilație accidentală și ventilare mecanică cu recuperare de energie (Figura 2.3.a). Pentru a limita pierderile de căldură este importantă termoizolarea corectă a elementelor anvelopei termice, corectarea punților termice (Figura 2.3.b) și optimizarea aporturilor solare prin orientarea clădirii în funcție de punctele cardinale.

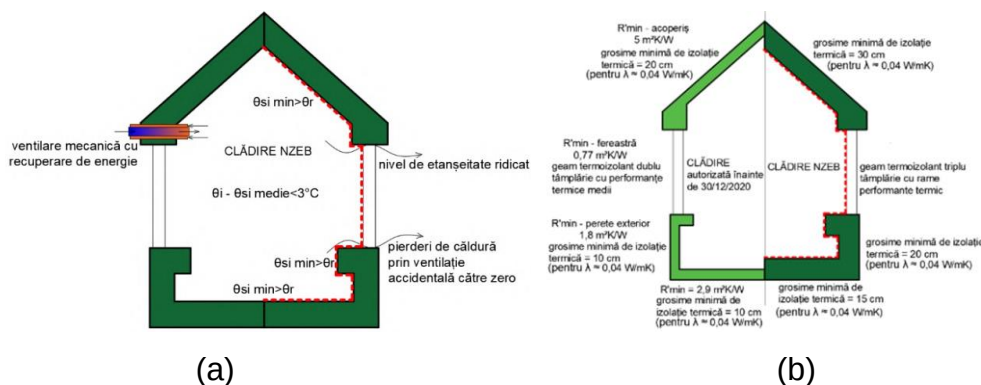


Figura 2.3. (a) Cerințe minime de confort higrotermic și (b) Conformarea elementelor de anvelopă (RTC 4, 2022)

Pentru clădirile nZEB, conform Ghidului (RTC 4, 2022), ventilarea naturală este recomandată în lunile de tranziție sezonieră și pentru răcirea pe timp de noapte. Datorită nivelului ridicat de etanșare la aer (Figura 2.4.a), care nu trebuie să depășească 1 schimb de aer pe oră la o presiune de 50 Pascal ($n_{50} < 1,0 \text{ sch/h}$), este recomandată și o ventilare mecanică cu recuperare de căldură (Figura 2.4.b).

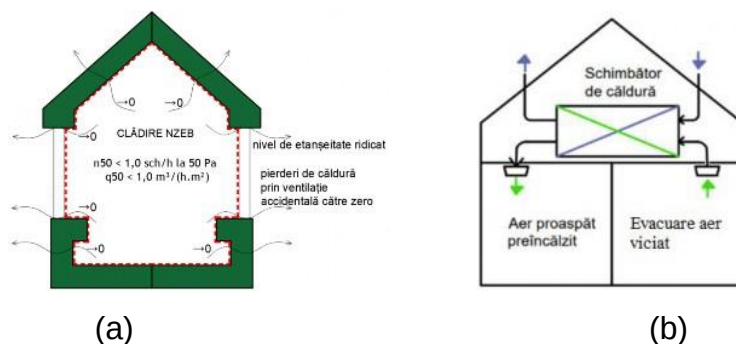


Figura 2.4. (a) Etanșeitatea la aer și (b) Ventilare mecanică cu recuperare de căldură (RTC 4, 2022)

2.3 Casa Pasivă

Conceptul de „casă pasivă” (Passive House), dezvoltat de Dr. Wolfgang Feist de la Passive House Institute din Germania, reprezintă o metodologie inovativă importantă în domeniul de evaluare a eficienței energetice a clădirilor din întreaga lume (Cojocaru, Isopescu, 2021). Față de clădirile nZEB, condițiile de performanță energetică pentru Case Pasive sunt mai restrictive, însă nu condiționează utilizarea energiei din surse regenerabile, deși în multe cazuri se optează pentru astfel de alternative: sisteme fotovoltaice, sisteme solar-termice sau pompe de căldură.

Standardul de casă pasivă este îndeplinit dacă o clădire are un necesar de energie pentru încălzire de maxim 15kWh/m² pe an și un necesar de energie total de maxim 120kWh/m² pe an (Passive House Planning).

Pentru a îndeplini criteriile menționate anterior, se recomandă utilizarea strategiilor pasive și implementarea celor cinci principii ale casei pasive (Passive House Institute; Cojocaru et al., 2024) (Figura 2.6.):

- izolarea continuă a anvelopei termice;
- ferestre performante;
- coeficientul n50 (numărul de schimburi de aer pe oră la o diferență de presiune de 50Pa) să fie sub 0,6 pentru etanșeitatea anvelopei;
- eliminarea punților termice;
- utilizarea ventilării cu recuperare de căldură.

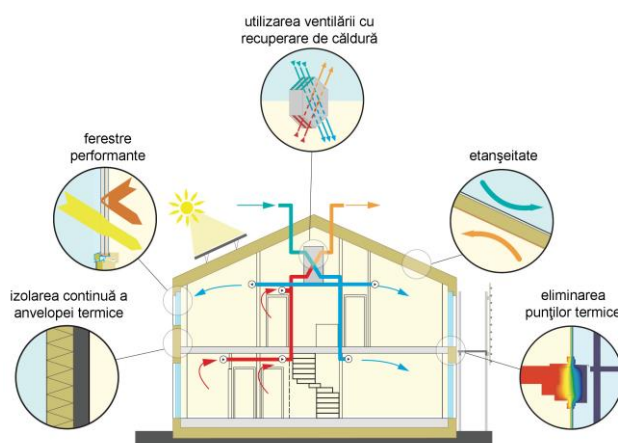


Figura 2.6. Cele cinci principii ale Casei Pasive (Passive House Institute)

De-a lungul timpului, au fost realizate clădiri pasive în diferite zone climatice, iar diverse articole care prezintă exemple din întreaga lume oferă particularități

specifice ale clădirilor adaptate standardelor, dar și mediului înconjurător și condițiilor climatice (Schnieders et al., 2015; Schnieders et al., 2020). Exemplele variate prezentate, care respectă criteriile de certificare a unei case pasive, demonstrează că acest concept poate fi aplicat în diverse zone climatice, fără a limita creativitatea arhitectului.

2.4 Eficiența energetică: strategii pasive de proiectare

Proiectarea integrată implică luarea în considerare a mai multor aspecte de la faza de concept - materiale, orientare, formă și spațiul interior, pentru a răspunde cerințelor specifice de performanță, cum ar fi spațialitatea, stabilitatea structurală, siguranța în exploatare, calitatea aerului, confortul termic și eficiența energetică (Baker, Steemers, 2000). Colaborarea interdisciplinară între arhitectură, inginerie și sociologie, împreună cu implicarea activă a utilizatorilor, sunt esențiale pentru realizarea acestor obiective. O provocare contemporană importantă este găsirea unui echilibru între performanța energetică generală și menținerea unui mediu interior confortabil.

Toate strategiile pasive funcționează prin impunerea unei anumite condiții pentru spațiul interior și se reflectă direct în configurația planimetrică și volumul clădirii. Următoarele elemente trebuie luate în considerare în definirea geometrică a clădirilor:

- orientarea clădirii după punctele cardinale;
- poziția clădirii în funcție de direcția vântului;
- raportul dintre suprafața peretelui și volumul interior;
- forma clădirii în plan;
- configurația spațială.

2.5 Influența formei clădirii asupra bilanțului energetic

Forma unei clădiri influențează bilanțul energetic prin modul în care sunt rezultate aportul solar și pierderile de căldură, datorită dimensiunii suprafeței totale a anvelopei termice expuse spre exterior (spre aer sau sol).

Există numeroase exemple de studii în care este concluzionat că coeficientul de formă influențează necesarul de energie pentru o clădire: valorile limită pentru

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

coeficientul U al anvelopei termice pot varia și în funcție de forma clădirii (Oral, Yilmaz, 2001), iar în urma unei analize a 14 forme de clădire a rezultat că în climatul rece și temperat, consumul de energie este invers proporțional cu coeficientul de formă (Depecker et al., 2001; Cojocaru, Isopescu, 2021). O formă și o orientare adecvată în funcție de condițiile climatice, pot reduce necesarul de energie cu 30%-40%, fără a implica costuri suplimentare (Wang et al., 2015).

Bochenska-Skalecka (2011) sugerează că existența unui ghid care să prezinte într-o manieră accesibilă și atractivă soluțiile de proiectare ce integrează tehnologii inovatoare ar facilita diseminarea cunoștințelor despre sistemele eficiente energetic.

Acest tip de ghid ar putea nu doar să încurajeze adoptarea unor practici sustenabile, ci și să fie utilizat ca material educațional pentru studenții de la Facultățile de Arhitectură, Ingineria Clădirilor și Ingineria Mediului (Bochenska-Skalecka, 2011). Soluțiile model ar trebui să fie personalizate în funcție de caracteristicile locale, oferind astfel o abordare practică și relevantă pentru viitorii specialiști în construcții. O astfel de inițiativă ar putea contribui la pregătirea unei noi generații de profesioniști capabili să implementeze eficient principiile de dezvoltare durabilă și eficiență energetică în proiectele lor.

ASPECTE GENERALE PRIVIND EFICIENȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR

CAPITOLUL 3.

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL MATERIALELOR FOLOSITE PENTRU CLĂDIRILE MODULARE PREFABRICATE

3.1 Prefabricarea și modularea clădirilor

Conceptul de construcții prefabricate nu este nou, fiind folosit în multe țări, inclusiv în România. Folosirea elementelor prefabricate transformă vechiul proces de lucru discontinuu de pe șantierele de construcții într-o tehnologie cu caracter industrial, de montare și asamblare a unor elemente produse în fabrici, sau ateliere de prefabricate, care prezintă multiple avantaje. În acest context, clădirile modulare prefabricate reprezintă următoarea generație de locuințe, iar materialele sustenabile devin o alternativă fiabilă la materialele tradiționale.

Așa cum menționează Boafo et al. (2016), majoritatea clădirilor contemporane folosesc procesul de prefabricare, de fabricație în afara șantierului, a unor elemente componente ale anvelopei termice: de la sistemele de ferestre până la alte sisteme constructive, mai complexe. Producția industrializată, care implică standardizarea și modularea, poate avea numeroase beneficii în contextul tehnologiei de execuție (Figura 3.1.).

Prefabricarea în construcții poate fi împărțită în mai multe tipuri în funcție de dimensiunea elementelor realizate în fabrică (Boafo et al., 2016):

- prefabricarea componentelor cu posibilități mari de personalizare, însă cu muncă suplimentară pe șantier (ferestre, scări, kit-uri de beton prefabricat s.a.m.d.);
- prefabricarea panourilor pentru pereți, pardoseli și acoperiș, care oferă avantaje de transport facil pe șantier și rapiditate în execuție (panouri SIP);
- prefabricarea structurilor modulare, cu posibilități de finisare a elementelor anvelopei termice;
- prefabricarea structurilor hibride, realizate din panouri și structuri modulare;
- prefabricarea clădirilor întregi unitare, dar care au limitări din punct de vedere al transportului complicat din cauza dimensiunii și greutății mari ale prefabricatului.



Figura 3.1. Procesul de instalare a unei structuri hibride realizată din panouri și structuri modulare (Bafo et al., 2016)

3.2 Alegerea materialelor de construcție pentru anvelopa clădirii

O clădire eficientă energetic poate fi realizată prin utilizarea unei varietăți de tehnologii, forme arhitecturale și materiale de construcție. În cercetarea desfășurată de Kuzman et al. (2013), scopul a fost identificarea unui sistem constructiv optim pentru clădirile eficiente energetic. În concluzia studiului, Kuzman et al. (2013) afirmă că lemnul este materialul preferat pentru casele pasive din cele patru studiate pentru următoarele avantaje: posibilitatea realistă de a fi eliminat la sfârșitul ciclului de folosință, caracterul estetic, material ecologic, asociat pozitiv cu starea de bine, material cu amprentă de carbon redusă, materie primă regenerabilă, bun izolator termic cu proprietăți mecanice bune.

3.3 Materiale și sisteme folosite pentru clădirile modulare prefabricate

Clădirile modulare prefabricate pot fi realizate din panouri ușoare cu structură din lemn (tip timber-frame), din panouri din lemn stratificat încrucișat (CLT), din panouri termoizolante structurale (SIP), panouri pe structură de oțel sau din elemente sandwich din beton prefabricat s.a.m.d. (Sah et al., 2024).

Panourile ușoare din structură din lemn (tip timber-frame) sunt realizate din montanți și grinzi din lemn, între care este poziționat un material izolant și ulterior este placat cu plăci lemnoase de tip OSB (oriented strand board) sau DHF (high density fiberboard).

Dezvoltarea tehnologiilor utilizate în prelucrarea lemnului ca material de construcție oferă și alte variante de materiale de construcție, precum **Cross-Laminated Timber (CLT)**, **panouri din lemn stratificat încrucișat**, care apar în

Europa la începutul anilor 1990 (Espinoza et al., 2016). Elementele de construcție din CLT (pereții, planșeele și acoperișurile) pot fi în întregime prefabricate și livrate pe șantier pentru montaj.

Panourile termoizolante structurale (SIP) sunt panouri ușoare prefabricate de tip sandwich, care sunt utilizate ca pereți portant, compuse dintr-un miez din spumă termoizolantă lipit de două straturi de OSB. Deși comportamentul la foc este un dezavantaj al acestor panouri, avantajele sunt numeroase: ușurința în fabricare, costuri reduse, emisii de carbon aproape zero (Finnegan et al., 2022), performanță în izolare termică, eliminarea punților termice în montaj datorită lipsei necesității din punct de vedere structural de a poziționa aceste panouri între stâlpi (Sah et al., 2024).

Asemănătoare cu panourile ușoare de tip timber-frame sunt **panouri pe structură de oțel**, în care cadrele sunt realizate din oțel pentru a crește durabilitatea, rezistența la foc și rapiditatea de fabricare (STUDCO Building Systems).

Panourile sandwich din beton prefabricat sunt realizate din 3 straturi: un miez de termoizolație și două straturi de beton prinse prin conectori metalici. Tehnologia acestor panouri a fost dezvoltată în anii '50-'60 datorită lipsei de izolație termică a panourilor prefabricate din beton (Oliveira et. al., 2022).

3.4 Soluții de îmbunătățire a performanțelor de izolare termică ale betonului

3.4.1 Aspecte generale

România este încadrată în zonă cu risc seismic major, cu cutremure între 6-7 grade pe scara Richter și, din acest motiv, betonul rămâne alegerea convențională pentru infrastructură și placa de parter, dar nu numai. Acest lucru se întâmplă pentru toate țările cu risc seismic major (Cojocaru et al., 2023). Betonul este un material utilizat pe scară largă în construcții, cu preț accesibil, robust și ușor de utilizat (Meyer, 2009; Naik, 2008). Cu toate acestea, rezistența termică a betonului impactează negativ și semnificativ consumul de energie al clădirii. În consecință, un beton cu o rezistență termică îmbunătățită poate contribui la bilanțul energetic al unei clădiri.

Datorită nevoii de îmbunătățire a proprietăților betonului și de reducere a impactul domeniului construcțiilor asupra mediului înconjurător, s-au realizat diverse

cercetări axate spre producția de beton „verde” (Al-Otaibi, 2024). O alternativă de materiale care pot fi înglobate în beton sunt deșeurile.

3.4.2 Beton cu cauciuc mărunțit

Lipsa opțiunilor de reciclare a deșeurilor, lipsa posibilităților de depozitare și creșterea anuală a cantității de anvelope uzate poate prezenta riscuri mari pentru mediu (Cojocaru et al., 2023).

Din punct de vedere al eficienței energetice, există mai multe motive pentru care înglobarea cauciucului mărunțit îmbunătățește conductivitatea termică a betonului. În primul rând se mărește porozitatea betonului și scade densitatea, asociată cu procesul de captare a aerului între particulele de cauciuc și beton datorită încorporării cauciucului mărunțit (Marie, 2017).

Există numeroase studii care analizează proprietățile betonului în care a fost încorporat cauciuc mărunțit, iar rezultatele sunt variate în funcție de compoziția amestecului, procente de cauciuc utilizate și folosirea unor adaosuri (Cojocaru et al., 2023).

Din punct de vedere al proprietăților de rezistență a betonului, rezultatele majoritare ale cercetărilor au raportat o micșorare a rezistenței la compresiune.

În concluzie, având în vedere stadiul actual al cercetării prezentat anterior, reutilizarea cauciucului uzat, prin mărunțirea și înglobarea lui în amestecurile de beton oferă:

- beneficii economice prin utilizarea unui material reciclat, cu costuri reduse;
- beneficii de mediu, datorită economisirii de agregate naturale;
- beneficii de mediu prin reducerea cantităților de deșeuri, care nu sunt biodegradabile și care au un impact important asupra mediului înconjurător și
- beneficii asupra unor proprietăți ale betonului: reducerea greutății, creșterea permeabilității la vapori, limitarea capacității de absorbție a apei și reducerea conductivității termice (Cojocaru et al., 2023).

3.4.3. Beton cu perlit

Perlitul este un material natural, o rocă vulcanică naturală sticloasă, care este apreciată pentru proprietățile sale de densitate redusă, rezistență la foc, și de îmbunătățire termică și acustică și poate fi utilizat în construcții. Cererea tot mai mare de producție și îmbunătățirea capacităților fabricilor, oferă posibilitatea de creștere accentuată a producției, care poate genera deșeuri de perlit cu granule mai mici de 200 μm în cantități relativ mari, care sunt dificil de eliminat.

Densitatea redusă datorată microstructurii granulare, cu o porozitate ridicată, oferă perlitului performanțe de izolare termică, potrivite pentru a fi folosit ca o umplutură minerală ușoară (Mladenovic et al., 2004).

Rezistența la compresiune este o caracteristică importantă a betonului ca material de construcție structural, iar cercetările indică o reducere semnificativă a acesteia, datorată înlocuirii parțiale a nisipului natural cu perlit (Sriwattanapong et al., 2013).

Structura poroasă a perlitului contribuie la reducerea conductivității termice prin înlocuirea agregatului natural cu perlit expandat în compozițiile de beton (Mladenovic et al., 2004; Jedidi et al., 2015).

Printre beneficiile perlitului se numără îmbunătățirea lucrabilității, reducerea densității, creșterea rezistenței la foc și îmbunătățirea izolației termice și fonice. Înlocuirea agregatelor naturale cu perlit contribuie, de asemenea, la reducerea consumului și conservarea resurselor naturale. Deși utilizarea perlitului în compoziția de beton, ca parte din agregat, reduce rezistența mecanică și crește capacitatea de absorbție a apei, structura poroasă a perlitului reduce densitatea betonului și crește performanțele acustice și termice.

STADIUL ACTUAL AL CERCETARII IN DOMENIUL MATERIALELOR FOLOSITE PENTRU CLĂDIRILE MODULARE PREFABRICATE

CAPITOLUL 4.

STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ

4.1 Studii privind influența formei asupra balanței energetice

4.1.1 Aspecte generale

Pentru a formula contribuții relevante și a propune un modul de locuință unifamilială optim din punct de vedere al eficienței energetice, au fost realizate mai multe studii de caz asupra unor module rezidențiale, cu forme paralelipipedice variate și cu diferite configurații dimensionale.

4.1.2 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 1

În cazul primului studiu de caz (Figura 4.1.) au fost analizate diferențele dintre trei module cu un singur nivel, cu o suprafață construită constantă de 64m^2 , un volum încălzit constant de 160m^3 și un raport de aspect 2D variabil, cu lungimea și lățimea modulului diferite.

Modulele analizate sunt: un modul cu plan pătrat (1A) și două module cu plan liniar (1B și 1C). Pentru a avea aporturi solare constante pentru toate cele 3 module, s-a propus realizarea aceleași suprafețe vitrate, poziționată pe fațada Sudică, cu o arie egală cu 8m^2 , (50% din suprafața fațadei Sudice pentru modulul 1A) la toate modulele analizate (Cojocaru et al., 2021).

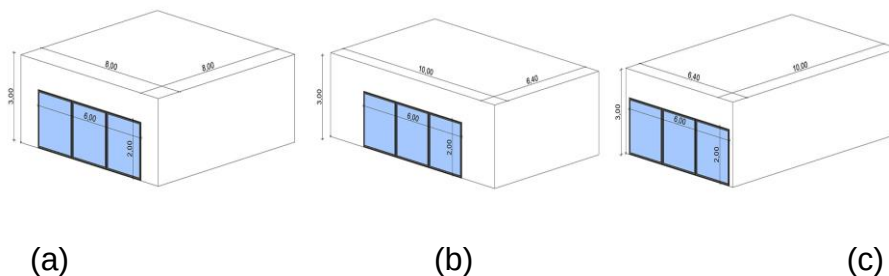
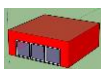
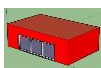
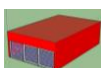


Figura 4.1. Cele trei module analizate: (a) 1A – cu plan pătrat; (b) 1B – cu plan liniar, cu fațada Nordică / Sudică mai lungă decât fațada Vestică / Estică; (c) 1C – cu plan liniar, cu fațada Vestică / Estică mai lungă decât fațada Nordică / Sudică

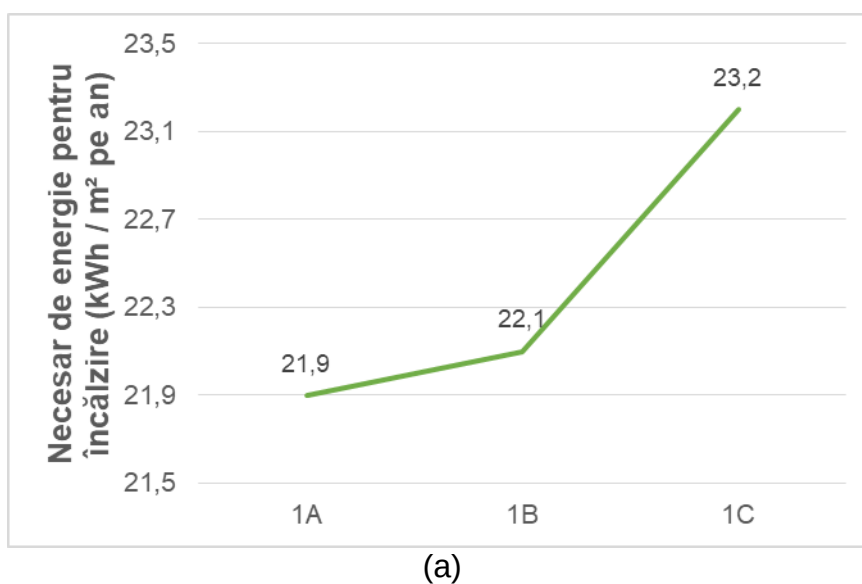
Rezultatele cercetării analitice sunt prezentate în Tabelul 4.2.

STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ

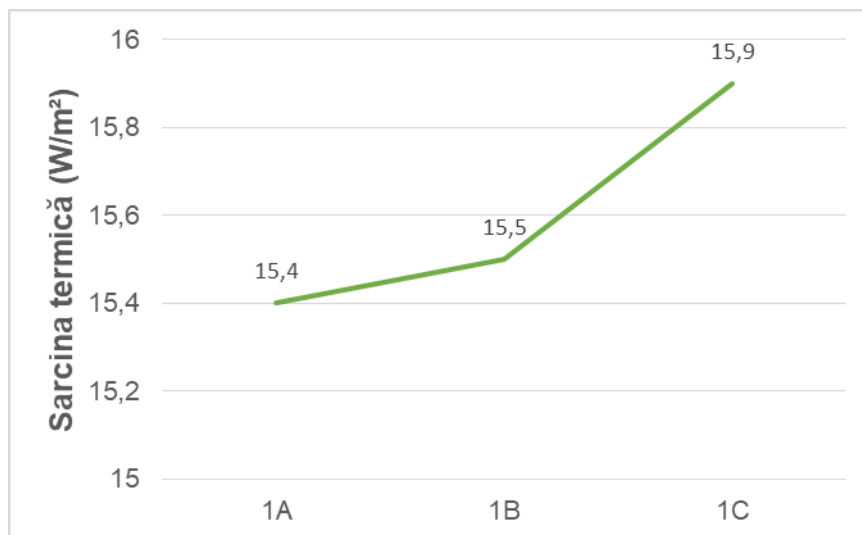
Tabelul 4.2. Comparația dintre modulul cu plan pătrat și pe un singur nivel (modul 1A) vs. modulele cu plan liniar și pe un singur nivel (modulele 1B și 1C) (Cojocaru et al., 2021)

	Forma	E	Arie t (m²)	Volum interior încălzit (m³)	Raport de aspect 2D - plan (L/I)	Feres- tre pe fașada Sudică (m²)	Feres- tre pe fașada Vestică (%)	Feres- tre pe fașada Estică (%)	Necesar de energie pentru încălzire (kWh / m² pe an)	Sarcina termică (W/m²)	Frecvenșă de supraîncăl- zire (%)
1 A		1	64	160	1	12	0	0	21,9	15,4	40,7
1 B		1	64	160	1,56	12	0	0	22,1	15,5	40,6
1 C		1	64	160	0,64	12	0	0	23,2	15,9	40,1

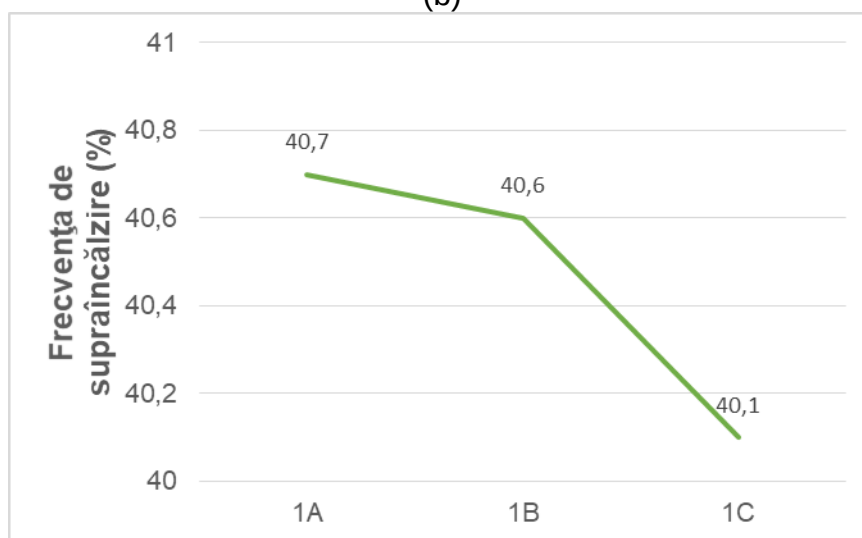
Din analiza comparativă a rezultatelor obținute se observă că modulul 1A are necesarul de energie pentru încălzire mai mic cu 0,9% față de modulul 1B și cu 5,6% față de modulul 1C. De asemenea, sarcina termică pentru modulul 1A este mai mică cu 0,65% față de modulul 1B, respectiv cu 13,14% față de modulul 1C (Figura 4.2.).



CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC



(b)

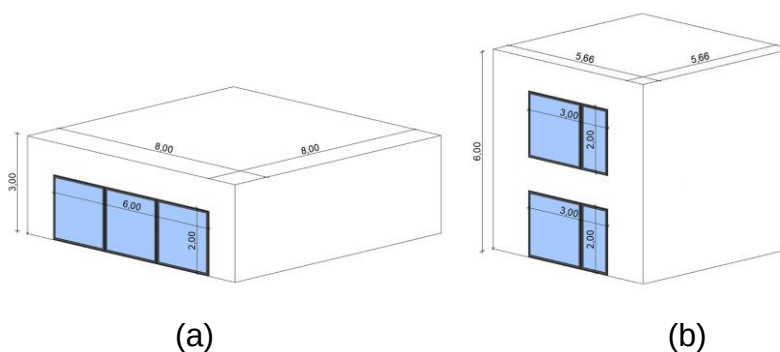


(c)

Figura 4.2. Rezultatele analizei parametrilor pentru cele 3 module:

(a) Necesarul de încălzire; (b) Sarcina termică; (c) Frecvența de supraîncălzire

4.1.3 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 2



(a)

(b)

Figura 4.3. Cele două module analizate: (a) 1A – cu plan pătrat și un singur etaj; (b) 2A – cu plan pătrat și două etaje

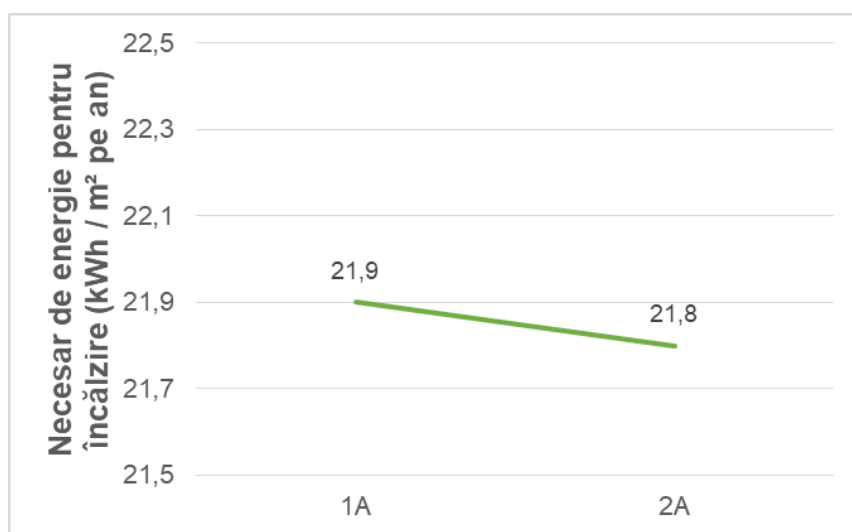
STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ

În cel de al doilea studiu de caz (Figura 4.3.) a fost realizată comparația, pentru aceeași parametri, între valorile obținute pentru două module: unul cu un singur etaj (1A) și altul cu două etaje (2A) (Cojocaru et al., 2021).

În comparație, modulul cu două etaje (2A), care păstrează aceeași suprafață construită, același volum încălzit și aceeași suprafață de ferestre poziționate pe fațada Sudică, prezintă un necesar de energie pentru încălzire de 21,8kWh/m² pe an și o sarcină termică de 15,2W/m², așa cum este prezentat în Tabelul 4.3. (Cojocaru et al., 2021). De asemenea, sarcina termică pentru modulul 2A este mai mică cu 1,30% față de modulul 1A (Figura 4.4.).

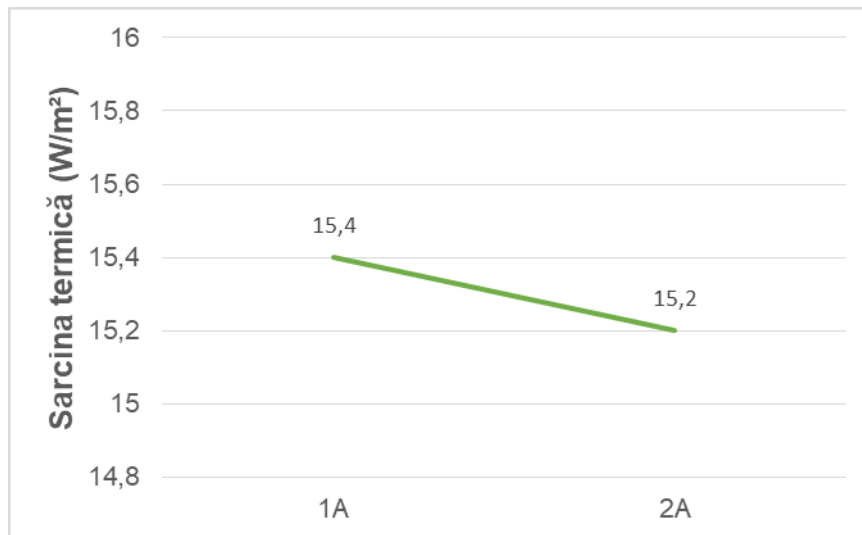
Tabelul 4.3. Comparația dintre modulul cu plan pătrat și pe un singur nivel (modul 1A) vs. modulul cu plan pătrat și pe două nivele (modul 2A) (Cojocaru et al., 2021)

	Forma	E	Arie	Volum	Raport	Feres-	Feres-	Feres-	Necesar	Sarcina	Frecvența de
		t	(m²)	interior	de	tre pe	tre pe	tre pe	de	termică	supraîncăl-
		a		încălzit	aspect	fațada	fațada	fațada	energie	(W/m²)	zire
		j		(m³)	2D -	Sudică	Vestică	Estică	pentru		(%)
		e			plan	(m²)	(%)	(%)	încălzire		
					(L/I)				(kWh / m²		
									pe an)		
1		1	64	160	1	8	0	0	21,9	15,4	40,7
A											
2		2	64	160	1	8	0	0	21,8	15,2	40,2
A											

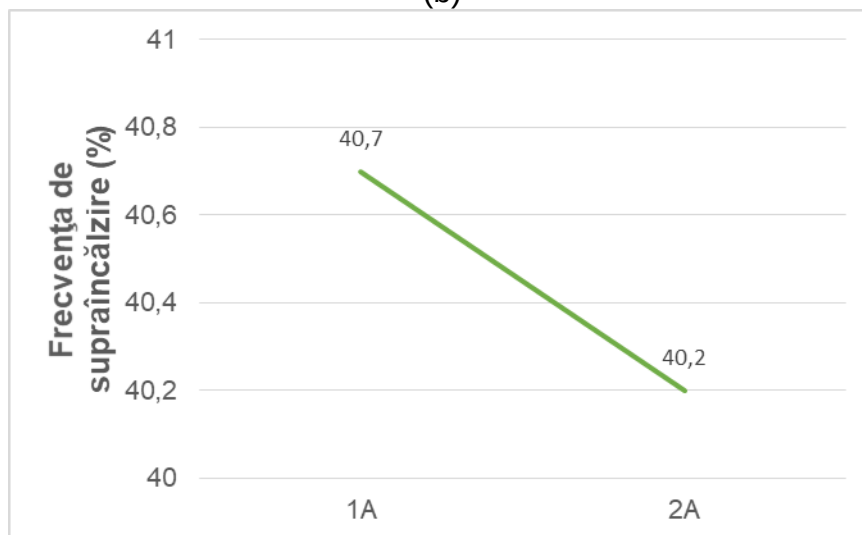


(a)

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC



(b)



(c)

Figura 4.4. Rezultatele analizei parametrilor pentru cele 2 module:

(a) Necesarul de încălzire; (b) Sarcina termică; (c) Frecvența de supraîncălzire

Rezultatele indică faptul că locuințele cu două etaje sunt mai avantajoase din punct de vedere al balanței energetice în comparație cu cele realizate pe un singur nivel (Cojocaru et al., 2021).

4.1.4 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 3

Al treilea studiu de caz conține rezultatele evaluate pentru compararea a șapte module (Figura 4.5.) cu un singur etaj.

STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ

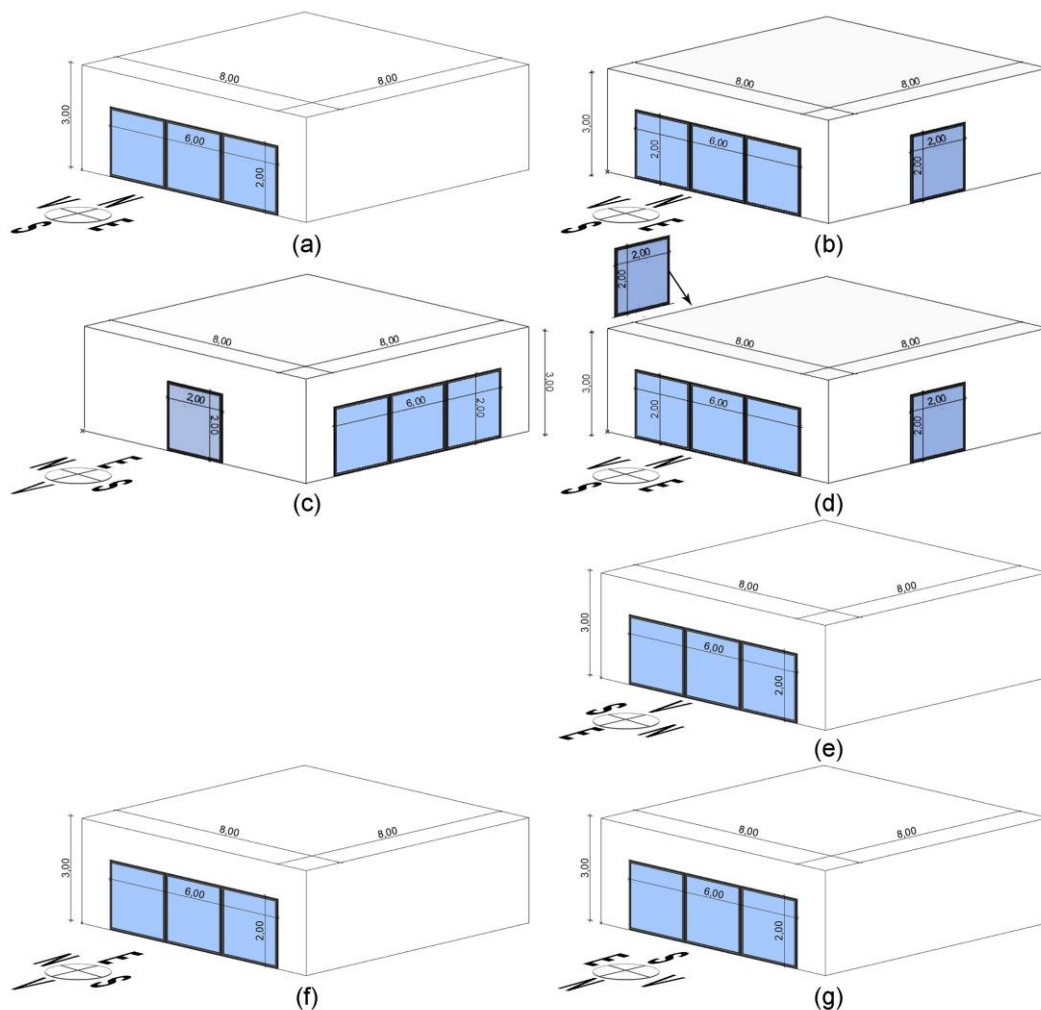
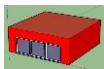
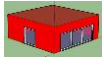
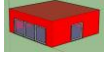
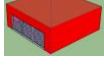
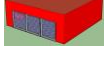
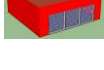


Figura 4.5. Cele șapte module analizate: (a) 1A – ferestre doar pe fațada Sudică; (b) 3A – ferestre pe fațadele Sudică și Estică; (c) 3B – ferestre pe fațadele Sudică și Vestică; (d) 3C – ferestre pe fațadele Sudică, Estică și Vestică; (e) 3D – ferestre doar pe fațada Estică; (f) 3E – ferestre doar pe fațada Vestică; (g) 3F – ferestre doar pe fațada Nordică

Diferența dintre cele șapte module este poziția variabilă a ferestrelor: doar pe fațada Sudică a clădirii (1A), pe fațadele Sudică și Estică (3A), pe fațadele Sudică și Vestică (3B), pe fațadele Sudică, Estică și Vestică (3C), doar pe fațada Estică (3D), doar pe fațada Vestică (3E) și doar pe fațada Nordică (3F). Sunt analizate cazurile în care suprafața vitrată este egală cu 50% din suprafața fațadei Sudice (1A), Estice (3D), Vestice (3E) și Nordice (3F). De asemenea, sunt analizate cazurile în care suprafața vitrată, egală cu 50% din suprafața fațadei Sudice este suplimentată cu 16% din fațada Estică (3A) sau cu 16% din fațada Vestică (3B) sau cu ambele suprafețe (3C). Pentru analiza rezultatelor, toate datele sunt prezentate în Tabelul 4.4 și grafic în Figura 4.6.

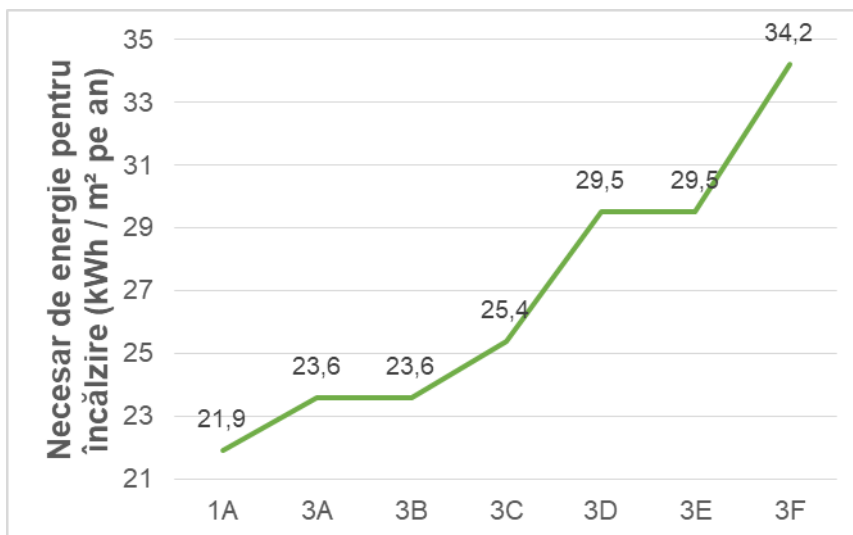
CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

Tabelul 4.4. Comparația dintre modulul cu plan pătrat și pe un singur nivel cu ferestre doar spre Sud (modul 1A), cu ferestre spre Sud și Vest (modul 3A), cu ferestre spre Sud și Est (modul 3B) și cu ferestre spre Sud, Vest și Est (modul 3C), doar cu ferestre spre Est (modul 3D), doar cu ferestre spre Vest (modul 3E) și doar cu ferestre spre Nord (3F) (Cojocaru et al., 2021)

	Forma	E	Arie t (m ²) a j e	Volum interior încălzit (m ³)	Feres- tre pe fațada Nordică (%)	Feres- tre pe fațada Sudică (%)	Feres- tre pe fațada Vestică (%)	Feres- tre pe fațada Estică (%)	Necesar de energie pentru încălzire (kWh / m ² pe an)	Sarcina termică (W/m ²)	Frecvența de supraîncăl- zire (%)
1 A		1	64	160	0	50	0	0	21,9	15,4	40,7
3 A		1	64	160	0	50	0	16	23,6	16,7	44
3 B		1	64	160	0	50	16	0	23,6	16,7	44
3 C		1	64	160	0	50	16	16	25,4	18,0	46,6
3 D		1	64	160	0	0	0	50	29,5	16,4	35,3
3 E		1	64	160	0	0	50	0	29,5	16,2	35,3
3 F		1	64	160	50	0	0	0	34,2	17,3	23,2

Rezultatele analizei a ultimelor trei module (Figura 4.6.) indică faptul că poziționarea ferestrelor pe fațada Vestică sau Estică are aproximativ același impact în balanța energetică și în analiza frecvenței de supraîncălzire. Prin comparație cu modulul 1A, poziționarea ferestrelor spre Vest sau Est, mărește necesarul de energie pentru încălzire cu 25,76%, însă se micșorează frecvența de supraîncălzire cu 13,27%. De asemenea, realizarea unei suprafețe vitrate pe fațada Nordică (modulul 3F) influențează necesarul de energie pentru încălzire, sarcina termică, dar și frecvența de supraîncălzire.

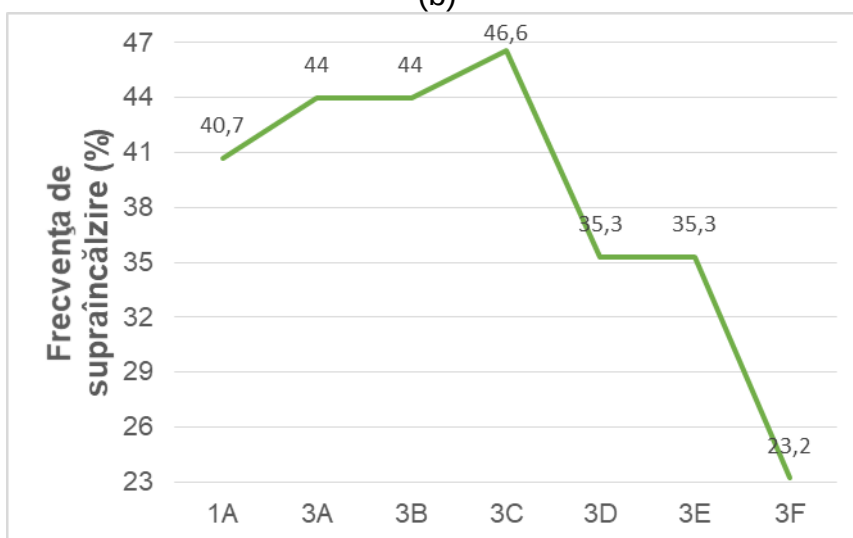
STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ



(a)



(b)



(c)

Figura 4.6. Rezultatele analizei celor șapte module

(a) Necesarul de încălzire; (b) Sarcina termică; (c) Frecvența de supraîncălzire

4.1.5 Influența formei asupra balanței energetice - Studiu de caz 4

Următoarea analiză este axată pe influența formei acoperișului pentru opt module, (Figura 4.7.). Astfel, în acest studiu este analizat un modul în care anvelopa termică este delimitată de placa peste etaj (2A), iar apoi sunt analizate diverse module cu mai multe tipuri de acoperiș: modul cu acoperiș cu panta spre Sud de 15° (4A), de 30° (4B), modul cu acoperiș cu panta spre Nord de 15° (4C), de 30° (4D) și trei module cu acoperiș în 2 pante de 15° (4E), de 30° (4F) și de 45° (4G).

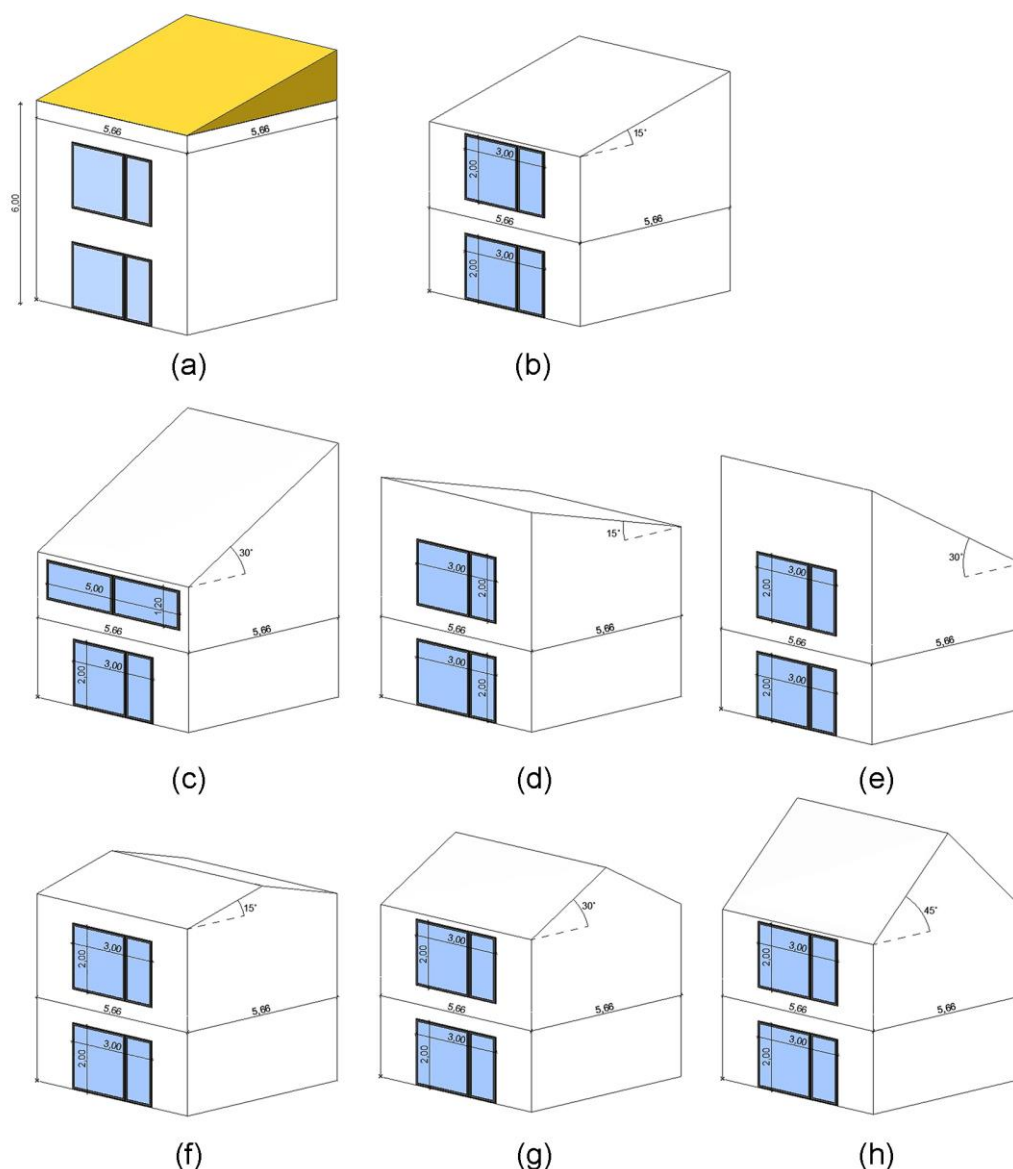
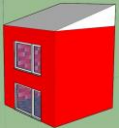
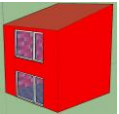
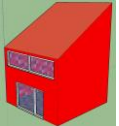
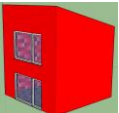
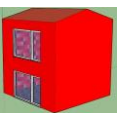
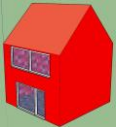


Figura 4.7. Cele opt module analizate: (a) modul cu pod neîncălzit (2A); (b) modul cu acoperiș cu panta spre Sud de 15° (4A); (c) de 30° (4B); (d) modul cu acoperiș cu panta spre Nord de 15° (4C); (e) de 30° (4D); (f) modul cu acoperiș în 2 pante de 15° (4E); (g) de 30° (4F); (h) de 45° (4G).

STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ

Rezultatele cercetărilor efectuate pentru acest studiu de caz sunt detaliate în Tabelul 4.5 și centralizate grafic în Figura 4.8.

Tabelul 4.5. Comparația dintre modulul cu plan pătrat și cu 2 etaje cu ferestre doar spre Sud (modul 2A), modul cu acoperiș cu panta spre Sud de 15° (4A), de 30° (4B), modul cu acoperiș cu panta spre Nord de 15° (4C), de 30° (4D) și trei module cu acoperiș în 2 pante de 15° (4E), de 30° (4F) și de 45° (4G)

	Forma	E	Arie t (m ²) a j e	Volum interior încălzit (m ³)	Ferestre pe fațada Sudică (m ²)	Panta acoperiș (°)	Direcția pantei de acoperiș	Necesar de energie pentru încălzire (kWh / m ² pe an)	Sarcina termică (W/m ²)	Frecvența de supraîncălzire (%)
2 A		2	64	160	8	0	-	21,8	15,2	40,2
4 A		2	64	160	8	15	S	21,2	15,2	41,2
4 B		2	64	160	8	30	S	21,8	15,4	40,9
4 C		2	64	160	8	15	N	21,3	15,2	41,0
4 D		2	64	160	8	30	N	21,8	15,4	40,8
4 E		2	64	160	8	15	N și S	20,8	15,0	41,3
4 F		2	64	160	8	30	N și S	20,6	15,0	41,3
4 G		2	64	160	8	45	N și S	20,7	15,0	41,4

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

Primul modul este cel analizat anterior (2A), cu acoperișul anvelopei poziționat orizontal, fiind placa de peste etaj, și pod neîncălzit, și are necesarul de energie pentru încălzire $21,8\text{kWh/m}^2$ pe an și sarcina termică de $15,2\text{W/m}^2$.

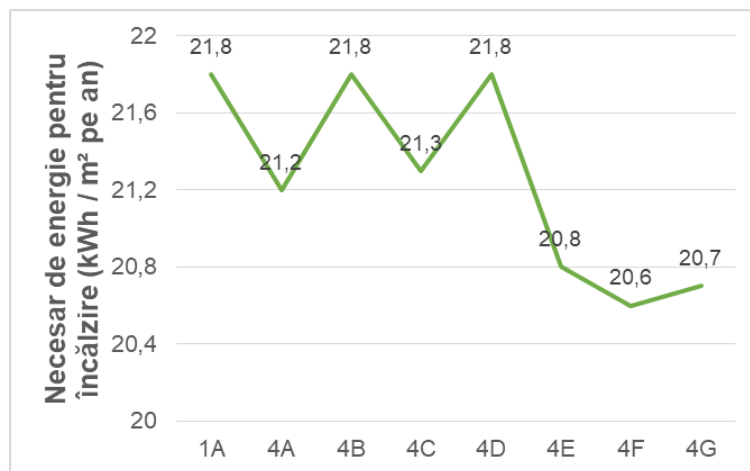
Următoarele 4 module analizate au acoperișul dintr-o singură pantă, înspre Sud cu gradul de înclinație de 15° (4A) sau de 30° (4B) sau înspre Nord gradul de înclinație de 15° (4C) sau de 30° (4D). Valoarea pentru necesarul de energie pentru încălzire pentru modulul cu acoperișul cu panta spre Sud cu gradul de înclinație de 15° (4A) este redusă cu 0,47% față de cea a modulului cu acoperișul cu panta spre Nord (4C). Pentru modulele cu acoperiș cu panta de 30° , necesarul rămâne același.

Rezultatele analizei numerice înregistrează un necesar de energie pentru încălzire de $21,2\text{kWh/m}^2$ pe an, cu o îmbunătățire cu 2,75% față de modulul cu pod neîncălzit (2A), și o sarcină termică de $15,2\text{W/m}^2$ pentru modulul 4A. Realizarea unui acoperiș cu panta de 30° , mărește necesarul de energie pentru încălzire la $21,8\text{kWh/m}^2$ pe an, egal cu cel pentru modulul 2A. Realizarea pantei spre Nord de 15° are ca rezultat un necesar de energie pentru încălzire de $21,3\text{kWh/m}^2$ pe an (4C), iar pentru cea de 30° de $21,8\text{kWh/m}^2$ pe an (4D). Din punct de vedere funcțional și al suprafețelor vitrate, realizarea unui acoperiș cu panta spre Nord are avantajul de a avea o suprafață mai mare de fațadă Sudică unde se pot realiza suprafețe vitrate mai mari și de a putea poziționa spații cu funcțiuni importante spre Sud, cu înălțimi interioare mai mari de 2,4m, care să ofere beneficiarilor impresia de spațiu.

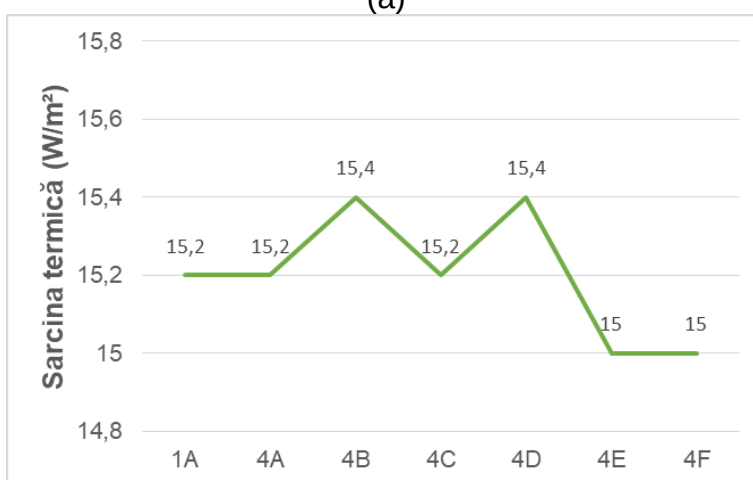
Pentru a analiza cazul în care acoperișul este în două pante, au fost realizate 3 module cu acoperișuri orientate spre Nord și Sud (pentru poziționarea panourilor solare și fotovoltaice) de 15° (4E), 30° (4F) și 45° (4G). Pentru modulul 4E, necesarul de energie pentru încălzire este de $20,8\text{kWh/m}^2$ pe an și sarcina termică de 15W/m^2 . Dacă gradul de înclinație crește la 30° , se micșorează necesarul de energie pentru încălzire cu 0,96%. În cazul în care pantele au gradul de înclinație de 45° , necesarul de energie pentru încălzire este de $20,7\text{kWh/m}^2$ pe an, cu o micșorare mică de 0,48% față de modulul 4E.

În comparație față de modulul cu pod neîncălzit, se observă o reducere a necesarului de energie pentru încălzire de 4,59, 5,5%, respectiv 5,05% și o reducere a sarcinii termice cu 1,31%. Toate aceste comparații sunt indicate în Figura 4.8.

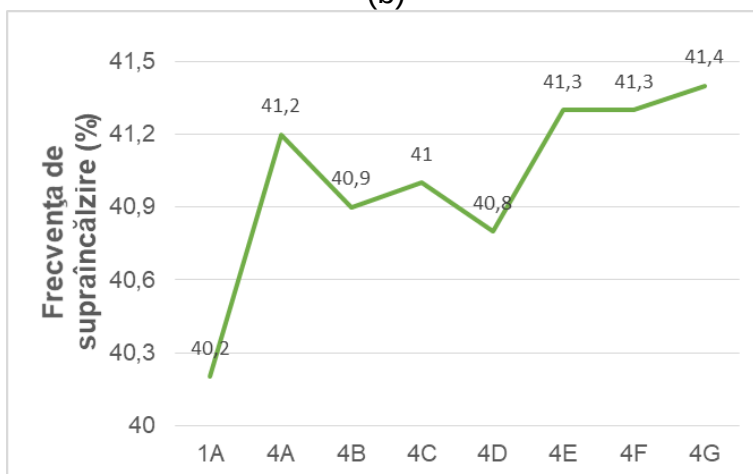
STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ



(a)



(b)



(c)

Figura 4.8. Rezultatele analizei parametrilor pentru celor opt module

(a) Necesarul de încălzire; (b) Sarcina termică; (c) Frecvența de supraîncălzire

4.1.6 Rezultate și concluzii privind influența formei

Recomandările pentru zona climatică a Iașului, în România, sunt de a proiecta forme compacte cu un raport de aspect a planului apropiat de 1, cu cel puțin două

etaje, cu suprafața vitrată mare pe fațada Sudică, cu rulouri exterioare și sisteme independente de umbrire (copaci, vegetație) și cu suprafețe vitrate echilibrate pe fațadele Vestice și Estice. Din punct de vedere al acoperișului, realizarea unui modul cu parter și mansardă este de preferat față de modulul cu parter, etaj și pod neîncălzit. Acoperișurile din mai multe pante ajută de asemenea la balanța energetică și sunt recomandate pentru a evita realizarea de spații cu înălțimi interioare neutilizabile.

Generalizând, aceste linii directoare ar putea fi aplicabile în majoritatea regiunilor cu climat temperat continental (Cojocaru et al., 2021). Concluzia generală a studiilor de caz prezentate este că forma clădirii influențează balanța energetică. Rezultatele prezentate pot conduce la soluții optime de proiectare pentru locuințe.

4.2 Propunere modul prefabricat pentru locuință

Ca urmare a concluziilor studiilor efectuate anterior, modulul de locuință propus (Figura 4.9.) este desfășurat pe parter și mansardă, cu dimensiunea în plan de 7m x 7m. Suprafața utilă totală este de 48,5m², pentru a se încadra în necesarul minim de suprafață pentru o locuință de 1 cameră din Legea Locuinței – Legea 114/1996 actualizată.

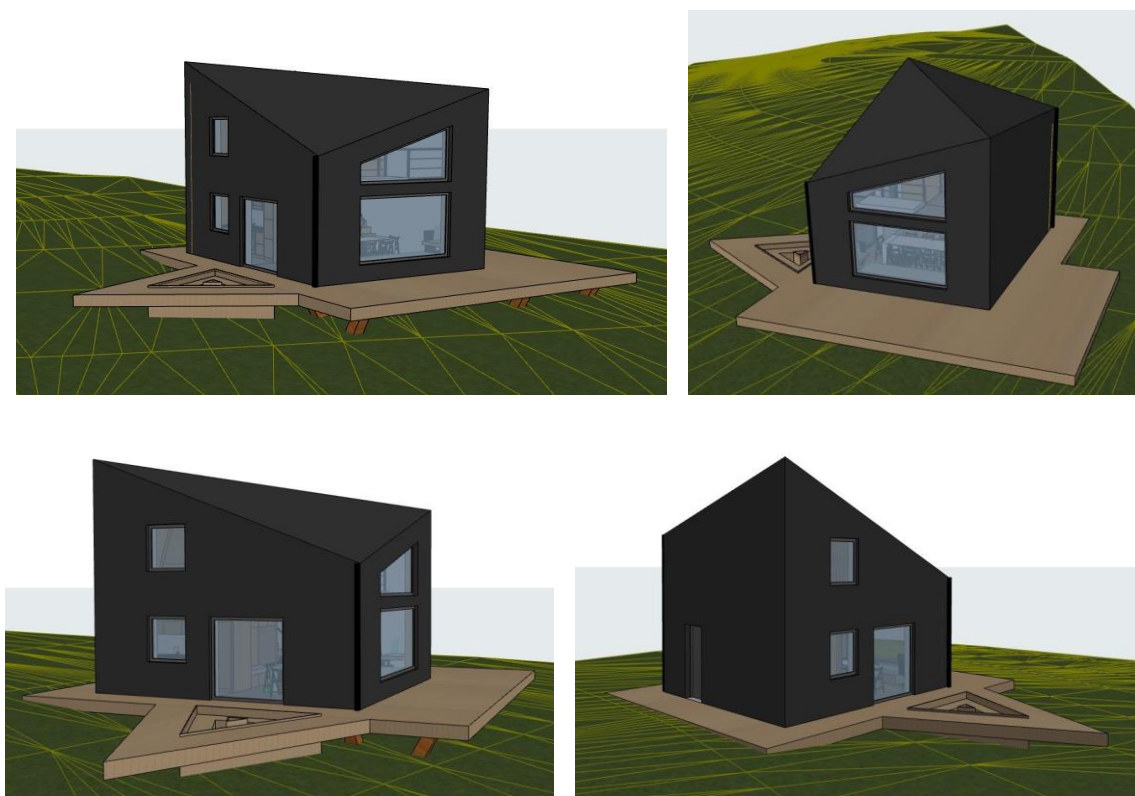


Figura 4.9. Vizualizări ale modulului de locuință unifamilială propus

STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ

Din punct de vedere al structurii, pentru analiză și în urma prezentării stadiului actual al cercetării privind prefabricarea elementelor din Capitolul 3, opțiunea aleasă pentru suprastructură este de tip timber-frame, din lemn, iar pentru infrastructură, placa parter și fundații, se va folosi betonul cu performanțe termice îmbunătățite.

Din punct de vedere funcțional (Figura 4.11.), s-a ținut cont de orientarea principalelor spații: zona de living, dining – pe latura Sudică și spațiile tehnice, depozitări, bucătăria și intrarea – pe latura Nordică.

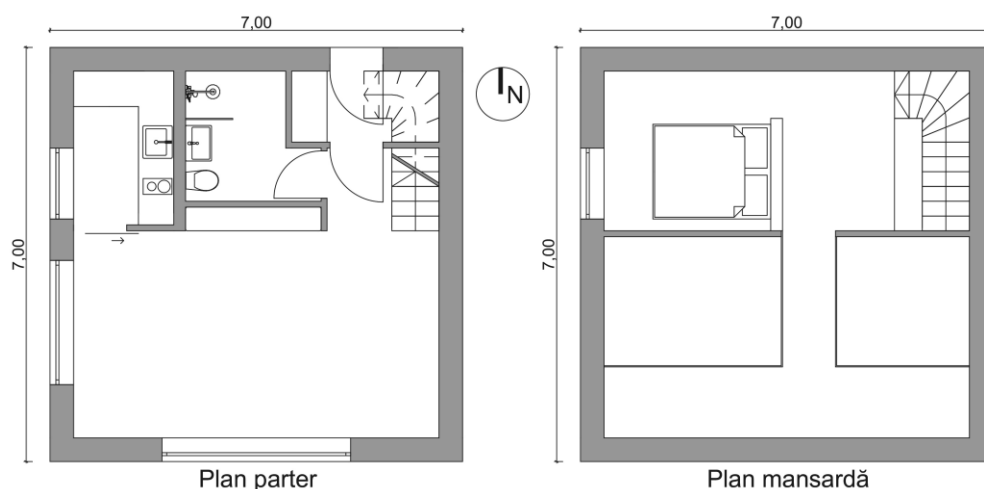


Figura 4.11. Schițe funcționale – parter și mansardă, cu spațiu tip supanță

Deoarece modulul este orientat optim în raport cu punctele cardinale, rezultatele din studiile de caz prezentate în subcapitolul anterior, dar și poziționarea funcțiunilor propuse, devin baza alegerii raportului optim dintre suprafețele vitrate și cele opace. Ferestrele trebuie să fie realizate printr-un echilibru optim între lumina naturală, aporturile solare energetice, pierderile de căldură pe timp de iarnă și frecvența supraîncălzirii pe timp de vară (Isopescu et al., 2024).

Rezultatele analizei prezentată în Figura 4.14., realizată cu instrumentul de planificare PHPP 9, oferă date pentru modulul propus.

Frecvența perioadei de supraîncălzire poate fi micșorată prin utilizarea sistemelor de umbrire de tip rulouri exterioare, care diminuează frecvența de supraîncălzire cu aproximativ 50% din valoarea inițială, ventilarea suplimentară nocturnă sau amplasarea strategică a vegetației pentru a umbri ferestrele în timpul verii.

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

De asemenea, datorită etanșeității ridicate la aer a modului de 0,6 sch/h la o presiune de 50 Pa, este recomandat să se realizeze o ventilare mecanică, cu ajutorul unei unități de ventilare dotată cu un sistem de recuperare de căldură, având o eficiență de peste 85%.

		Aria utilă a pardoselii m ²			Criterii	Criterii alternative	Îndeplinit? ²
Încălzire spații	Necesar de căldură încălzire kWh/(m ² a)	48,5			15	-	da
	Sarcina termică W/m ²	14	≤		-	10	
Răcire spații	Nec. răcire & deumid. kWh/(m ² a)	-	≤		-	-	-
	Sarcină de răcire W/m ²	-	≤		-	-	
	Frecvența perioadei de supraîncălzire (> 25 °C) %	44	≤		10		nu
	Frecvența per. cu umiditate excesiv de mare (> 12 g/kg) %	12	≤		20		da
Etanșeitate la aer	Rezultat test la presiune n ₅₀ 1/h	0,6	≤		0,6		da
Energie Primară Neregenerabilă (PE)	Consum PE kWh/(m ² a)		≤		120		
Energie primară regenerabilă (PER)	Necesar PER kWh/(m ² a)	1	≤		-	-	-
	Producție de energie regenerabilă (raportată la aria kWh/(m ² a) amprente la sol a clădirii)	-	≥		-	-	

Figura 4.14. Rezultatele analizei modului de locuință

Balanța energetică pentru încălzire, conform datelor din Figura 4.15., indică un necesar de energie pentru încălzire de 14,1kWh/m² pe an, cu cele mai mari aporturile solare de 50,4kWh/m² pe an, în comparație cu aporturile interne de 15,9kWh/m² pe an.

STUDII PRIVIND MODULUL PREFABRICAT DE CLĂDIRE REZIDENȚIALĂ

Capitolul 5.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

5.1. Cercetări experimentale – Etapa I

5.1.1 Descrierea programului experimental – Etapa I

Datorită premiselor unui impact pozitiv în atingerea unor proprietăți termice favorabile, pentru evaluarea comportamentului global al betonului amestecat cu cauciuc mărunțit, s-a realizat în Etapa I un program experimental care analizează comportarea de ansamblu a amestecului de beton cu cauciuc mărunțit, utilizat la placa parter, element care este parte integrantă în anvelopa termică.

5.1.2 Realizarea probelor și determinarea lucrabilității compozițiilor propuse de beton cu cauciuc mărunțit

Cauciucul mărunțit utilizat în rețetă este un cauciuc uzat, considerat deșeu, netratat, cu dimensiunea particulelor de 4-8mm. Pentru studierea influenței cauciucului mărunțit în amestecul de beton s-au utilizat 3 rețete diferite, în care 10%, 20% și 30% din volumul de agregat sortat 4-8mm a fost înlocuit de cauciuc mărunțit.

Pentru toate cele patru rețete prezentate anterior au fost turnate epruvete cubice cu latura de 150mm pentru a măsura rezistența la compresiune și conductivitatea termică a betonului. Volumul de particule de cauciuc reciclat calculat pentru fiecare rețetă a fost distribuit uniform în timpul amestecării betonului în betonieră (Cojocaru et al., 2023).

5.1.3 Determinarea densității pentru probele cu cauciuc mărunțit

După întărire, epruvetele cubice din beton au fost cântărite și laturile au fost măsurate pentru evaluarea volumului real al probelor, în vederea calculării densității.

În Tabelul 5.2. sunt prezentate densitățile și media pentru probele de beton martor și beton cu cauciuc mărunțit, determinate pentru epruvetele întărite, la 28 zile după turnare.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

Tabelul 5.2. Densitatea măsurată a amestecurilor propuse de beton martor și beton cu cauciuc mărunțit (Cojocaru et al., 2023)

Tip	Densitate			Media
probă	ρ_m			
(kg/m³)				
Martor	2296,92	2290,04	2300,80	2295,92
S1 – 10C	2248,00	2247,00	2252,00	2249,00
S2 – 20C	2238,00	2237,00	2242,00	2239,00
S3 – 30C	2223,00	2221,00	2228,00	2224,00

5.1.4 Determinarea conductivității termice pentru probele cu cauciuc mărunțit

După ce au fost turnate în matrițe cubice cu latura de 150mm, decofrate după întărire, la 28 de zile au fost supuse unor măsurători a caracteristicilor termotehnice, cu ajutorul echipamentului portabil ISOMET 2114, care este dotat cu o sondă de suprafață cu care se poate măsura conductivitatea termică pentru materialele dure. Pentru fiecare probă în parte a fost măsurată conductivitatea termică pe fiecare latură a cubului pentru o verificare suplimentară și o mediere a rezultatelor obținute (Cojocaru et al., 2023).

S-a observat că conductivitatea termică pe suprafața de turnare este cu 11,69-17,82% mai mare decât suma mediană a valorilor conductivității termice măsurată perpendicular pe direcția de turnare. Aceste valori diferite obținute pentru coeficientul de conductivitate termică conduc la concluzia că la un studiu al punților termice din zona de îmbinare a plăcii parter cu soclu, este necesar a se face evaluarea cu valori diferite, astfel: pentru placa de parter, conductivitate termică este valoarea măsurată în direcție paralelă cu direcția de turnare, iar la soclul de beton, conductivitate termică este valoarea măsurată în direcție perpendiculară pe direcția de turnare.

Măsuratori au fost realizate și pentru amestecul de beton cu înlocuirea a 10%, 20% și 30% din volumul de agregate de 4-8mm cu cauciuc mărunțit.

Pentru probele realizate cu 10% de cauciuc mărunțit, valorile conductivității termice variază de la 1,73W/mK la 2,34W/mK, cu o medie de 2,14W/mK, valori măsurate în direcție perpendiculară pe direcția de turnare, și sunt egale cu

2,59W/mK, valori măsurate pe suprafața de turnare (în direcție paralelă cu direcția de turnare). S-a observat că conductivitatea termică pe suprafața de turnare este cu 17,37% mai mare decât suma mediană a valorilor conductivității termice perpendiculare pe direcția de turnare (Figura 5.5.).

S-au realizat măsurătorile și pentru amestecul de beton cu înlocuirea a 20% din volumul de agregate de 4-8mm cu cauciuc mărunțit. Din analiza datelor, s-a observat că conductivitatea termică pe suprafața de turnare este cu 8,93% mai mare decât suma mediană a valorilor conductivității termice perpendiculare pe direcția de turnare (Figura 5.5.).

De asemenea, au fost realizate măsurătorile și pentru amestecul de beton cu înlocuirea a 30% din volumul de agregate de 4-8mm cu cauciuc mărunțit. Comparativ, conductivitatea termică pe suprafața de turnare este cu 11,71% mai mare decât suma mediană a valorilor conductivității termice perpendiculare pe turnare (Figura 5.5.).

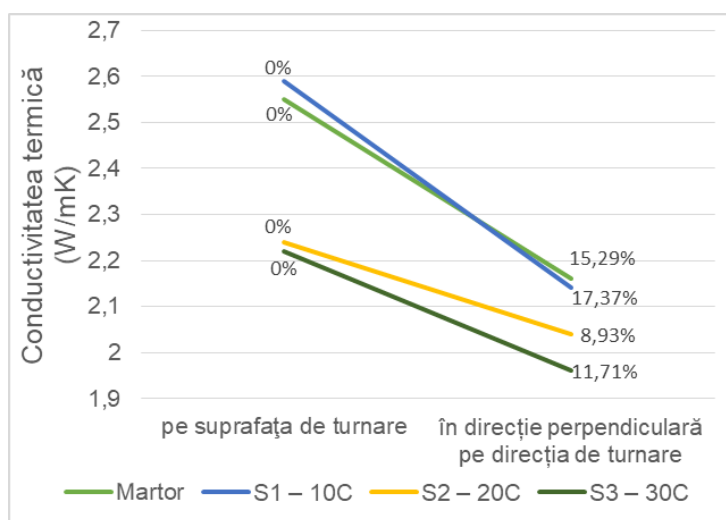


Figura 5.5. Variația conductivității termice măsurată pe suprafața de turnare față de cea măsurată pe suprafețele perpendiculare pe direcția de turnare, pentru probele de beton cu cauciuc mărunțit

Metodologia de măsurare a evidențiat influența direcției de măsurare față de direcția de turnare asupra conductivității termice. De asemenea, aplicarea compactării induce o orientare preferențială a particulelor în planuri orizontale, perpendiculare pe direcția de turnare, datorită modului de acțiune a forței de compactare raportată la densitatea componentelor (Cojocaru et al., 2023).

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

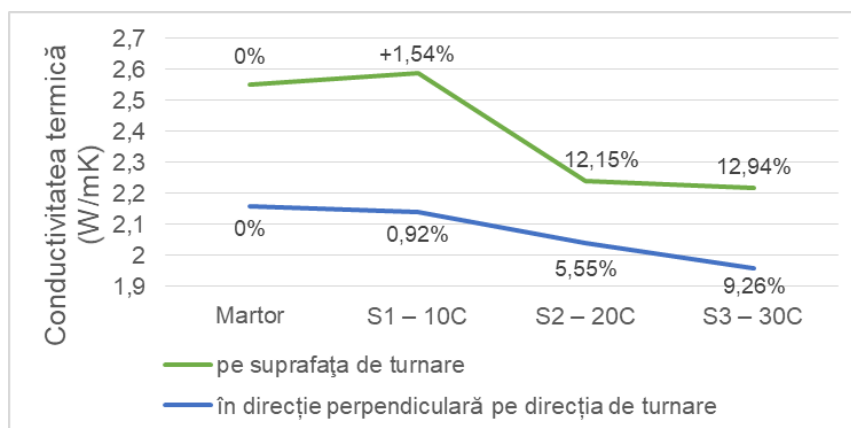


Figura 5.6. Variația conductivității termice pentru probele de beton cu cauciuc mărunțit față de valorile probelor martor (Cojocaru et al., 2023)

5.1.5 Determinarea rezistenței la compresiune pentru probele cu cauciuc mărunțit

Fiecare probă analizată din punct de vedere a densității și a conductivității termice, a fost supusă testării la compresiune uniaxială pentru a putea avea o comparație amplă și o mediere între mai multe valori (Figura 5.8.).

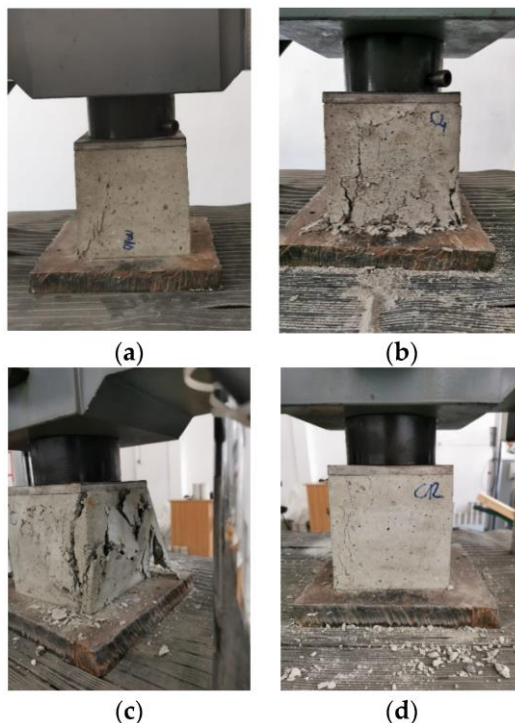


Figura 5.8. Determinarea rezistenței la compresiune pentru:

(a) proba martor, (b) proba S1 – 10C cu 10% cauciuc, (c) proba S2 – 20C cu 20% cauciuc, (d) proba S3 – 30C cu 30% cauciuc (Cojocaru et al., 2023)

Rezistența la compresiune medie măsurată a probelor de beton martor este de 25,98MPa, iar a betonului amestecat cu cauciuc mărunțit este de 24,29MPa (10%), 20,35MPa (20%) și 18,60MPa (30%). Rezultatele obținute au fost similare cu cele din literatura de specialitate, variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de cauciuc utilizat fiind prezentată în Figura 5.9.

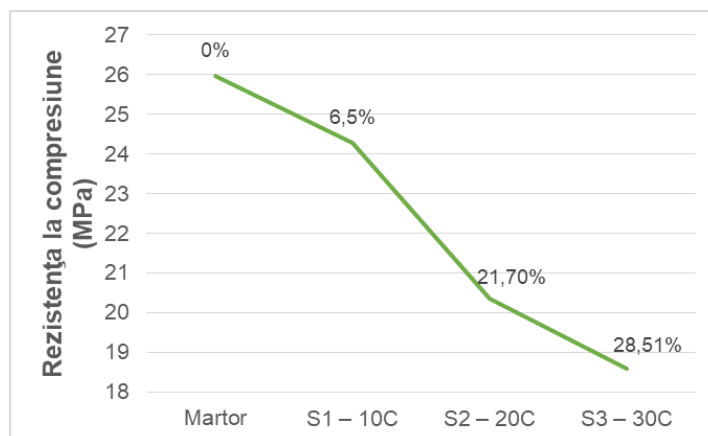


Figura 5.9. Variația rezistenței la compresiune a probelor de beton cu cauciuc mărunțit față de valorile martor (Cojocaru et al., 2023)

Prin încorporarea unei cantități limitate de cauciuc mărunțit în beton se pot obține anumite beneficii legate de proprietățile termice ale betonului.

Totuși, un dezavantaj semnificativ reprezintă scăderea rezistenței la compresiune a betonului amestecat cu cauciuc mărunțit, ceea ce limitează utilizarea acestui amestec în diverse elementele ale anvelopei termice care necesită o rezistență structurală ridicată. Această micșorare a performanțelor mecanice se datorează în principal densității scăzute a cauciucului mărunțit în comparație cu agregatele naturale convenționale. De asemenea, factorii care contribuie la această micșorare includ fenomenul de captare a aerului în amestecul de beton cu cauciuc mărunțit și aderența redusă a cauciucului mărunțit față de celelalte elemente din compoziția betonului (Cojocaru et al., 2023).

5.1.6 Analiza aderenței cauciucului mărunțit față de celelalte elemente din compoziția betonului

În timpul testelor de determinare a rezistenței la compresiune, s-au observat fisuri în zonele de contact dintre particulele de cauciuc mărunțit și restul amestecului de beton, ceea ce a indicat o legătură mai slabă în aceste zone de legătură (Cojocaru et al., 2023).



Figura 5.10. Distribuirea particulelor de cauciuc mărunțit în probele cubice

Pentru a studia aderența cauciucului mărunțit la celelalte elemente din compoziția betonului, s-a realizat o serie de analize detaliate cu ajutorul microscopului LFD – Large Field Detector, care funcționează în modul de lucru Low Vacuum. Comparativ cu betonul convențional, unde se observă o aderență uniformă, în probele care conțin cauciuc mărunțit se remarcă o scădere semnificativă a aderenței la agregatele naturale convenționale.

5.2. Cercetări experimentale – Etapa II

5.2.1 Descrierea programului experimental – Etapa II

Programul experimental în Etapa II este dedicat studiului privind influența adaosului de perlit, în diverse procente, în compoziția de beton. În cadrul acestui program experimental, perlitul utilizat are o granulație variabilă între 0 și 5mm.

5.2.2 Realizarea probelor și determinarea lucrabilității compozițiilor propuse de beton cu perlit

În vederea evaluării impactului perlitului asupra proprietăților betonului, s-au realizat 3 rețete diferite în care 10%, 20% și 30% din volumul agregatului de 0-4mm a fost înlocuit cu echivalentul în volum de particule de perlit.



Figura 5.13. Probele cubice de beton cu perlit, cu latura de 150mm, proaspăt turnate în matrițe

5.2.3 Determinarea densității pentru probele cu perlit

Epruvetele cubice de beton după perioada de maturare, de 28 de zile, au fost analizate în vederea evaluării performanțelor. Densitatea măsurată a celor patru compoziții a fost determinată prin cântărirea acestora și efectuarea măsurărilor necesare pentru calcularea volumului probelor. Tabelul 5.8. prezintă mediile densităților măsurate pentru probele obținute din amestecurile propuse.

Tabelul 5.8. Densitatea măsurată a amestecurilor propuse de beton cu perlit
 (Ungureanu et al., 2024)

Tip probă	Densitatea măsurată ρ_m (kg/m ³)			Media
Martor	2296,92	2290,04	2300,80	2295,92
S1 – 10P	2190,23	2195,20	2195,16	2193,53
S2 – 20C	2159,88	2160,72	2161,11	2160,57
S3 – 30C	2116,83	2115,41	2115,91	2116,05

Fenomenul de micșorare a densității pentru amestecurile în care agregatele, (sort 0-4mm), au fost parțial înlocuite cu perlit față de betonul martor sunt mai pronunțate în cazul densităților calculate, de 6,15% și 9,22%, decât în cazul densităților măsurate, de 5,89% și 7,83%.

5.2.4 Determinarea conductivității termice pentru probele cu perlit

Cele 4 compoziții prezentate în subcapitolul anterior au fost studiate din punct de vedere al conductivității termice.

Rezultatele obținute evidențiază că, conductivitatea termică măsurată în direcție paralelă cu direcția de turnare este cu 15,29% mai mare decât media valorile măsurate în direcție perpendiculară pe direcția de turnare (Figura 5.16). Comparativ cu probele martor, s-a constatat o îmbunătățire minoră de 1,17%, de la 2,55W/mK la 2,52W/mK (Figura 5.17.) (Ungureanu et al., 2024).

De asemenea, s-au efectuat măsurători pentru amestecul de beton în care 20% din volumul de agregate de 0-4mm a fost înlocuit cu perlit. Din analiza rezultatelor, s-a observat că conductivitatea termică pe suprafața de turnare este cu

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

12,30% mai mare decât media valorilor pentru suprafețele laterale (paralele cu direcția de turnare), (Figura 5.16). Comparativ cu probele martor, s-a remarcat o îmbunătățire de 4,31% a conductivității termice pe suprafața de turnare, de la 2,55W/mK la 2,44W/mK, și o îmbunătățire de 0,93% pentru măsurătorile efectuate în direcție perpendiculară pe direcția de turnare, de la 2,16W/mK la 2,14W/mK (Figura 5.17.) (Ungureanu et al., 2024).

Rezultatele măsurătorilor pentru amestecul de beton în care 30% din volumul de agregate de 0-4mm a fost înlocuit cu perlit, arată că valorile conductivității termice pentru acest amestec au variat între 2,07W/mK și 2,25W/mK pentru direcții de măsurare perpendiculare pe direcția de turnare. Din compararea rezultatelor, s-a constatat că conductivitatea termică pe suprafața de turnare este cu 12,03% mai mare decât media valorilor pentru suprafețele perpendiculare pe turnare, evidențiat în Figura 5.16. Față de probele martor, s-a observat o îmbunătățire de 5,49% a conductivității termice pe suprafața de turnare, de la 2,55W/mK la 2,41W/mK, și o îmbunătățire de 1,85% pentru cele de pe fețele laterale, măsurători în direcție perpendiculară pe direcția de turnare, de la 2,16W/mK la 2,12W/mK (Figura 5.17.) (Ungureanu et al., 2024).

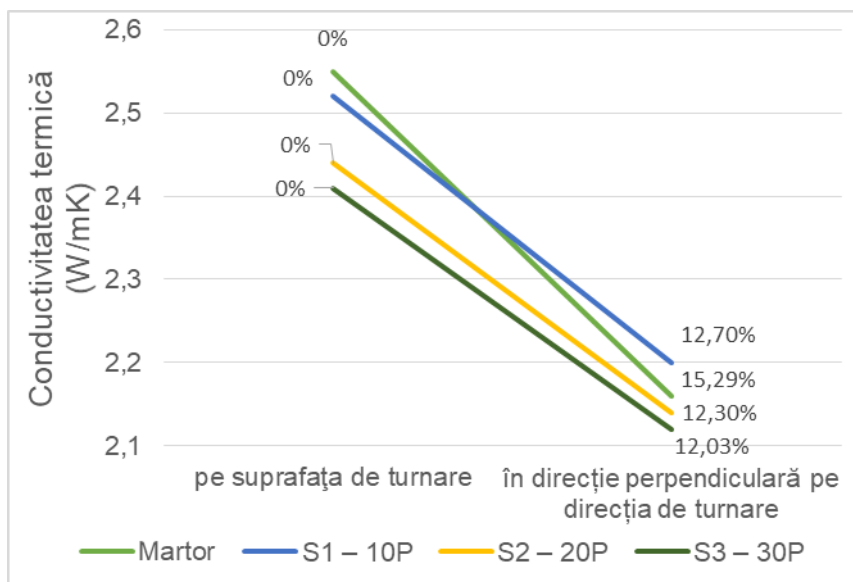


Figura 5.16. Variația conductivității termice măsurată pe suprafața de turnare față de cea măsurată pe suprafețele perpendiculare pe direcția de turnare, la probele de beton cu perlit

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

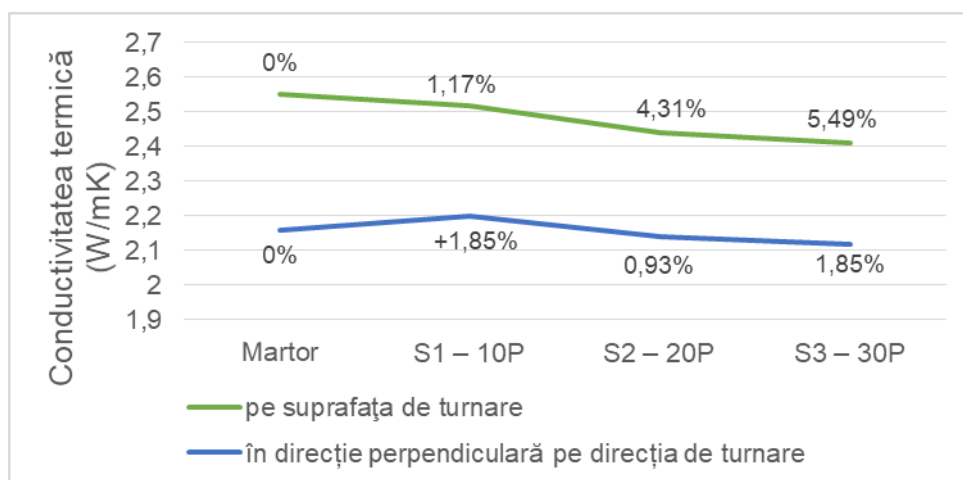


Figura 5.17. Variația conductivității termice pentru probele de beton cu perlit față de valorile probelor de beton martor (Ungureanu et al., 2024)

5.2.5 Determinarea rezistenței la compresiune pentru probele cu perlit

Pentru a determina rezistența la compresiune a celor 4 compoziții realizate de beton cu perlit, epruvetele au fost solicitate la o forță de compresiune pe direcția de turnare, la presa hidraulică ZwickRoell SP1000, prezentată în subcapitolul 5.1.5. (Figura 5.18.).

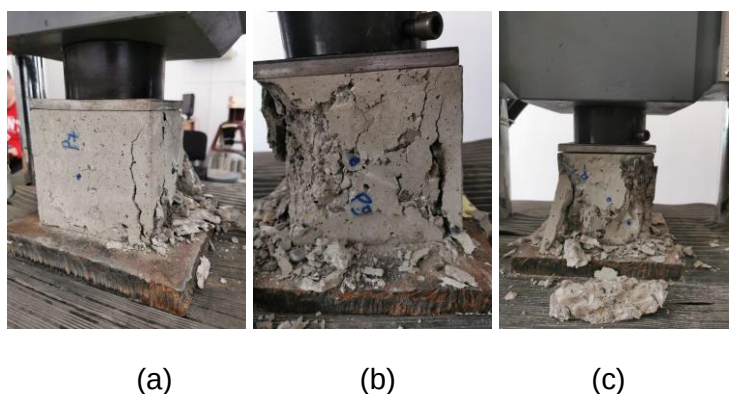


Figura 5.18. Determinarea rezistenței la compresiune pentru: (a) proba S1 – 10P cu 10% perlit, (b) proba S2 – 20P cu 20% perlit, (c) proba S3 – 30P cu 30% perlit

Analiza comparativă cu rezultatele obținute pentru proba de beton martor, evidențiază că reducerea rezistenței la compresiune nu este destul de accentuată: de 6,74% pentru amestecul de 10%, de 8,39% pentru amestecul de 20% și de 13,66% pentru amestecul de 30%. Grafic aceste comparații sunt prezentate în Figura 5.19.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

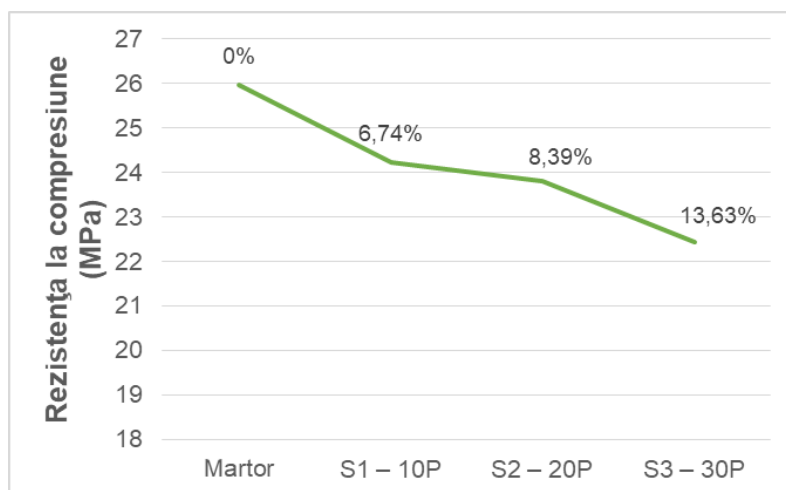


Figura 5.19. Variația rezistenței la compresiune a probelor de beton cu perlit față de valorile martor (Ungureanu et al., 2024)

5.2.6 Variația caracteristicilor fizio-mecanice a betonului prin înlocuirea totală a sortului 0-4mm din rețeta betonului cu perlit

Deoarece valorile conductivității termice rezultate nu arată o îmbunătățire semnificativă, cercetările experimentale au fost extinse pentru cazul în care perlitul este folosit în locul agregatului 0-4mm în procent de 100%.

S-a determinat densitatea noii compoziții după întărire, la termenul de 28 zile de la turnare, pe epruvete cubice prin cântărirea lor și calcularea volumului probelor. În Tabelul 5.13. sunt prezentate mediile densităților măsurate pentru probele obținute din amestecurile propuse. Cantitatea mai mare de perlit în amestecul S4-100P conduce la o micșorare evidentă a densității probelor.

Tabelul 5.13. Densitatea măsurată a compozițiilor de beton martor și cu perlit (100%), (Ungureanu et al., 2024)

Probe	Densitatea măsurată			Media
	ρ_m			
	(kg/m³)			
Martor	2296,92	2290,04	2300,80	2295,92
S4 – 100P	1937,88	1940,21	1938,25	1938,78

În cadrul acestor experimentări, pentru fiecare probă, conductivitatea termică a fost măsurată pe fiecare latură a cubului, așa cum au fost realizate și testele

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

anterioare. Valorile conductivității termice variază de la 1,12W/mK la 1,64W/mK pentru măsurătorile efectuate în direcție perpendiculară pe direcția de turnare și de la 1,17W/mK la 1,50W/mK pentru suprafețele de turnare.

Față de probele martor s-a observat o îmbunătățire majoră de 46,67% (de la 2,55W/mK la 1,36W/mK) pentru suprafața de turnare și 33,80% (de la 2,16W/mK la 1,43W/mK) pentru direcția perpendiculară pe direcția de turnare (Figura 5.22.).

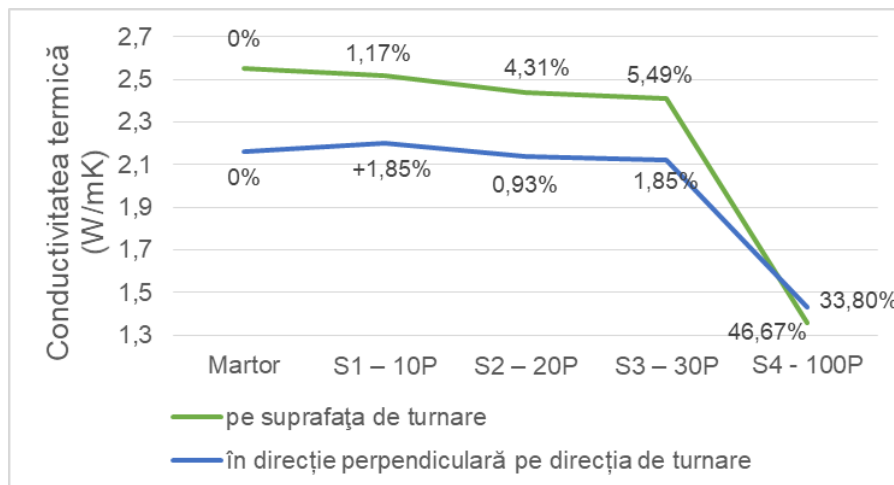


Figura 5.22. Variația conductivității termice pentru probe de beton cu perlit față de valorile probelor de beton martor (Ungureanu et al., 2024)

Rezistența la compresiune medie a betonului cu perlit, cu procent de 100% înlocuire a sortului 0-4mm, este de 18,55MPa. Micșorarea rezistenței la compresiune este de 28,60%, prezentată în Tabelul 5.16.

Tabelul 5.16. Rezistența la compresiune pentru compoziția de beton amestecat cu perlit (Ungureanu et al., 2024)

Probe	Rezistența la compresiune (MPa)	Reducere (%)
Martor	25,98	0
S4 – 100P	18,55	28,60

5.2.7 Analiza aderenței perlitului față de celelalte elemente din compoziția betonului

La finalul încercărilor experimentale pentru a determina rezistența la compresiune, epruvetele au fost analizate în vederea identificării modului în care este

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

distribuit perlitul în amestecul de beton, așa cum se prezintă în Figura 5.23. Totodată au fost identificate rare microfisuri în zonele de contact dintre particulele de perlit și restul agregatelor din beton sau de matricea de ciment și apă consolidată. Microfisurile se datorează stării de solicitare la compresiune la care a fost supusă epruveta.



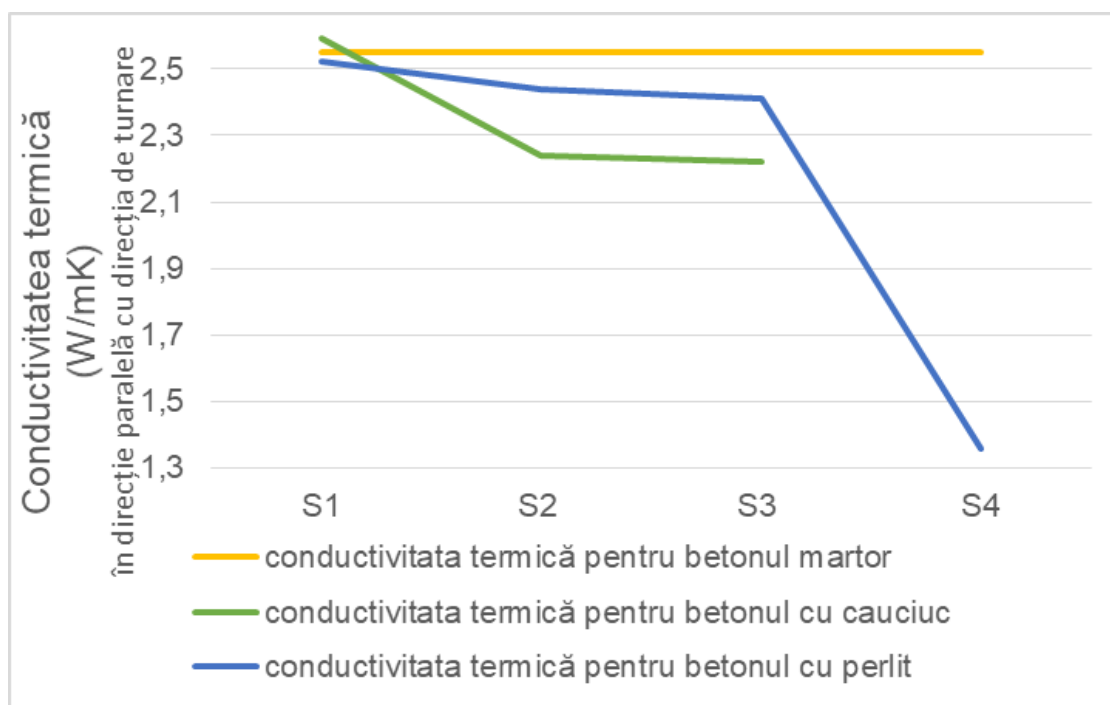
Figura 5.23. Distribuția particulelor de perlit în epruvete

Pentru studierea aderenței perlitului față de celelalte componente din compoziția betonului au fost analizate la microscop LFD (Large Field Detector – mod de lucru Low Vacuum) eșantioane, cu dimensiunea de 1cm din amestecul cu perlit, prelevate din epruvetele încercate la solicitarea de compresiune. Se poate observa structura perlitului și aderența bună a perlitului cu celelalte elemente din amestec.

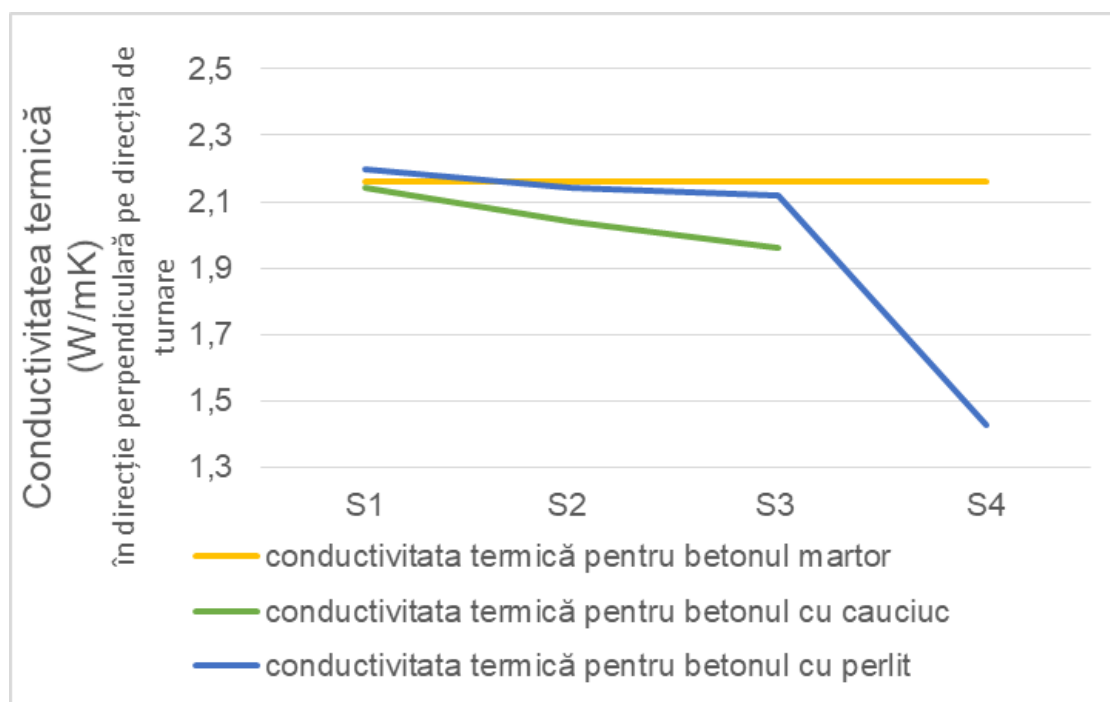
5.3 Evaluarea comparativă a proprietăților de izolare termică pentru compozițiile de beton cu cauciuc mărunțit și de beton cu perlit studiate

Graficul din Figura 5.25 prezintă o centralizare a valorilor obținute pentru coeficientul de conductivitate termică, λ , ale compozițiilor de beton martor și ale compozițiilor cu cauciuc mărunțit și perlit. Figura 5.25.a. scoate în evidență, comparativ valorile măsurate în direcție paralelă cu direcția de turnare, respectiv pe suprafața de turnare, iar Figura 5.25.b. prezintă valorile medii măsurate în direcție perpendiculară pe direcția de turnare, respectiv pe fețele laterale ale epruvetelor. În graficul din Figura 5.26 este prezentată evoluția rezistențelor la compresiune, f_c , pentru toate compozițiile studiate.

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC



(a)



(b)

Figura 5.25. (a) Variația conductivității termice în direcție paralelă cu direcția de turnare și (b) Variația conductivității termice în direcție perpendiculară pe direcția de turnare

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE BETONULUI UTILIZAT LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

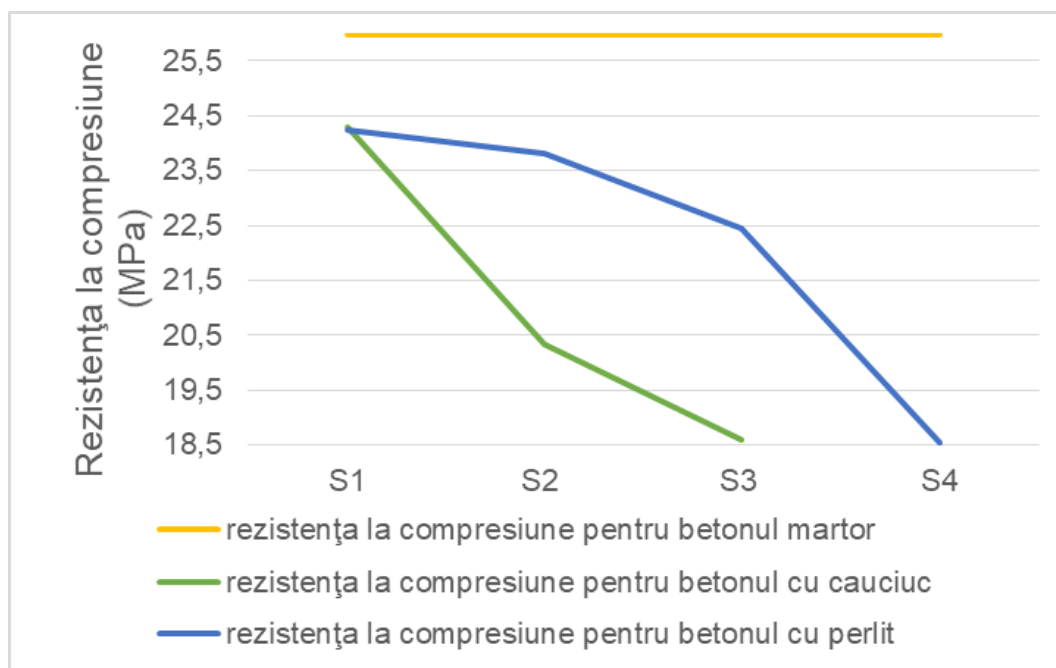


Figura 5.26. Variația rezistenței la compresiune

Din analiza celor doi parametri studiați, a conductivității termice și a rezistenței la compresiune, se poate observa că din punct de vedere al proprietăților mecanice, betonul cu 100% perlit are rezistența la compresiune de 18,55MPa, cu o reducere față de betonul martor de 28,60%. De asemenea, valoarea rezistenței la compresiune a betonului cu 30% cauciuc mărunțit este asemănătoare, de 18,60MPa, cu o reducere față de betonul martor de 28,51%.

Din punct de vedere a conductivității termice, amestecul de beton cu perlit (nisip înlocuit în procent 100%) este mai performant, prezentând o valoare redusă cu 38,18% pentru măsurători realizate pe suprafață de turnare, de 1,36W/mK față de 2,22W/mK și cu 27,04% pentru măsurători realizate pe suprafețele laterale, perpendicular pe direcția de turnare, de 1,43W/mK față de 1,96W/mK.

În concluzie, se poate remarca că toate compozițiile studiate au performanțe termice îmbunătățite. Dezavantajul apare la parametrul de rezistență, însă, având în vedere că, în modulul prefabricat propus, betonul va fi utilizat la placa parter și la infrastructură, elemente la care pot fi utilizate și clase de rezistență inferioare, soluțiile propuse pot fi viabile.

Capitolul 6.

STUDII PRIVIND EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI PENTRU SOLUȚIILE DE BETON UTILIZABILE LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

6.1 Introducere

În studiile prezentate în acest capitol, compozițiile de beton, analizate în Capitolul 5, sunt evaluate din punct de vedere al impactului asupra mediului, cu ajutorul analizelor pe ciclul de viață (LCA – Life Cycle Assessment), care vor evidenția următorii indicatori: impactul asupra încălzirii globale, potențialul de toxicitate pentru sănătatea umană și efectul asupra degradării stratului de ozon.

6.2 Metodologia LCA

Detalierea etapelor de realizare a Evaluării Ciclului de Viață (LCA):

- definirea clară a scopului și domeniului LCA-ului, incluzând enunțarea unităților funcționale, limitelor sistemului și a analizei;
- analiza inventarului ciclului de viață (LCI) prin colectarea datelor de intrare și ieșire pentru toate procesele necesare și realizarea unei liste de inventar detaliat;
- evaluarea impactului ciclului de viață (LCIA) prin care sunt utilizate datele din etapa anterioară și calculate impacturile reale asupra mediului din punct de vedere a unor categorii de impact;
- interpretarea rezultatelor în raport cu obiectivele și domeniul ales prin identificarea problemelor, evaluarea studiului și oferirea de concluzii și recomandări.

6.3 Obiectivul și domeniul, inventarul ciclului de viață și evaluarea impactului asupra mediului

Obiectivul acestor studii LCA reprezintă evaluarea și măsurarea impactului potențial asupra mediului al utilizării deșeurilor de cauciuc și perlit ca și componente în compozițiile de beton. Inventarul ciclului de viață (LCI) include date detaliate

STUDII PRIVIND EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI PENTRU SOLUȚIILE DE BETON UTILIZABILE LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

referitoare la fluxurile de intrare a materiilor prime și de ieșire a emisiilor (Suryawan et al., 2021) pentru producția de beton, dar și pentru obținerea deșeurilor de cauciuc și perlit.

6.4 Scenarii de evaluare

Proiectarea compozițiilor de beton propuse au ca scop obținerea unui beton conform sub aspectul criteriilor de rezistență și, totodată, sustenabil. Din acest motiv a fost realizată o evaluare a ciclului de viață pentru a evidenția posibilitatea de înlocuire a agregatelor naturale (nisip, pietriș) cu deșeuri din cauciuc sau cu perlit. Metoda LCA utilizată este "Cradle-to-Gate with options" (de la extracție la produs la poarta fabricii, cu opțiuni) și include următoarele etape ale ciclului de viață a materialelor utilizate în amestecurile propuse:

- extracția, pre-procesarea și procesarea materiilor prime;
- fabricarea materialelor pentru construcții utilizate pentru realizarea produselor analizate;
- transportul materialelor pentru construcții de la unitatea unde au fost fabricate până la locul utilizării;
- malaxare;
- etapa de dezmembrare a anvelopelor și de separare și selecție a granulelor de cauciuc, în cazul betonului cu cauciuc mărunțit sau etapa de fabricare a perlitului, în cazul betonului cu perlit;
- perioada de utilizare a clădirii.

Pentru realizarea studiului LCA, au fost luate în considerare trei categorii de impact pentru evaluarea efectelor asupra mediului înconjurător: potențialul de încălzire globală (Global Warming), cu unitatea de măsură de echivalenți de CO₂, potențialul toxic asupra oamenilor (Human Toxicity), exprimat în CTUh (cancer toxic units) și potențialul de degradare a stratului de ozon (Ozone Depletion), măsurat în echivalenți de CFC-11.

Studiul LCA a fost realizat tip Cradle-to-Gate with options, prin introducerea impactului utilizării compozițiilor proiectate asupra balanței energetice pentru modulul propus, descris în Capitolul 4. Deoarece valorile conductivității termice a amestecurilor propuse în Capitolul 5 se îmbunătățesc prin creșterea procentuală a volumului de cauciuc și de perlit introdus, s-a calculat necesarul de energie pentru

încălzire pentru fiecare variantă analizată anterior și s-a luat în considerare o durată de viață a modulului propus de 100 de ani.

6.5 Evalurea impactului betonului asupra mediului. Studii de caz

6.5.1 Studiu de caz 1 – beton standard – Martor

Rețeta de beton standard (Martor) este cea prezentată în Capitolul 5, iar pentru analiza LCA sunt introduse ca date de intrare cantitățile de ciment, apă, nisip, pietriș și energia necesară pentru procesul de malaxare a amestecului. Datele sunt prezentate în Tabelul 6.2.

Tabelul 6.2. Date de intrare beton Martor

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Malaxare
(kg)				(MJ)
330	180	764	1100	39,672

6.5.2 Studiu de caz 2 – beton cu 10% cauciuc – S1 – 10C

Rețeta de beton S1 – 10C realizată prin înlocuirea a 10% din volumul agregatului 4-8mm cu deșeu de cauciuc este introdusă ca date de intrare, iar pentru analiza LCA sunt introduse adițional și consumul de energie necesar procesării granulelor de cauciuc din anvelope uzate (Tabelul 6.6.).

Tabelul 6.6. Date de intrare beton S1 – 10C

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Malaxare	Electricitate – consum procesare 9,2 kg granule cauciuc
(kg)				(MJ)	
330	180	764	1068,30	39,672	7,12

6.5.3 Studiu de caz 3 – beton cu 20% cauciuc – S2 – 20C

În Tabelul 6.10. sunt prezentate datele de intrare pentru amestecul S2 – 20C, prin reducerea cantității de agregat 4-8mm cu 20% din volum la 253,6kg și introducerea consumul de energie necesar procesării granulelor de cauciuc din anvelopele uzate.

STUDII PRIVIND EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI PENTRU
SOLUȚIILE DE BETON UTILIZABILE
LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

Tabelul 6.10. Date de intrare beton S2 – 20C

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Malaxare	Electricitate – consum procesare 18,4 kg granule cauciuc
(kg)				(MJ)	
330	180	764	1036,60	39,672	14,21

6.5.4 Studiu de caz 4 – beton cu 30% cauciuc – S3 – 30C

În Tabelul 6.14. sunt detaliate datele de intrare pentru amestecul S3 – 30C, realizat prin înlocuirea a 30% din volumul agregatelor 4-8mm cu cauciuc mărunțit. Pentru analiza LCA, a fost introdus, suplimentar, și electricitatea folosită pentru procesarea granulelor de cauciuc.

Tabelul 6.14. Date de intrare beton S3 – 30C

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Malaxare	Electricitate – consum procesare 27,6 kg granule cauciuc
(kg)				(MJ)	
330	180	764	1004,90	39,672	21,34

6.5.5 Studiu de caz 5 – beton cu 10% perlit – S1 – 10P

Pentru analiza LCA sunt introduse ca date de intrare cantitățile de ciment, apă, nisip, pietriș și perlit pentru rețeta de beton realizată prin înlocuirea a 10% din volumul nisipului cu perlit. Suplimentar, este introdusă și energia necesară pentru procesul de malaxare a amestecului (Tabelul 6.18.).

Tabelul 6.18. Date de intrare beton S1 – 10P

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Perlit	Malaxare
(kg)					(MJ)
330	180	687,6	1100	5,55	39,672

6.5.6 Studiu de caz 6 – beton cu 20% perlit – S2 – 20P

În Tabelul 6.22, sunt prezentate datele de intrare pentru rețeta de beton realizată prin înlocuirea a 20% din volumul nisipului cu perlit, dar și energia necesară pentru procesul de malaxare a compoziției.

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

Tabelul 6.22. Date de intrare beton S2 – 20P

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Perlit	Malaxare
(kg)					(MJ)
330	180	611,20	1100	11,09	39,672

6.5.7 Studiu de caz 7 – beton cu 30% perlit – S3 – 30P

Pentru analiza LCA sunt introduse ca date de intrare cantitățile utilizate în rețeta de beton realizată prin înlocuirea a 30% din volumul nisipului cu perlit. În plus, au fost adaugate ca date de intrare și energia necesară pentru procesul de malaxare a amestecului (Tabelul 6.26.).

Tabelul 6.26. Date de intrare beton S3 – 30P

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Perlit	Malaxare
(kg)					(MJ)
330	180	534,80	1100	16,64	39,672

6.5.8 Studiu de caz 8 – beton cu 100% perlit – S4 – 100P

Pentru analiza LCA sunt introduse ca date de intrare cantitățile utilizate în rețeta de beton realizată prin înlocuirea a 100% din volumul nisipului cu perlit. De asemenea, a fost adăugată energia necesară pentru procesul de malaxare a amestecului (Tabelul 6.30.).

Tabelul 6.30. Date de intrare beton S4 – 100P

Ciment	Apă	Nisip	Pietriș	Perlit	Malaxare
(kg)					(MJ)
330	180	0	1100	55,47	39,672

6.6 Interpretarea rezultatelor obținute în cadrul studiilor de caz efectuate

În Figura 6.3, sunt prezentate valorile potențialului de încălzire globală Cradle-to-Gate with option, cu înglobarea impactului energiei pentru încălzirea modulului

STUDII PRIVIND EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI PENTRU SOLUȚIILE DE BETON UTILIZABILE LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

propus în Capitolul 4 și pentru fiecare compoziție analizată în Capitolul 5, în subcapitolul Cercetări experimentale – Etapa I.

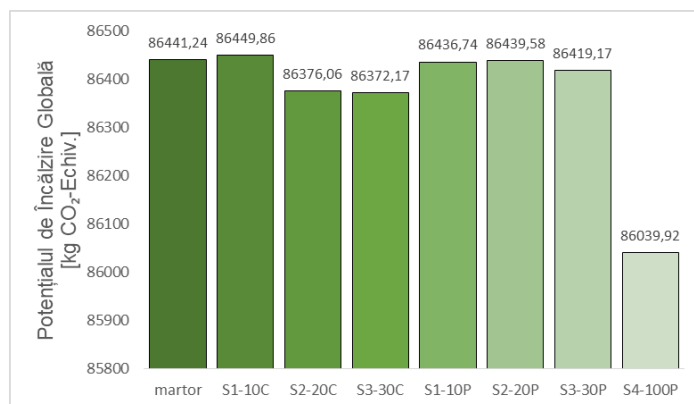
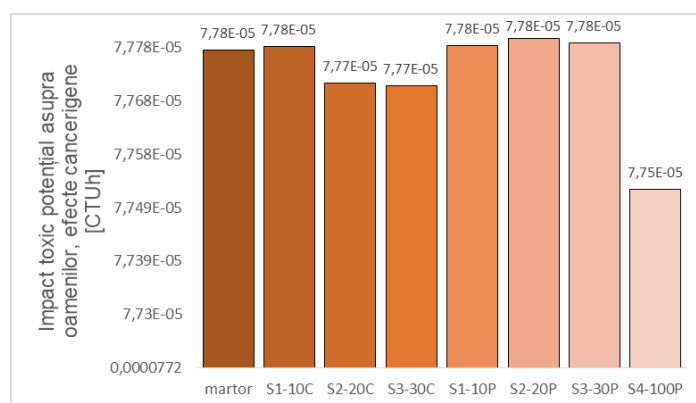


Figura 6.3. Rezultatele obținute pentru categoria de impact: potențialul de încălzire globală petru beton

Reducerea potențialului de încălzire globală sugerează că înlocuirea agregatelor naturale cu deșeuri de cauciuc mărunțit sau cu perlit rămâne o strategie eficientă pentru a reduce amprenta de carbon a betonului. În cazul cauciucului mărunțit, deși este deșeu, contribuie, de asemenea, la emisiile de CO₂ totale. Este necesar să fie pusă în balanță și reducerea problemelor de depozitare a acestor deșeuri, care de asemenea, impactează mediul înconjurător. În cazul perlitului, s-a ținut cont de emisiile de CO₂ pentru fabricarea materialului, care sunt mai mari decât în cazul nisipului.

În Figura 6.4., sunt detaliate valorile impactul toxic potențial asupra oamenilor pentru compozițiile propuse.



CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

Figura 6.4. Rezultatele obținute pentru categoria de impact: impactul toxic potențial asupra oamenilor, efecte cancerigene

În Figura 6.5., sunt analizate diferențele de valori obținute, în cazul utilizării compozițiilor propuse, pentru potențialul de degradare a ozonului, care impactează creșterea nivelului radiațiilor UV și are efecte negative asupra sănătății și ecosistemelor.

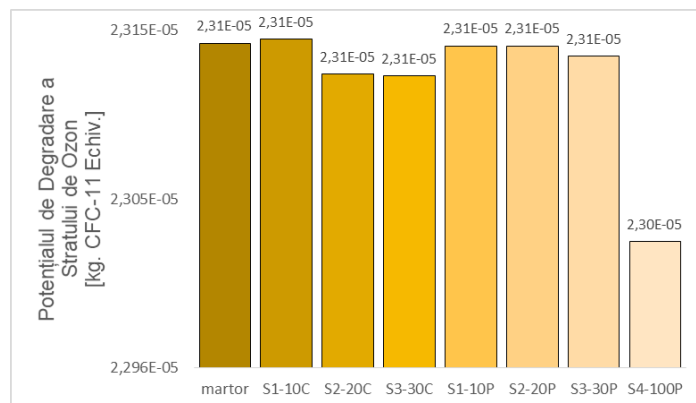


Figura 6.5. Rezultatele obținute pentru categoria de impact: potențialul de degradare a stratului de ozon

În concluzie, prin analiza evaluării ciclului de viață prezentat pentru cele opt compoziții de beton, se observă că există beneficii în reducerea impactului asupra mediului pentru deșeurile de cauciuc mărunțit și pentru perlit. Utilizarea materialelor alternative, reciclate și a deșeurilor contribuie la reducerea consumului de agregate naturale și la diminuarea deșeurilor. Deși procesul de procesare a granulelor de cauciuc mărunțit și procesul de fabricare a perlitului implică un consum suplimentar de energie, acesta poate fi compensat prin micșorarea necesarului de energie pentru încălzire, dar și prin utilizarea surselor de energie regenerabile disponibile în zonele învecinate depozitelor deșeurilor de cauciuc mărunțit sau a fabricilor de perlit.

STUDII PRIVIND EVALUAREA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI PENTRU
SOLUȚIILE DE BETON UTILIZABILE
LA MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

CAPITOLUL 7.

CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA CARACTERISTICILOR DE PUNTE TERMICĂ.

STUDII DE CAZ PENTRU MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

7.1 Introducere

În proiectul experimental, prezentat în Capitolul 5, pentru fiecare amestec propus, rețeta de beton martor, beton cu 10% (S1 – 10C), 20% (S2 – 20C) și 30% (S3 – 30C) cauciuc mărunțit, beton cu 10% (S1 – 10P), 20% (S2 – 20P), 30% (S3 – 30P) și 100% (S4 – 100P) perlit, au fost măsurate conductivitățile termice pe fiecare latură a probelor cubice pentru o verificare suplimentară și o mediere a rezultatelor obținute. Valorile coeficientul de conductivitate termică diferite în funcție de direcția de turnare vor fi folosite pentru un studiu al punților termice din zona de îmbinare a plăcii parter cu soclu. Detaliul ales pentru analiză este zona de placă parter adiacentă la soclu de beton pentru modulul de locuință propus, realizat pe structură tip timber-frame.

7.2 Compararea rezistențelor termice unidirecționale în câmp curent

7.2.1 Determinarea rezistențelor termice

Conform normativului C107-2005, partea a 5-a, rezistența termică specifică unidirecțională a plăcii pe sol R_1 se calculează cu relația (7.1.):

$$R_1 = \frac{1}{6} + \frac{d_{p1} + z - f}{\lambda_{p1}} + \frac{d_{p2}}{\lambda_{p2}} + \sum \frac{d}{\lambda} \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right] \quad (7.1.)$$

în care:

z – distanța de la suprafața superioară a pardoselii până la cota terenului sistematizat CTS (nivelul pământului în exteriorul clădirii, după executarea sistematizării pe verticală), exprimată în m;

f – suma grosimilor straturilor componente, până la suprafața superioară a terenului de umplură, ale plăcii pe sol, exprimată în m;

CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA
CARACTERISTICILOR DE PUNTE TERMICĂ.
STUDII DE CAZ PENTRU MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

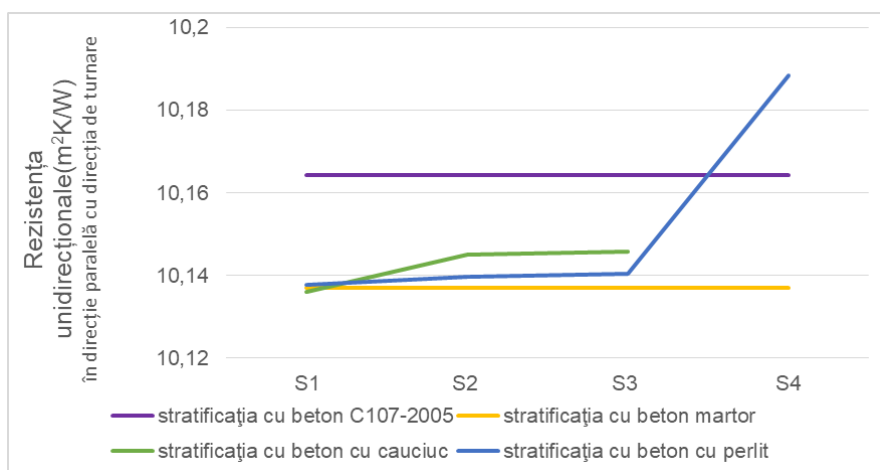
d_{p1} , d_{p2} – grosimile straturilor de pământ dintre CTS (limită superioară) și CSI (limită inferioară) și au următoarele valori stabilite în C107/5 – 2005: $d_{p1}=3,0\text{m}$ și $d_{p2}=4,0\text{m}$;

λ_{p1} , λ_{p2} – valorile conductivităților termice de calcul pentru cele două straturi de pământ dintre CTS și CSI, având următoarele valori stabilite în C107/5 – 2005: $\lambda_{p1}=2,0\text{W/mK}$ și $\lambda_{p2}=4,0\text{W/mK}$;

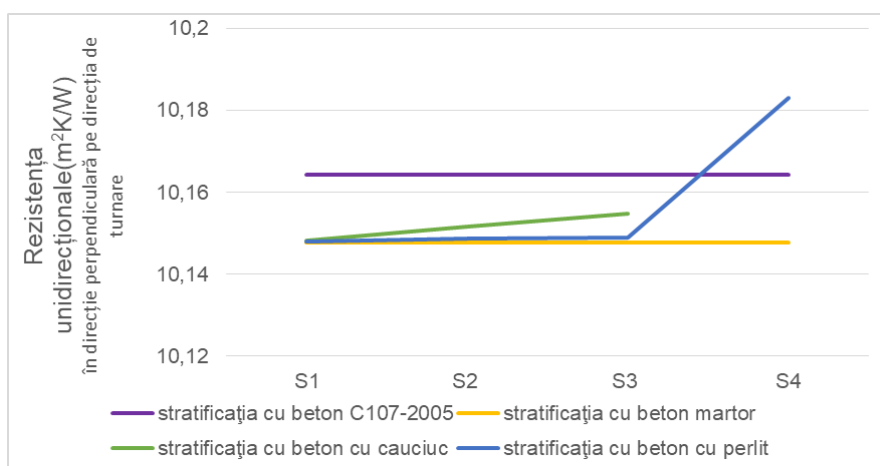
$\sum \frac{d}{\lambda}$ – suma raporturilor dintre grosimile straturilor componente ale plăcii cu valorile coeficienților de conductivitate termică aferent fiecărui strat (material), exprimată în $\text{m}^2\text{K/W}$.

7.2.2 Compararea rezultatelor

Rezultatele calculului de rezistențe termice unidirecționale realizat în subcapitolul anterior sunt prezentate în Figura 7.2.



(a)



(b)

Figura 7.2. (a) Variația rezistenței unidirecționale pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție paralelă cu direcția de turnare;

- (b) Variația rezistenței unidirecționale pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție perpendiculară pe direcția de turnare

7.3 Determinarea coeficientului liniar de transfer termic

Valoarea coeficienților liniari de transfer termic corespunzători plăcii pe sol, se calculează utilizând următoarea formulă (7.2.):

$$\Psi = \frac{1}{\Delta T} \cdot \left(\Phi_1 - \frac{B_i \cdot \Delta T_p}{R_1} \right) \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right] \quad (7.2.)$$

în care:

ΔT – căderea totală de temperatură, $\Delta T = T_i - T_e$, exprimată în °C sau K;

Φ_1 – fluxul termic aferent plăcii pe sol, rezultat din programul de calcul, exprimat în W;

ΔT_p – diferența dintre temperatura interioară și temperatura pământului în dreptul CSI, $\Delta T_p = T_i - T_p$, exprimată în °C sau K;

R_1 – rezistența termică specifică unidirecțională a plăcii pe sol, exprimată în m²K/W.

7.3.1 Studiu de caz 1

Un prim studiu de caz a fost realizat pentru analiza punții termice din zona de placă parter și soclu, cu valoarea λ a betonului din C107-2005. Rezultatul coeficientului liniar de transfer termic corespunzător plăcii pe sol este de $\Psi = 0,26757 \text{ W/mK}$, iar fluxul termic de $\phi = 20,99 \text{ W}$.

7.3.2 Studiu de caz 2

Pentru utilizarea betonului martor cu valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, $\Psi = 0,29365 \text{ W/mK}$ și $\phi = 22,01 \text{ W}$, iar în cazul valorii λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare, $\Psi = 0,27396 \text{ W/mK}$ și $\phi = 21,25 \text{ W}$.

7.3.3 Studiu de caz 3

Pentru utilizarea betonului cu 10% cauciuc (S1–10C), cu valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, valorile rezultate sunt: $\Psi = 0,29467 \text{ W/mK}$ și $\phi = 22,05 \text{ W}$. În cazul calculelor cu valoarea λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare, $\Psi = 0,28133 \text{ W/mK}$ și $\phi = 21,53 \text{ W}$.

7.3.4 Studiu de caz 4

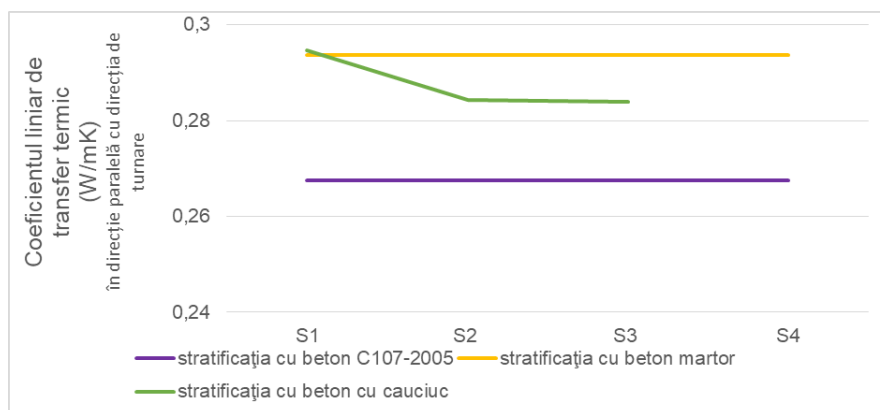
Pentru compoziția S2–20C, cu valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, rezultatul coeficientului liniar de transfer termic corespunzător plăcii pe sol este de $\Psi=0,28440\text{W/mK}$, micșorată față de valoarea $\Psi=0,29365\text{W/mK}$, obținută în cazul betonului martor, iar fluxul termic de $\varphi=21,65\text{W}$, redus față de valoarea în cazul analizei punții termice cu valorile betonului martor, adică $\varphi=22,01\text{W}$. În cazul calculelor cu valoarea λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare, $\Psi=0,27802\text{W/mK}$ și $\varphi=21,40\text{W}$.

7.3.5 Studiu de caz 5

Coeficientului liniar de transfer termic pentru S3-30C este de $\Psi=0,28390\text{W/mK}$ pentru valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, respectiv $\Psi=0,27547\text{W/mK}$ pentru valoarea λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare. În cazul fluxului termic, valorile sunt de $\varphi=21,63\text{W}$, respectiv $\varphi=21,30\text{W}$.

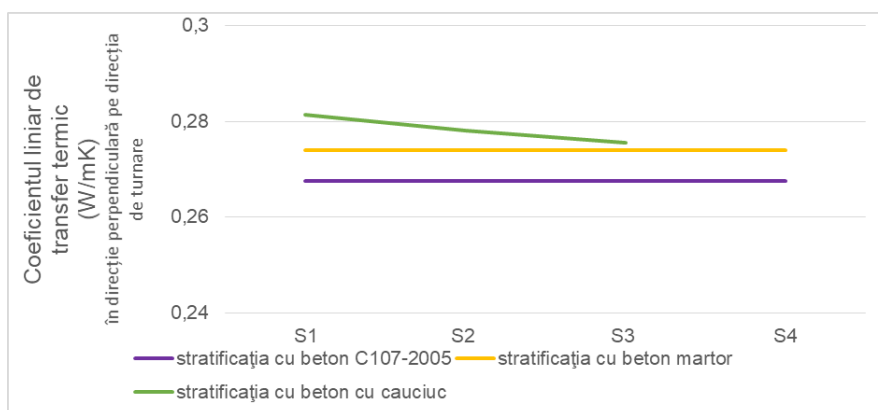
7.3.6 Interpretarea rezultatelor studiilor de caz 1-5

Valorile pentru betonul cu cauciuc scad odată cu înglobarea unui procent mai mare de cauciuc. Se mai poate observa (Figura 7.3.) că valorile coeficientului liniar de transfer termic pentru betonul măsurat are valori relativ mai apropiate cu cele pentru betonul C107-2005 în cazul măsurării în direcție perpendiculară pe direcția de turnare. De asemenea, aceste valori sunt mai mici decât cele ale stratificațiilor cu betonul cu cauciuc.



(a)

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC



(b)

Figura 7.3. (a) Variația coeficientului liniar de transfer termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție paralelă cu direcția de turnare;

(b) Variația coeficientului liniar de transfer termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție perpendiculară pe direcția de turnare

7.3.7 Studiu de caz 6

Pentru utilizarea betonului cu înlocuirea în procent de 10% a nisipului cu perlit (S1–10P), cu valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, valorile rezultate sunt: $\Psi=0,27157\text{W/mK}$ și $\phi=21,97\text{W}$. În cazul calculelor cu valoarea λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare, $\Psi=0,26186\text{W/mK}$ și $\phi=21,59\text{W}$.

7.3.8 Studiu de caz 7

Coeficientului liniar de transfer termic pentru S2-20P este de $\Psi=0,2695\text{W/mK}$ pentru valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, respectiv $\Psi=0,26002\text{W/mK}$ pentru valoarea λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare. În cazul fluxului termic, valorile sunt de $\phi=21,88\text{W}$, respectiv $\phi=21,52\text{W}$.

7.3.9 Studiu de caz 8

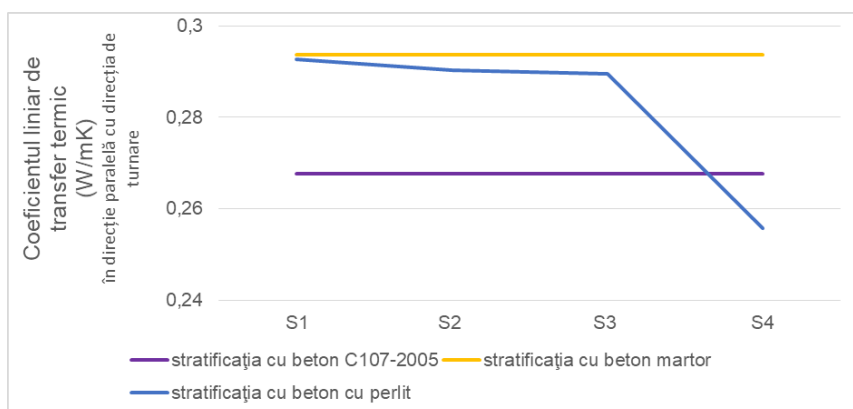
Pentru utilizarea betonului cu înlocuirea nisipului în procent de 30% cu perlit (S3–30P), cu valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, rezultate sunt: $\Psi=0,26871\text{W/mK}$ și $\phi=21,85\text{W}$. În cazul calculelor cu valoarea λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare, $\Psi=0,2595\text{W/mK}$ și $\phi=21,50\text{W}$.

7.3.10 Studiu de caz 9

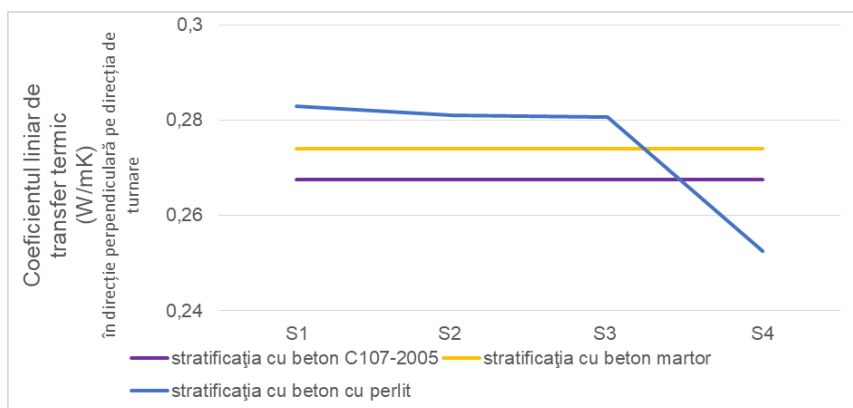
Coeficientului liniar de transfer termic pentru S4-100P este de $\Psi=0,26162\text{W/mK}$ pentru valoarea λ măsurată pe suprafața de turnare, respectiv $\Psi=0,2515\text{W/mK}$ pentru valoarea λ măsurată în direcția perpendiculară pe direcția de turnare. În cazul fluxului termic, valorile sunt de $\phi=21,62\text{W}$, respectiv $\phi=21,40\text{W}$.

7.3.11 Interpretarea rezultatelor studiilor de caz 1,2 și 6-9

Studiile de caz 1, 2, 6-9, au determinat coeficientul liniar de transfer termic pentru stratificațiile propuse cu valorile betonului din C107-2005, cu valorile măsurate ale betonului martor și cu valorile măsurate ale betonului cu perlit (Figura 7.4.) Valorile pentru betonul cu perlit scad odată cu înglobarea unui procent mai mare, iar în cazul înlocuirii totale a nisipului cu perlit (S4 – 100P), coeficientul de transfer termic se micșorează sub valoarea determinată prin utilizarea datelor specifice din C107-2005.



(a)



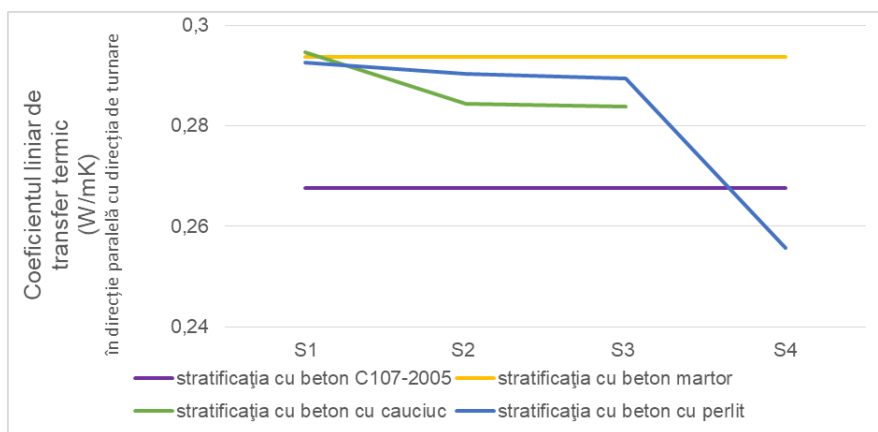
(b)

Figura 7.4. (a) Variația coeficientului liniar de transfer termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție paralelă cu direcția de turnare;

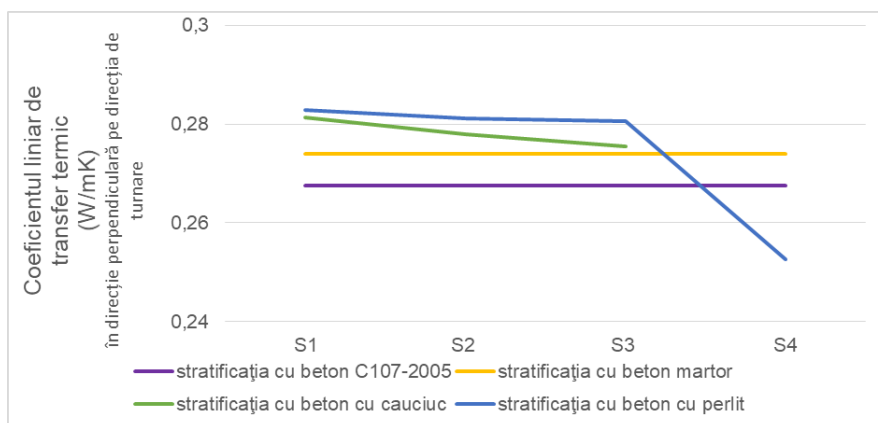
(b) Variația coeficientului liniar de transfer termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție perpendiculară pe direcția de turnare

7.4 Interpretarea rezultatelor și calculul U pentru puntea termică în cazul modulului de locuință propus

Din analiza măsurătorilor prezentate în Capitolul 5, conductivitatea termică a betonului în direcția perpendiculară de turnare este mai mică decât cea a betonului măsurată pe suprafața de turnare. Din acest motiv, se observă o reducere a coeficientului liniar de transfer termic (Figura 7.5.) și a fluxului termic (Figura 7.5.).



(a)

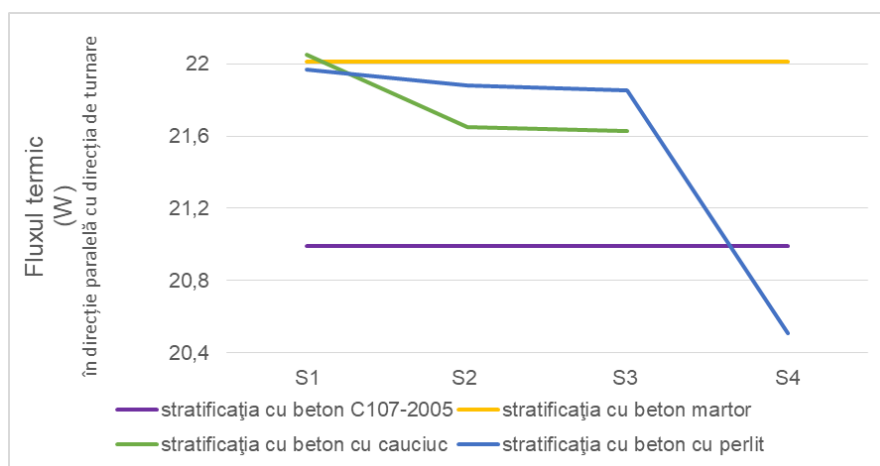


(b)

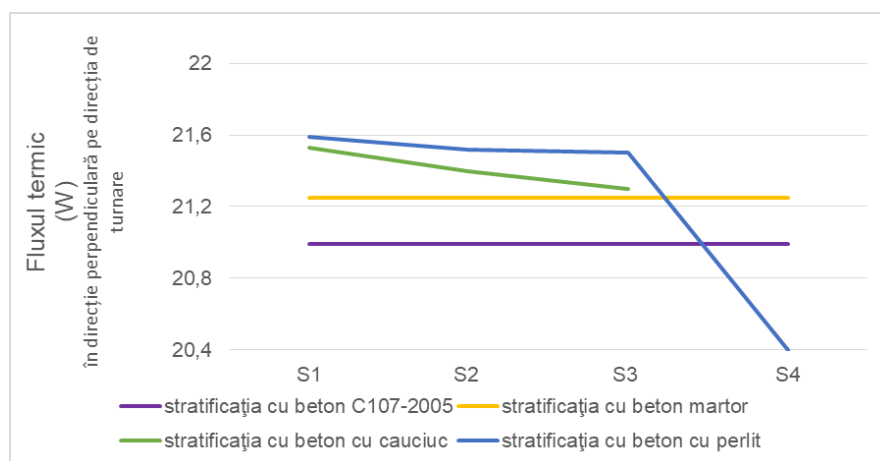
Figura 7.5. (a) Variația coeficientului liniar de transfer termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție paralelă cu direcția de turnare;

CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA
CARACTERISTICILOR DE PUNTE TERMICĂ.
STUDII DE CAZ PENTRU MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

(b) Variația coeficientului liniar de transfer termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție perpendiculară pe direcția de turnare



(a)



(b)

Figura 7.6. (a) Variația fluxului termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție paralelă cu direcția de turnare;

(b) Variația fluxului termic pentru stratificația cu valorile de conductivitate termică a betonului măsurată în direcție perpendiculară pe direcția de turnare

Din rezultatele numerice, se observă diferențe dintre transmitanța termică a plăcii în funcție de valorile măsurate în relație cu direcția față de turnare (Tabelul 7.27.). Diferențele dintre valorile transmitanței termice corectate a plăcii pentru stratificații propuse, cu valori măsurate pe direcția de turnare ($U1'a$) și cele cu valori măsurate în direcția perpendiculară pe direcția de turnare ($U1'b$) sunt de 5,86%

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

pentru utilizarea betonului martor, de maxim 3,96% pentru utilizarea betonului cu cauciuc și de maxim 2,89% pentru utilizarea betonului cu perlit.

Tabelul 7.27. Transmitanța termică corectată a plăcii pentru stratificații propuse, cu valori măsurate pe direcția de turnare ($U_1'a$), în direcția perpendiculară pe direcția de turnare ($U_1'b$), respectiv media lor (U_1' mediu)

W/m²K	beton C107- 2005	beton martor	S1-10C	S2-20C	S3-30C	S1-10P	S2-20P	S3-30P	S4-100P
$U_1'a$	0,2110	0,2288	0,2295	0,2225	0,2222	0,2281	0,2265	0,2260	0,2028
$U_1'b$	0,2110	0,2154	0,2204	0,2181	0,2164	0,2215	0,2202	0,2199	0,2007
U_1' mediu	0,2110	0,2211	0,2243	0,2200	0,2189	0,2243	0,2229	0,2225	0,2016

Pentru a avea ca rezultat o singură valoare U_1' , se propune o mediere a valorilor în funcție de grosimea stratului de beton, de 150mm pentru placa de beton și de 200mm pentru soclul de beton. Se poate observa că valoarea transmitanței termice corectate pentru stratificații propuse cu utilizarea betonului cu 100% perlit (S4 – 100P) este de 0,2016 W/m²K, cu 8,82% mai redus decât 0,2211 W/m²K, valoarea transmitanței termice rezultată prin utilizarea betonului martor.

CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA
CARACTERISTICILOR DE PUNTE TERMICĂ.
STUDII DE CAZ PENTRU MODULUL PREFABRICAT PROPUȘ

CAPITOLUL 8.

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

8.1 Concluzii generale

Tema de cercetare abordată este de natură pluridisciplinară, deoarece integrează domeniul construcțiilor cu arhitectura.

Capitolul 1 abordează aspectele generale, care au stat la baza motivației realizării cercetării. Strategiile pasive sunt baza unei proiectări solare, orientate spre confort și sustenabilitate, iar forma clădirii poate să influențeze pozitiv balanța energetică. De asemenea, cercetarea îmbunătățirii materialelor cu deșeuri, materiale reciclate sau materiale naturale performante termic, contribuie la reducerea impactului negativ al sectorului construcțiilor asupra mediului înconjurător și la îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor.

Capitolul 2 evidențiază preocupările actuale legate de eficiența energetică în construcții, subliniind impactul semnificativ al acestui sector asupra mediului înconjurător. Din punct de vedere al eficienței energetice, există o serie de reglementări legislative și standarde de proiectare care susțin implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero (nZEB). În plus, conceptele opționale, precum Casa Pasivă, și-au demonstrat eficiența prin monitorizarea pe termen lung a performanțelor clădirilor existente certificate de către Institutul de Case Passive. Forma clădirii influențează balanța energetică prin raportul dintre aporturile solare și pierderi de căldură.

Capitolul 3 prezintă avatajele prefabricării și modularii în domeniul construcțiilor, prin abordarea modului în care tehnologia modernă poate transforma procesul de execuție a unei clădiri. De asemenea, este importantă și îmbunătățirea din punct de vedere termic a unor materiale, precum betonul, folosite în compoziția elementelor anvelopei termice. Acest lucru se poate realiza prin înglobarea unor materiale reciclate, deșeuri sau chiar a altor materiale naturale, pentru a contribui la reducerea amprente de carbon și la promovarea economiei circulare în construcții.

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

Capitolul 4 prezintă o serie de studii de caz care analizează relația dintre forma clădirii și balanța energetică. Studiile de caz au fost realizate pe module diverse, potrivite pentru spații rezidențiale unifamiliale, cu variația unor parametri: forma în plan a clădirii, numărul de etaje, poziționarea și suprafața ferestrelor și forma acoperișului. Liniile directoare ale acestor studii de caz, precum și cercetarea literaturii de specialitate din domeniu, au condus la propunerea unui modul de locuința prefabricat, cu posibilitate de cuplare cu un alt modul.

Capitolul 5 prezintă cercetări experimentale pentru îmbunătățirea proprietăților termice ale betonului utilizat la modulul prefabricat propus. Soluțiile alese au avut la bază cercetările din literatura de specialitate: înlocuirea procentuală a agregatelor naturale cu cauciuc mărunțit și perlit. Rezultatele experimentale au arătat că amestecurile cu procente de cauciuc mărunțit de 10%, 20% și 30% prezintă îmbunătățiri termice semnificative față de cele cu perlit. Din acest motiv, s-a optat pentru realizarea unei compoziții cu 100% perlit, cu rezultate experimentale îmbunătățite pentru conductivitatea termică și cu o rezistență la compresiune similară amestecului cu 30% cauciuc.

Capitolul 6 evaluează impactul asupra mediului pentru soluțiile de beton propuse să fie utilizate la modulul prefabricat propus. Pentru un studiu LCA mai complex tip Cradle-to-Gate s-a utilizat opțiunea de a introduce suplimentar necesarul de energie pentru încălzire pentru modulul propus la fiecare compoziție analizată.

Capitolul 7 prezintă cercetări privind evaluarea caracteristicilor de punte termică și realizarea unor studii de caz pentru modulul prefabricat propus. Valorile diferite ale coeficientului de conductivitate termică, în funcție de direcția de turnare, măsurate în Capitolul 5, sunt utilizate într-un studiu privind punțile termice din zona de îmbinare dintre placa parterului și soclu.

8.2 Contribuții

Contribuțiile personale importante rezultate din programele de cercetare efectuate, cu o valoare științifică care corespunde unei teze de doctorat, sunt următoarele:

- Realizarea unui studiu de sinteză care prezintă în detaliu stadiul actual al cercetării în domeniul conceptelor de eficiență energetică, conceptului de

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ÎN SISTEM MODULAR PREFABRICAT A CLĂDIRILOR EFICIENTE ENERGETIC

Casă Pasivă și impactul asupra stării de confort;

- Realizarea unui studiu de sinteză privind prefabricarea anvelopei termice și analiza diverselor tipuri de case prefabricate și materiale folosite;
- Analiza unor exemple de materiale sustenabile care pot înlocui agregatele naturale din amestecul de beton și elaborarea unui studiu de sinteză al stadiului actual al cunoașterii în acest domeniu;
- Examinarea literaturii de specialitate cu privire la cele două amestecuri propuse în programul de cercetare: beton cu cauciuc mărunțit și beton cu perlit și elaborarea unei sinteze cu scopul de a defini principalii parametri necesari probelor efectuate;
- Realizarea unui studiu privind influența formei clădirilor asupra balanței energetice, care evidențiază linii directe pentru a realiza un ghid privind raportul dintre formă și eficiență energetică;
- Conceperea unui modul de clădire rezidențială și realizarea unei analize detaliate privind echilibrul arhitectural între funcționalitate, formă și eficiență energetică;
- Examinarea posibilităților de cuplare a modulelor rezidențiale pentru dezvoltarea unor soluții la scară mare, precum eco-cartiere;
- Conceperea și implementarea unui program experimental prin stabilirea și realizarea rețetelor de beton cu cauciuc mărunțit și beton cu perlit pentru experimentele propuse;
- Identificarea metodelor și metodologiilor de investigare și analiză a amestecurilor propuse privind îmbunătățirea performanțelor termice ale betonului și păstrarea caracteristicilor de rezistență a betonului;
- Realizarea unor microscopii electronice de suprafață pe probele realizate în vederea identificării caracteristicilor amestecurilor propuse;
- Prelucrarea, analizarea și verificarea datelor obținute în cadrul experimentelor;
- Evaluarea impactului asupra mediului înconjurător pentru toate compozițiile de beton realizate, printr-o analiză detaliată a ciclului de viață (LCA) privind următoarele categorii de impact: încălzirea globală, impactul toxic asupra

oamenilor și degradarea stratului de ozon;

- Realizarea analizelor numerice pentru evaluarea punții termice specifice zonei de intersecție dintre placa pe sol și soclu;
- Realizarea unei liste bibliografice și menționarea celor mai documentate și reprezentative lucrări academice cu teme legate de eficiență energetică, case pasive, influența formei clădirii asupra balanței energetice, prefabricarea și modularea, utilizarea unor deșeuri sau a altor materiale în compoziția de beton.

8.3 Valorificarea rezultatelor

În total, au fost publicate **14 lucrări științifice** care abordează diverse aspecte din domeniul eficienței energetice, după cum urmează:

1 capitol carte

[1] Isopescu, D. N., & **Ungureanu, A.** (2023). Sustainable development of the built environment and territorial systematization. In Advances in finance, accounting, and economics book series (pp. 1–26).

<https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8238-4.ch001>

6 Lucrări publicate în reviste cotate ISI, cu factor de impact

[2] Isopescu, D., Galatanu, C., **Ungureanu, A.**, Maxineasa, S., Vizitiu-Baciu, I., Nistorac, A., & Moga, L. M. (2024). Balancing the energy efficiency benefits of glazed surfaces: a case study. Buildings, 14(7), 2157.

<https://doi.org/10.3390/buildings14072157>

[3] Maxineasa, S. G., Isopescu, D. N., Vizitiu-Baciu, I., **Cojocar, A.**, & Moga, L. M. (2024). Variability in Heating Demand Predictions: A Comparative study of PHPP and MC001-2022 in existing residential buildings. MDPI.

<https://doi.org/10.3390/buildings14092923>

[4] **Cojocar, A.**, Isopescu, D. N., Maxineasa, S. G., & Petre, S. G. (2023). Assessment of thermal and mechanical properties of Cement-Based Materials—Part 1: Crumb Rubber concrete. Buildings, 13(2), 324.

<https://doi.org/10.3390/buildings13020324>

- [5] Isopescu, D. N., **Cojocaru, A.**, Baci, I., Maxineasa, S. G., & Petre, S. G. (2023). Assessment of Thermal and Mechanical Properties of Cement-Based Materials—Part 2: Perlite Concrete. Preprints, 2023041217.
<https://doi.org/10.20944/preprints202304.1217.v2>
- [6] Maxineasa, S. G., Isopescu, D. N., Baci, I. R., **Cojocaru, A.**, & Moga, L. M. (2023). Influence of the Thermal Insulation Thickness of Walls on the Heating Demand of an Existing Dwelling. Preprints, 2023120196.
<https://doi.org/10.20944/preprints202312.0196.v1>
- [7] Petre, S. G., Isopescu, D. N., Pruteanu, M., **Cojocaru, A.** (2022). Effect of exposure to environmental cycling on the thermal conductivity of expanded polystyrene. *Materials*, 15(19), 6921.
<https://doi.org/10.3390/ma15196921>
-

4 Lucrări publicate în reviste indexate BDI

- [8] **Cojocaru, A.**, & Isopescu, D. N. (2021). Passive strategies of vernacular architecture for energy efficiency. *Buletinul Institutului Politehnic “Gheorghe Asachi” Din Iași. Secția Construcții. Arhitectură*, 67(2), 33–44.
<https://doi.org/10.2478/bipca-2021-0013>
- [9] **Cojocaru, A.**, Isopescu, D.N., Maxineasa, S.G., Petre, S.G., Baci, I.R. (2024), State of art on passive house standards analysis in terms of energy performance. *Buletinul Institutului Politehnic “Gheorghe Asachi” din Iași. Secția Construcții. Arhitectură – în curs de publicare*
- [10] **Cojocaru, A.**, Isopescu, D.N., Maxineasa, S.G., Petre, S.G., Baci, I.R., (2024), Characteristics of ventilated facades and facade anchors for passive house buildings, *Buletinul Institutului Politehnic “Gheorghe Asachi” din Iași. Secția Construcții. Arhitectură – în curs de publicare*
- [11] Isopescu, D.N., Zăpodeanu, I.D., Baci, I.R., **Cojocaru, A.**, Maxineasa, S.G., (2024), The research on the influence of exposure to outdoor environmental cycles (freeze-thaw) on the mechanical characteristics of corian, *Buletinul Institutului Politehnic “Gheorghe Asachi” din Iași. Secția Construcții. Arhitectură – în curs de publicare*
-

1 Lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice indexate ISI

[12] **Cojocaru, A.**, Isopescu, D. N., & Maxineasa, S. G. (2023b). Perlite concrete: a review. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 1283(1), 012003.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/1283/1/012003>

2 Lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice indexate BDI

[13] **Ungureanu, A.**, Isopescu, D.N., Maxineasa, S.G., Vizitiu-Baciu, I-R, Petre, S.G. (2024) The influence of perlite on concrete properties. Case study. Ovidius University Annals Series: Civil Engineering – în curs de publicare

[14] **Cojocaru, A.**, & Isopescu, D. N. (2021b). The influence of the architecture form in the performance analysis of a passive house in Moldavia. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 1141(1), 012001.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/1141/1/012001>

Lucrările publicate au fost citate în bazele de date ISI WEB OF SCIENCE (6), Scopus (6) și Google Scholar (23).

Conferințele unde au fost prezentate date din cadrul cercetării sunt:

- Conferința „Inginerie Civilă în Actualul Context European”, 2024, Ungureanu, A., Isopescu, D.N., Maxineasa, S.G., Vizitiu-Baciu, I.R., Petre, S.G., The influence of perlite on concrete properties. Case study.
- Conferința internațională CIBv - Civil Engineering and Building Services, 2022 - Cojocaru, A., Isopescu, D.N., Maxineasa, S.G., Perlite concrete: A review;
- 4th International Conference of the Doctoral School, "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Romania, 2021 – Cojocaru, A., Isopescu, D.N., Passive Strategies of vernacular architecture for energy efficiency;
- The Computational Civil Engineering International Conference, „Empower the Digital Transition in the Construction World”, 2021 – Cojocaru, A., Isopescu, D.N., The influence of the architecture form in the performance analysis of a passive house in Moldavia;

- The National Technical-Scientific Conference (International Participation) – the 21th edition „Modern Technologies for the 3rd Millenium”, 2021 – Cojocaru, A., Isopescu, D.N., Active Energy Efficiency Systems Integrated into Architecture;

Participarea ca **membru în echipa de cercetare pentru proiectul de cercetare-dezvoltare națională Proiect POC 2014-2020**, Axa prioritară 1, Acțiunea 1.2.3, „Produse și tehnologii ecoinovatoare pentru eficiență energetică în construcții - EFECON”, ID P_40_295/MySMIS 105524, a contribuit la parcursul programului de cercetare/

8.4 Direcții viitoare de cercetare

Principalele direcții posibile de cercetare viitoare și implementări practice sunt:

- Continuarea analizei privind influența formei asupra balanței energetice a clădirilor prin studii de caz cu module variate din punct de vedere al diverselor caracteristici de volum;
- Dezvoltarea de ghiduri de arhitectură care să ofere linii directoare privind balanța energetică, prin integrarea strategiilor pasive;
- Implementarea unor proiecte pilot prin realizarea practică a unor module prefabricate, a căror performanță energetică poate fi monitorizată pe o perioadă extinsă de timp, în vederea validării rezultatelor teoretice și optimizării soluțiilor tehnice;
- Optimizarea rețetelor de beton cu cauciuc mărunțiu și cu perlit, pentru a îmbunătăți atât performanțele termice, cât și impactul asupra mediului înconjurător al acestor amestecuri, în conformitate cu cerințele de sustenabilitate;
- Dezvoltarea de reglementări și politici care să încurajeze implementarea de variante de beton „verde” și utilizarea materialelor reciclate în construcții.

Aceste direcții viitoare de cercetare oferă un cadru solid pentru continuarea dezvoltării științifice în domeniul eficienței energetice și a sustenabilității în construcții.

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

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Allouhi, A., Fouih, Y. E., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>

Al-Otaibi, A. (2024). Barriers and Enablers for Green Concrete adoption: A Scientometric aided Literature review approach. *Sustainability*, 16(12), 5093. <https://doi.org/10.3390/su16125093>

Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and Environment in Architecture: A Technical Design guide*. ResearchGate.

Boafo, F. E., Kim, J., & Kim, J. (2016). Performance of Modular Prefabricated architecture: Case Study-Based Review and Future Pathways. *Sustainability*, 8(6), 558. <https://doi.org/10.3390/su8060558>

Bochenska-Skalecka, A. (2011). Model Solution – an essential, initial designing tool for shaping Energy-Efficient building development and land development. *Procedia Engineering*, 21, 805–810. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2081>

Cojocaru, A., & Isopescu, D. N. (2021). Passive strategies of vernacular architecture for energy efficiency. *Buletinul Institutului Politehnic “Gheorghe Asachi” Din Iași. Secția Construcții. Arhitectură*, 67(2), 33–44. <https://doi.org/10.2478/bipca-2021-0013>

Cojocaru, A., Isopescu, D. N., & Maxineasa, S. G. (2023). Perlite concrete: a review. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1283(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1283/1/012003>

Cojocaru, A., Isopescu, D. N., Maxineasa, S. G., & Petre, S. G. (2023). Assessment of thermal and mechanical properties of Cement-Based Materials—Part 1: Crumb Rubber concrete. *Buildings*, 13(2), 324. <https://doi.org/10.3390/buildings13020324>

Depecker, P., Menezo, C., Virgone, J., & Lepers, S. (2001). Design of buildings shape and energetic consumption. *Building and Environment*, 36(5), 627–635. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(00\)00044-5](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(00)00044-5)

Directiva (UE) 2018/844 a Parlamentului European și a Consiliului din 30 mai 2018 de modificare a Directivei 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor și a

BIBLIOGRAFIE

Directivei 2012/27/UE privind eficiența energetică. (2018).

Emetere, M. E. (2022). Numerical methods in environmental data analysis. Elsevier.

Espinoza, O., Trujillo, V. R., Mallo, M. F. L., & Buehlmann, U. (2015). Cross-Laminated Timber: status and research needs in Europe. *BioResources*, 11(1). <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.281-295>

EU, European Commission Directive 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency, *Official Journal of the European Union*, L 156/75, 2018.

Finnegan, S., Edwards, R., Al-Derbi, B., Campbell, I., & Fulton, M. (2022). The potential of structurally insulated panels (SIPs) to supply net zero carbon housing. *Buildings*, 12(12), 2081. <https://doi.org/10.3390/buildings12122081>

Isopescu, D., Galatanu, C., Ungureanu, A., Maxineasa, S., Vizitiu-Baciu, I., Nistorac, A., & Moga, L. M. (2024). Balancing the energy efficiency benefits of glazed surfaces: a case study. *Buildings*, 14(7), 2157. <https://doi.org/10.3390/buildings14072157>

Jedidi, M., Benjeddou, O., & Soussi, C. (2015). Effect of expanded Perlite aggregate dosage on properties of lightweight concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(3), 378–391. <https://doi.org/10.14525/jjce.9.3.3071>

Kuzman, M. K., Grošelj, P., Ayrilmis, N., & Zbašnik-Senegačnik, M. (2013). Comparison of passive house construction types using analytic hierarchy process. *Energy and Buildings*, 64, 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.020>

Legea 50/1991, privind autorizarea executării lucrărilor de construcții actualizată 2024.

Legea locuinței nr. 114/1996 actualizată 2024.

Marie, I. (2017). Thermal conductivity of hybrid recycled aggregate – Rubberized concrete. *Construction and Building Materials*, 133, 516–524. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.113>

Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 601–605. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010>

Mladenovič, A., Šuput, J., Ducman, V., & Škapin, A. (2004). Alkali–silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates. *Cement and Concrete Research*,

34(10), 1809–1816. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.01.017>

Naik, T.R. (2008). Sustainability of Concrete Construction. Sustainability of Concrete Construction, American Society of Civil Engineers. doi: 10.1061/(ASCE)1084-0680(2008)13:2(98)

Oliveira, T. F., De Carvalho, J. M. F., Mendes, J. C., Souza, G. Z., Carvalho, V. R., & Peixoto, R. a. F. (2022). Precast concrete sandwich panels (PCSP): An analytical review and evaluation of CO2 equivalent. Construction and Building Materials, 358, 129424. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129424>

Oral, G. K., & Yilmaz, Z. (2002). The limit U values for building envelope related to building form in temperate and cold climatic zones. Building and Environment, 37(11), 1173–1180. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(01\)00102-0](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(01)00102-0)

Passive House. Passive House. <https://www.passivehouse.com>

Permana, A. S., & As'ad, S. (2023). Nature-friendly architectural house design in tropical cities to minimize home energy consumption. In Elsevier eBooks (pp. 73–94). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99207-7.00011-7>

Sah, T. P., Lacey, A. W., Hao, H., & Chen, W. (2024). Prefabricated concrete sandwich and other lightweight wall panels for sustainable building construction: State-of-the-Art Review. Journal of Building Engineering, 89, 109391. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109391>

Schnieders, J., Eian, T. D., Filippi, M., Florez, J., Kaufmann, B., Pallantzas, S., Paulsen, M., Reyes, E., Wassouf, M., & Yeh, S. (2019). Design and realisation of the Passive House concept in different climate zones. Energy Efficiency, 13(8), 1561–1604. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09819-6>

Schnieders, J., Feist, W., & Rongen, L. (2015). Passive Houses for different climate zones. Energy and Buildings, 105, 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.032>

Ungureanu, A., Isopescu, D.N., Maxineasa, S.G., Vizitiu-Baciu, I-R, Petre, S.G. (2024) The influence of perlite on concrete properties. Case study. Ovidius University Annals Series: Civil Engineering – în curs de publicare

United Nations Environment Programme. Buildings and climate change. UNEP Publications, 2007.

BIBLIOGRAFIE

Wang, Y., Kuckelkorn, J., Zhao, F., Liu, D., Kirschbaum, A., & Zhang, J. (2015). Evaluation on classroom thermal comfort and energy performance of passive school building by optimizing HVAC control systems. *Building and Environment*, 89, 86–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.023>

Wei, J., Li, J., Zhao, J., & Wang, X. (2023). Hot Topics and Trends in Zero-Energy Building Research—A bibliometrical analysis based on CiteSpace. *Buildings*, 13(2), 479. <https://doi.org/10.3390/buildings13020479>

Wikipedia. Casă pasivă. Wikipedia.

https://ro.wikipedia.org/wiki/Cas%C4%83_pasiv%C4%83