

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ Facultatea de Design de Produs și Mediu

Drd. ing. Denisa Ioana RUSEA

Colectoare solar termice de forme diverse implementabile în mediul construit

Solar thermal collectors of different shapes implemented in the built environment

REZUMAT

Conducător științific Prof. em.dr. ing. DHC Ion VIȘA

BRAȘOV, 2024



CUPRINS

Introducere	3
1. Stadiul actual în producerea de energie termică în mediul construit	1
2. Obiectivele tezei)
2. Conceptul ansamblelor de colectoare solar termice formate din colectoare neconvenționale	1
2.1 Configurații obținute prin combinarea CST de forme neconvenționale	1
2.2 Creșterea acceptanței arhitecturale prin folosirea de culori diferite și a conceptului pseudo 3D1	7
3. Studiul comportamentului termic al colectorului solar plan plat trunghiular cu serpentină	1
3.1 Descrierea colectorului2	1
3.2 Pierderile de căldură prin transfer termic2	3
3.3 Calculul numeric al pierderilor termice)
3.4. Proiectarea dimensional-constructivă a colectorului triunghiular cu serpentină 30	5
4. Testarea experimentală a colectorului solar termic triunghiular cu serpentină)
4.1. Testarea indoor)
4.2. Testarea outdoor	5
5. Concluzii finale. Contribuții originale. Diseminarea rezultatelor. Direcții viitoare	5
5.1. Concluzii finale	5
5.2. Contribuții originale	7
5.3. Diseminarea rezultatelor	3
5.4. Direcții viitoare	3
Bibliografie (Selecție))



Introducere

Într-un top al primelor 10 probleme cu care umanitatea se va confrunta până în 2055, laureatul premiului Nobel Richard Smalley pune energia pe primul loc și arată importanța energiei privind diminuarea celorlalte probleme: apa, hrana, mediul, sărăcia, terorismul, războaiele și democrația (Smalley, 2005).

La nivel regional și național au fost generate acțiuni și reglementări de limitare a efectelor negative ale dezvoltării asupra comunităților. Drept exemplificare la nivel european există Directiva 2020 (Directiva RED II), privind creșterea eficienței energetice, reducerea cantității de GHG (gaze cu efect de seră) și creșterea implementării energiilor regenerabile. O altă reglementare este Directiva privind Eficiența Energetică a clădirilor (2018/ 844, UE) care impune standarde și obiective de creștere a eficienței energetice a clădirilor. Prin Pactul Ecologic European (Green Deal, 2019) se propune neutralitate climatică până în 2050 și tranziția către o economie verde.

Tiparul energetic actual bazat pe combustibili fosili, a generat efecte negative asupra omenirii: creșterea continuă a gazelor cu efect de seră, încălzirea globală, schimbările climatice, degradarea mediului și reducerea accentuată a rezervelor de materii prime pentru producerea de energie și dezvoltarea de produse.

Statistica la nivel global arată că astazi mai mult de 80% din energie provine din combustibili fosili (82%), printre care procentul cel mai mare se datorează petrolului (30.5%), urmat de cărbuni (26.9%) și gaze naturale (24.5%). Energia provenită din surse regenerabile este în procent de 18%, din care mai mult de jumătate provine din energie hidro (6.8%), apoi din energie solară și eoliana (4.6%).

Alături de sectoarele economice principale (industrie, transport, agricultură), mediul construit este responsabil pentru apoximativ 30% din consumul global de energie și 26% din emisiile de GES (Gaze cu efect de seră) la nivel european. Energia este folosită în mediul construit în principal pentru apă caldă menajeră, încălzirea și răcirea spațiilor.

Printre sursele de producere a energiei în mediul construit, energia solară are o dinamică accentuată prin conversia solar-termică și solar-electrică și poate inlocui combustibilii fosili.

Utilizând un colector solar termic se poate asigura în Europa Centrală și de Est energia termică utilă în mediul construit (la 40...60 °C) pentru aplicațile rezidențiale principale: prepararea apei calde menajere (ACM), pregătirea agentului termic pentru încălzire și respectiv pentru răcirea spațiilor. Cantitatea de energie termică produsă de un colector solar termic asigură aproape în totalitate pe întreaga perioadă a anului necesarul de apă caldă menajeră, cu excepția unor perioade scurte de 1-2 luni la începutul și la sfârșitul anului, când necesarul de ACM este acoperit parțial. În ceea ce privește încălzirea spațiilor, acoperirea integrală a necesarului de energie termică se poate realiza pentru maxim 2 luni (în aprilie și în octombrie), o mică parte din necesar se asigură pentru aproximativ 2 luni (în martie și noiembrie), iar în restul lunilor reci (ianuarie, februarie și decembrie) contribuția la încălzire este practic zero. Ca urmare, conversia solar-termică nu poate fi sursa de bază pentru încălzirea spațiilor. În ceea ce privește necesarul de energie termică pentru răcire (pe perioada mai-septembrie), energia termică produsă de colector asigură aproape în întregime necesarul termic. O analiză asemănătoare se poate face și pentru alte zone, locația, dimensiunile și condițiile de implementare a sistemelor solar termice determinând gradul de acoperire a celor trei funcționalități din mediul construit.



Sistemele solar termice se amplaseaza fie pe clădirile din mediul construit (acoperiș, fațade), fie în apropierea clădirilor (pe structuri special amenajate), fie pe clădirile sau în apropierea centralelor termice destinate asigurării energiei termice pentru zone întregi de locuințe individuale sau colective, sau chiar sub formă de parcuri solar-termice cu stocarea energiei în boilere de mari dimensiuni.

Creșterea cantității de energie termică prin conversia solar termică presupune creșterea suprafețelor de amplasare a colectoarelor solar termice la nivelul clădirilor, concomitent cu creșterea acceptanței arhitecturale în mediul construit eficient energetic. Acesta presupune promovarea a noi tipuri de colectoare solar termice de forme neconvenționale și culori adecvate.

Teza de față promovează, în acest sens, colectoare solar termice de forme triunghi echilateral și trapez isoscel, prin combinarea cărora se pot defini diverse structuri de colectoare de dimensiuni și culori diferite, care asigură atât creșterea gradului de acoperire a suprafețelor disponibile la nivelul clădirilor, cât și estetica dispunerii acestora.

1. Stadiul actual în producerea de energie termică în mediul construit

În contextul creșterii rapide a populației globale și a urbanizării acceleratate, mediul construit joacă un rol important în configurarea viitorului sustenabil. Pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice și epuizarea resurselor naturale, abordarea durabilă în proiectarea, construcția și gestionarea clădirilor și a infrastructurii urbane este absolut necesară pentru a oferi un viitor sustenabil generațiilor următoare.

În funcție de tipul, destinația și activitățile desfășurate în incinta clădirii, se disting patru tipuri principale ale mediului construit:

- *mediul construit rezidențial* destinat locuirii, din care fac parte case individuale, apartamente, blocuri, care la rândul lor formează asociații de clădiri numite districte sau cvartale;

- *mediul construit comercial* care se referă la utilități disponibile cetățenilor precum magazine, centre de agrement, hoteluri;

- *mediul construit administrativ* care este compus din instituțiile statului destinate utilităților, educației sau gestionării administrative ale comunității ;

- *mediul construit industrial,* din care fac parte unitățile de producție sau depozitare.

Ținând cont de faptul că sectorul rezidențial ocupă 75% din totalul clădirilor din Uniunea Europeană, problema majoritară o constituie asigurarea energiei termice în mediul construit rezidențial. Din categoria clădirilor nerezidențiale fac parte: centre comerciale (28%), birouri (23%), instituții educaționale (17%), hoteluri sau restaurante (11%), spitale (7%), săli de sport (4%) sau alte clădiri cu diferite destinații publice. (Bointner et.al. 2014)

Prin utilizarea diferitelor tehnologii atât pasiv cât și activ, energia solară se poate folosi pentru proiectarea unei clădiri în mod eficient din punct de vedere energetic. În mod pasiv, proiectarea clădirii se face maximizând utilizarea radiației solare, de exemplu: orientarea către sud pentru a beneficia de lumină pe tot parcursul zilei și având ferestre integrate pentru o iluminare naturală; iar în mod activ, în mediul construit se pot folosi



tehnologii pentru captarea radiației solare și transformarea ei în energie electrică sau termică. (Tabelul 1.1)

În contextul eforturilor de a reduce dependența de combustibilii fosili și de a aborda schimbările climatice, o componentă centrală a acestui demers este tranziția către surse de energii regenerabile, iar energia solară este cea mai accesibilă în acest scop, fiind o soluție eficientă și ecologică.

Moduri de dezvoltare a mediului construit durabil	Posibilități de implementare	Materiale ce pot fi utilizate
	Orientarea clădirii	fațadă sudică
PASIV	Izolare termică	vată bazaltică, vată minerală, polistiren extrudat ferestre tip termopan obloane pentru umbrire
	Ventilatie naturală	fante, guri de aerisire
	, Iluminare naturală	ferestre, lucarne
	Sisteme pentru energia solară fotovoltaică	panourilor solare fotovoltaice
	Sisteme pentru energia solară termică	colectoare solar termice
	Sisteme avansate de izolare	senzori pentru monitorizarea temperaturii, umiditătii
ΑCTIV	și încălzire/răcire eficientă	controlere pt gestionarea iluminatului sau a sistemelor de climatizare
		materiale izolante termice: izolație din vată de sticlă
	Utilizarea materialelor prietenoase cu mediul	beton cu amprentă de carbon redus (cimentul geopolimeric)
		materialele reciclate (sticlă, plastic)
		lemn sustenabil: bambus

În funcție de mijloacele pasive sau active utilizate în construcția unei clădiri se disting patru tipuri principale de clădiri în funcție de nivelul de energie consumată:

a. <u>Clădiri tradiționale cu consum energetic ridicat</u> – sunt clădirile neizolate care utilizează surse neregenerabile pentru consumul de energie (≤250 kWh/m²/an);

b. <u>Clădiri cu un consum redus de energie LEB (Low Energy Building)</u> – reprezintă aproximativ 50-60 % din totalul clădirilor, au consum semnificativ redus față de clădirile tradiționale și eficiență termică ridicată și pot utiliza sisteme de energii regenerabile (SER). Acestea pot fi de trei tipuri:

i. *nZEB (Nearly zero energy building)* – sunt clădiri cu consum energetic redus provenit din surse convenționale;



ii. ZEB (zero energy building) – clădiri fără consum energetic din surse convenționale;

iii. *PEB (Plus Energy building)* – acestea sunt clădiri active care produc mai multă energie decât consumă, provenind din surse regenerabile.

c. <u>Clădiri pasive (Passive houses</u>) – sunt clădiri eficiente energetic, poiectate pentru a reduce necesarul de energie prin mijloace pasive precum: utilizarea termoizolației, orientarea către sud pentru a utiliza cât mai multă lumină naturală. Acestea consumă cu până la 90% mai puțină energie termică decât clădirile convenționale, au emisii reduse și pot utiliza activ sau pasiv energiile regenerabile.

d. <u>*Clădirile verzi (Greed building)*</u> – sunt clădiri ecologice construite din materii prime ecologice (ex. lemn, chirpici) care au deșeuri și emisii foarte mici. (Vișa et.al., 2020)

În România, majoritatea clădirilor au consum ridicat de energie termică, acestea fiind case tradiționale.

Asigurarea energiei termice în mediul construit se poate realiza atât din combustibili fosili cât și din surse naturale (Fig.1.1):

- a. Surse tradiționale: gaze naturale, petrol, cărbuni;
- b. Surse regenerabile: solar, geotermică, biomasă, eolian, hidro, nucleară, etc.







Beneficiile utilizării surselor nepoluante sunt semnificative: reducerea amprentei de carbon, conservarea resurselor limitate, minimizarea emisiilor și a poluării mediului înconjurător. Promovarea eficienței energetice sau creșterea rezilienței și durabilității comunităților sunt doar câteva dintre aspectele pozitive pe care le au utilizarea acestor soluții sustenabile.

Sistemele pe bază de energii regenerabile sunt tot mai des utilizate în comunitate datorită beneficiilor acestora în detrimentul combustibililor fosili. Acestea sunt utilizate cu precădere pentru producerea de energie termică sunt sistemele solar termice care convertesc energia solară cu ajutorul elementului principal: colectoarele solar termice



Se disting diferite **tipuri de sisteme solar termice în funcție de agentul termic** folosit, în funcție de locația geografică și clima zonei în care este implementat:

• Sisteme cu circulație naturală/termosifonare – au puține componente și costurile sunt reduse. Nu pot funcționa la temperaturi negative, iar stocatorul trebuie poziționat în partea superioară a colectorului, având nevoie de o structură de poziție și lăsând un aspect neplăcut (Fig.1.2.a).

Sisteme cu circulatie forțată – cu circuit deschis/închis – elemente componente: boilerul, sursa auxiliară, grup de pompare (P), vas de expansiune (VE), controler, debitmetru (D) și senzori de temperatură (T). Pot funcționa la temperaturi negative și pot fi integrate în anvelopa clădirii (Fig.1.2.b).



Fig.1.2. Reprezentarea schematică a unui sistem solar termic: a. Cu circulație naturală; b. Cu circulație forțată și sursă auxiliară.

Colectoarele solar termice (CST) reprezintă componenta principală a unui sistem solar-termic, având rolul de a transforma radiația solară în energie termică.

Principiul de funcționare se bazează pe transferul termic de la placa absorbantă (1) la agentul termic. Căldură este apoi transportată prin conductele sistemului solar termic (3) către un stocator unde este înmagazinată pentru a putea fi folosită pentru încălzirea spațiului sau pentru prepararea apei calde menajere (Fig. 1.3).

Colectoarele pot fi clasificate în funcție de temperatura de lucru în:

• colectoare solar termice care folosesc temperaturi mici utilizate pentru încălzirea apei (ex. pt piscină);

• colectoare solar termice care folosesc temperaturi medii (pentru încălzirea spațiilor sau prepararea apei calde menajere);

• colectoare solar termice care folosesc temperaturi ridicate (concentratoarele solare folosite pentru producerea energiei electrice) (Bhatia, 2014).

Principalele componente ale unui colector soalar termic sunt prezentate în figura 1.3:

- 1. Suprafața vitrată;
- 2. Placa absorbantă;
- 3. Serpentina din cupru;
- 4. Termoizolație de bază și laterală;
- 5. Carcasa metalică.





Fig.1.3. Elemente componente ale unui colector solar termic plan plat: 1-suprafață vitrată; 2absorber; 3-serpentină; 4-termoizolație; 5-carcasă metalică.

CST pot fi amplasate oriunde suportul metalic permite fixarea acestuia: pe acoperisl pe fațade, lângă clădiri, ca elemente de umbrire pe terase sau integrate în balcon ori în ferestre. De asemenea există CST de forme diferite, dar cu eficiență mică pentru încălzirea apei utilizate pentru piscine: de formă sferică, semisferică, conică, tubulare. Sau CSt dezvoltate pentru intregarea lor în acoperișul clădirii, de tip țiglă solară, sau panouri de tip sendvici integrate în fațadele clădirilor.

Colectoarele propuse pentru implementarea pe fațadele clădirilor, dezvoltate în Centrul de cercetare RESREC al Universității Transilvania din Brașov pot fi dispuse nu doar ca entități individuale, ci ca module interconectabile. Pornind de la formele geometrice de bază, conceptele au fost dezvoltate plecând de la triunghiul echilateral (Fig.1.4.a); colectorul triunghiular dezvoltat este compus din: suprafață vitrată (1), placa absorbantă (2) cu o cavitate care înlocuiește serpentina și carcasa metalică împreună cu termoizolația (3) (Fig. 1.4.b). Din trei astfel de triunghiuri alăturate se poate forma un trapez isoscel (Fig.1.5.a). Cele două forme triunghi și trapez stau la baza dezvoltării unui nou capitol în ceea ce privește evoluția colectoarelor solar termice plan plate.



Fig. 1.4. CST trunghiulare: a. Conceptul propus (Vișa et.al., 2014);b. Modelul 3D al CST triunghiular (Moldovan et.al., 2020); c. Varianta fizică a 3 CST triunghiulare din Centrul de cercetare RESREC





Fig. 1.5. Colectoare trapez de culori diferite: a. Conceptul propus (Vișa et.al., 2014); b. Modelul 3D al colectorului trapez (Vișa, Proiectul EST IN URBA,2012); c. Varianta fizică a 9 colectoare trapez montate în Centrul de cercetare RESREC din Brașov

CST noi de tip triunghi echilateral și trapez isoscel deschid un nou capitol în implementarea sistemelor de energii regenerabile în mediul construit. Tipul de asamblare lego le permite amplasarea și în locurile greu accesibile pentru un CST clasic (Fig. 1.6).

Astfel, prin utilizarea colectoarelor solar termice pentru asigurarea necesarului crescut de energie termică, mediul construit se confruntă cu noi provocări în domeniul integrării colectoarelor solar termice privind necesitatea creșterii gradului de acoperire a suprafețelor disponibile și a gradului de acceptanță arhitecturală. Bazat pe această provocare au fost analizate modalități de dezvoltare a noi tipuri și combinații de colectoare solar termice și de integrare a acestora în mediul construit.

În acest context, se propun forme noi de colectoare de tip trapez și triunghi ce pot fi combinate sub forma unor subansamble care pot genera diferite modele de design inspirate din natură, modele de arta sau din arhitectura caselor bătrânești. Prin combinarea colectoarelor de aceeași formă sau de forme diferite se pot genera simboluri, logo-uri sau desene 3D. Lărgirea paletei de culori pentru placa absorbantă contribuie la îmbunatățirea și armonizarea aspectului vizual. Conexiunea cu restul elementelor de construcție ale cladirii se face prin imaginea coloristică.





Fig. 1.6. Compararea fațadelor solare formate din colectoare comerciale vs. colectoare trapez (Vișa et.al., 2017)

Scopul cercetării este conceperea și dezvoltarea de colectoare solar termice de forme neconvenționale implementabile în mediul construit pentru a crește fracția solară și acceptanța arhitecturală.

2. Obiectivele tezei

Obiectivul general al cercetarii

Creșterea cantității de energie termică și acceptanței arhitecturale prin dezvoltarea și utilizarea de colectoare solar termice de forme neconvenționale și culori diferite.

Obiectivele operationale ale cercetarii sunt:

O1. Analiza stadiului actual în producerea energiei termice în mediul construit prin conversia solar termică.

O2. Conceperea configurațiilor de colectoare solar termice formate din colectoare neconvenționale de tip triunghi echilateral și trapez isoscel cu serpentină și aplicații posibile.

O3. Studiul eficienței termice a colectoarelor solar termice de tip triunghiular cu serpentină și identificarea colectorului solar termic optim.

O4. Conceperea, dezvoltarea, execuția și testarea indoor/outdoor a colectorului solar termic triunghiular cu serpentină optim pentru validarea conceptului.

O5. Concluzii ale cercetării și contribuții aduse.



2. Conceptul ansamblelor de colectoare solar termice formate din colectoare neconvenționale

În general, colectoarele solar termice sunt implementate pe acoperișul clădirilor sau în spațiul din jurul casei, având rolul de a produce energie termică pentru apă caldă menajeră sau pentru încălzirea spațiului. Totuși, acceptarea sistemelor solare integrate în anvelopa clădirii are multe limitări în ceea ce privește caracteristica estetică (Schüler, 2003). Problemele majore ale integrării colectoarelor solar termice obișnuite în mediul clădirii sunt dimensiunea, forma și culoarea obișnuită a plăcii absorbante (nuanțe de albastru, negru). Dezvoltarea noilor colectoare solar termice oferă posibilitatea de a le implementa si în alte locuri, și respectiv crearea fațadelor solar termice.

În Centrul de cercetare RESREC al Universității Transilvania din Brașov s-au dezvoltat concepte noi de colectoare solar termice plan plate de forme diverse (triunghi echilateral și trapez isoscel), având culori diferite ale plăcii absorbante (roșu, verde, galben, violet, negru). Au fost analizate în special trei tipuri de structuri ce conțin: Fe₂O₃, V₂O₅ și CuS care au ajutat la obținerea plăcilor absorbante în colorile roșu, galben și verde închis (Vișa et.al., 2017).

Principalele caracteristici care influențează estetica urbană sunt :

- Dimensiunea și poziția colectoarelor solar termice;
- Forma și dimensiunea colectoarelor solar termice;
- Tipul de îmbinare;
- Materialele utilizate și textura lor;
- Culoarea plăcii absorbante.

2.1 Configurații obținute prin combinarea CST de forme neconvenționale

Proiectarea de subansamble formate din colectoare solar termice plan plate de formă triunghiulară și trapezoidală ar trebui să respecte câteva reguli pentru a obține acceptanța arhitecturală. Pentru a crește calitatea integrării colectoarelor solar termice în mediul construit, întregul design poate fi creat astfel încât să fie reprezentativ pentru diferite tipuri de utilizatori. În această perspectivă, vor fi luate în considerare câteva caracteristici importante:

• Diferite geometrii/subansamble, având ca bază formele următoare: triunghi echilateral și trapez isoscel, cu toate laturile, exceptând baza mare, egale cu latura triunghiului.

- Extinderea spectrului coloristic pentru a realiza efectul 3D al întregului design.
- Aplicații diverse pentru:
 - Faţade tradiţionale;
 - Fațade moderne;
 - o Design flexibil (realizarea de logo-urilor sau diverse imagini artistice).

Pentru a identifica modul de combinare a CST este necesară codificarea lor și a legăturilor dintre ele în aplicațiile ulterioare; astfel se va face referire pentru triunghi cu litere mici, iar pentru trapez cu majuscule cu excepția bazei mici, conform Fig.2.2:



- Triunghiul: **t**;
- Trapezul: **T**;
- Latura triunghiului: **e** (edge);
- Baza mică a trapezului: **b**;
- Baza mare a trapezului: **B**;
- Latura neparalela a trapezului: L.

Pe baza lor au fost realizate subansamble noi utilizând câte două elemente:

- 2 triunghiuri: **2t**;
- 2 trapeze: **2T**;
- 1 triunghi și 1 trapez: **1 tT**.

Respectiv subansamble a câte trei elemente componente:

- 3 triunghiuri: **3t**;
- 3 trapeze: **3T**;
- 2 triunghiuri și 1 trapez: **2tT**;
- 1 triunghi și 2 trapeze: **t2T**.



Fig.2.1. Codificarea colectoarelor solar termice de formă triunghiulară și trapezoidală

Pornind de la cele două forme de bază, pot fi reprezentate forme derivate obținute prin asamblarea a 2 sau 3 forme de bază după diferite criterii.

a) Subansamble formate din 2 unități care au laturi comune

În cazul subansamblului format din două triunghiuri cu o latură comună, este posibilă o singură configurație, prezentată în Fig.2.2:



Fig. 2.3 Subansamblul format din două triunghiuri cu o latură comună, "tt"

În cazul subansamblului format din două trapeze se concepe matricea din Fig. 2.3., din care rezultă 9 variante posibile, dintre care 3 sunt dublate, evidențiate cu albastru. Astfel din două trapeze se pot forma 6 subansamble distincte.

		Lat	urile T2	2
11		b	В	L
ile	b	bb	bB	bL
T1 T1	В	Bb	BB	BL
Га	L	Lb	LB	LL

Fig.2.3. Matricea de formare a subansamblelor formate din două trapeze



Bazat pe cele 6 posibile concepte, în Fig. 2.4 sunt realizate cele <u>12 configurații</u> de design posibile, dintre care sunt gasite perechi similare: bB și Bb, bL și Lb, BL și LB, astfel că variantele unice rămase în matrice sunt în numar de <u>6</u>. Datorită faptului ca trapezul are 2 laturi neparalele, este posibila atașarea lor la cel de-al doilea trapez în diferite moduri, fapt pentru care în combinațiile care conțin una din laturile neparalele, se vor observa mai multe variante de design.



Fig.2.4. Subansamble formate din două trapeze cu o latură comună, TT

După același algoritm pot fi generate variante folosind un triunghi și un trapez (**1t** +**1 T**) în figura 2.5. Modul de construcție păstrează trapezul ca figură de bază, la care se adaugă pe rând triunghiul pe laturile trapezului.



Fig. 2.5. Subansamble de tip 1t + 1 T



b) Subansamble formate din 2 unități care au vârf comun

Se pot realiza subansambluri din două unități având un vârf comun, dar necesită o suprafață mare de susținere, iar intrările și ieșirile fluidului din colectoarele solar termice se pot realiza cu dificultate, rezultând pierderi mai mari de căldură datorate îmbinărilor conductelor în exteriorul modulelor. De asemenea, luând în considerare ipoteza producerii în masă a unor asemenea subansamble, spațiul de depozitare necesar, structura metalică necesară pentru susținerea subansamblelor precum și împachetarea și transportul acestora ar fi dificil de realizat, necesitând spațiu mai mare care ramane neutilizat. Drept pentru care este mai avantajos ca unitățile să ramănă piese individuale, ce pot fi la rândul lor așezate după cerințele utilizatorului.

Pentru subansamblele formate din două unități cu vârf comun, se introduce un indice nou pentru codificarea variantelor rezultate:

• Vârful comun, notat "v" pentru triunghi și "V" pentru trapez, urmate de valoarea unghiului dintre ele.

Ca exemplu exista două posibilități pentru realizarea unui subansamblu format din două triunghiuri cu vârf comun în Fig. 2.6, și respectiv 6 variante principale a câte 3 variante secundare în cazul subansamlelor din două trapeze, în Fig. 2.7.



Fig. 2.6. Subansamble de două triunghiuri cu un vârf comun

Pentru a simplifica modalitatea de îmbinare a celor două trapeze cu o a treia formă, unghiul format între cele două trebuie sa fie divizibil cu 6 (făcând astfel posibilă îmbinarea cu un alt triunghi sau un alt trapez : 0°, 60°, 120°, 180°, 240°, 300 și 360°

Astfel, trapezul de referință este păstrat în aceeași poziție pentru fiecare variantă în parte. Se obțin 6 variante din rotirea cu 60° în sensul acelor de ceasornic precum în figura 2.7: nr. 1 este trapezul de referință, pe el sunt notate cele două vârfuri în care se poate conecta cel de-al doilea trapez: fie la vârful de 60 ° dintre baza mare și o latură neparalelă, notat **VB**, fie la cel de 120° dintre baza mică și latura neparalelă , notat **Vb** pentru simplificare; astfel trapezul de referință nr. 1, poate fi poziționat la 60° în variantele de la nr. 2 până la nr. 6.

Pentru a obține variante de două trapeze cu un vârf comun se impun câteva reguli pentru determinarea unui număr de 6 variante principale:

- Trapezul de referință T1 își menține poziția (la 0°, 60°,120°, 180°, 240°, 300°).
- Trapezul T2 se menține la poziția 1, adică la 0°.

• Se formează variante a câte 2 trapeze anexând la trapezul T2, care rămâne în poziția de 0°, trapezul de referință T1 localizându-l la fiecare din vârfurile lui T2 începând cu



vârfurile din stânga/dreapta bazei mici, apoi vârfurile din stanga/dreapta bazei mari. Deoarece trapezul T2 se menține la 0°, variantele obținute sunt mai ușor de vizualizat și de realizat.

• Codificarea variantelor se face după modelul

Vârful trapezului T1 cu indexul poziției trapezului T1+ "—" +unghiul dintre T1 și T2+ "—" + vârful trapezului T2 cu indexul poziției lui;

• Se identifică variantele în care trapezul anexat T2 să fie în contact cu fiecare din cele 4 vârfuri ale trapezului de referință T1.

Din figura 2.7 se identifică trapezul de referință T1 reprezentat cu hașură.

Π 1	Versiunea principală	Versiuni secundare			
0° 1	1 60° VB ₂ VB ₁		1		
VB ₀	VB ₀ -60-VB ₀	VВ 0 -60-VВ 0	VB ₀ -60-Vb ₀	VB ₀ -60-Vb ₀	
60° 2	2 VB ₁ 120° Vb ₂	2	2	2	
VB ₆₀	VB_{60} -120- Vb_0	VB ₆₀ -60-Vb ₀	Vb ₆₀ -60-VB ₀	VB ₆₀ -120-VB ₀	
120°	3 Vb ₁ 60° Vb ₂	3	3	3	
1/5					
VB ₁₂₀	Vb ₁₂₀ -60-Vb ₀	VB ₁₂₀ -120-Vb ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	
VB ₁₂₀	Vb ₁₂₀ -60-Vb ₀	VB ₁₂₀ -120-Vb ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	
VB ₁₂₀ 180° 4 VB ₁₈₀	Vb ₁₂₀ -60-Vb ₀ 4 Vb ₁ Vb ₂ Vb ₂ Vb ₁₈₀ -60-Vb ₀	VB ₁₂₀ -120-Vb ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	
VB ₁₂₀ 180° 4 VB ₁₈₀ 240° 5	Vb ₁₂₀ -60-Vb ₀ Vb ₁ Vb ₂ Vb ₂ Vb ₂ Vb ₂ Vb ₂ Vb ₂ Vb ₂	VB ₁₂₀ -120-Vb ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀	
VB ₁₂₀ 180° 4 VB ₁₈₀ 240° 5 VB ₂₄₀	Vb ₁₂₀ -60-Vb ₀ Vb ₁ Vb ₁ Vb ₂ Vb ₂	VB ₁₂₀ -120-Vb ₀ 4 Vb ₁₈₀ -60-Vb ₀ 5 Vb ₂₄₀ -60-Vb ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀ 4 VB ₁₈₀ -120-VB ₀ 5 VB ₂₄₀ -60-VB ₀	VB ₁₂₀ -60-VB ₀ 4 VB ₁₈₀ -120-VB ₀ 5 Vb ₂₄₀ -120-VB ₀	
VB ₁₂₀ 180° 4 VB ₁₈₀ 240° 5 VB ₂₄₀ 300° 6	$Vb_{120}-60-Vb_{0}$ Vb_{1} Vb_{2} $Vb_{180}-60-Vb_{0}$ VB_{1} Vb_{2} $VB_{240}-120-Vb_{0}$ $VB_{240}-120-Vb_{0}$	VB ₁₂₀ -120-Vb ₀ 4 Vb ₁₈₀ -60-Vb ₀ 5 Vb ₂₄₀ -60-Vb ₀ 6 6	VB ₁₂₀ -60-VB ₀ 4 VB ₁₈₀ -120-VB ₀ 5 VB ₂₄₀ -60-VB ₀ 6	VB ₁₂₀ -60-VB ₀ 4 VB ₁₈₀ -120-VB ₀ 5 Vb ₂₄₀ -120-VB ₀ 6	

Fig.2.7. Subansamble formate din două trapeze cu un vârf comun



c) Subansamble formate din 3 unități care au laturi comune

Pornind de la conceptele distincte de câte 2 forme geometrice, a fost adăugată a treia formă, pentru generarea variantelor noi, luând în considerare doar variantele cu o latură comună exemplificate anterior.

Pentru subansamblul **2***t*, există o singură posibilitate de a anexa al treilea triunghi la configurația deja existentă, disponibilă în figura 2.8.



Fig. 2.8 Subansamblul format din trei triunghiuri, 3t

Subansamblele formate din 3 trapeze se formeaza atașând un trapez la fiecare din variantele rezultate prin combinarea a două trapeze, considerată ca formă de referință.

Codificarea ansamblului se face după modelul:

Codul figurii de bază (rădăcina) + "-" + latura din figura de bază+ latura anexată a celui de-al treilea trapez.

Ex: **bb-Bb** corespunde cu: baza mică + baza mică (rădăcina **bb**) – baza mare al radicalului la care se atașează baza mică a celui de-al treilea trapez (**Bb**).

Astfem rezultă 48 de variante:6-bb, 9-bB ,9-bL , 6-BB , 9-BL și 9-LL.

De exemplu pentru baza "bb"cele 6 variante posibile sunt prezentate în Fig. 2.9.

bb	b		В			L
В						
	bb-Bb	Varianta	bb-BB		bb-BL	Varianta
L						
	bb-Lb	Varianta	bb-LB	Varianta	bb-LL	Varianta

Fig.2.9. Posibile subansamble formate din 3 trapeze, pornind de la baza "bb"

Se pot forma și subansamble din 3 unități disticte: două triunghiuri și un trapez sau două trapeze și un triunghi. Pentru varianta de **"2t"+ T** se pot genera 3 modele în funcție de



poziția ansamblului "**2t**" pe fiecare dintre laturile trapezului. Pentru varianta de "**2T"+ t** se pot genera 19 modele (2-bb , 3-bB ,3-bL , 2-BB , 3-BL , 3-LL) pornind de la variantele de "**2T"** prezentate anterior și anexând triunghiul la fiecare din laturile trapezului.

Interconectarea hidraulică a subansamblelor de poate face astfel: pentru triunghi intrarea/ieșirea agentului termic se poate face prin vârf și mijlocul laturii opuse, iar pentru trapez prin baza mică, respectiv prin baza mare.

2.2 Creșterea acceptanței arhitecturale prin folosirea de culori diferite și a conceptului pseudo 3D

Acceptanța arhitecturală poate fi obținută prin integrarea diferitelor culori în mediul construit. Se pot crea astfel fațade solar termice din colectoare de culori diferite care sa fie folosite ca elemente de decor, nu doar pentru capacitatea lor de a produce energie termică. Daca paleta de culoare pentru placa absorbantă a CST este dezvoltată se pot realiza elemente de design care să surprindă prin folosirea culorilor în contraste, ce pot reda în aparență efectul 3D. De exemplu, în Fig. 2.10 sunt grupuri de CST care utilizează culori în contrast pentru a forma imaginile unor cutii/cuburi: efectul de umbră se obține adăugând o culoare mai închisă lângă una mai deschisa, de ex: galben/orange vs. maro/verde/ negru.







Pe baza conceptului prezentat în secțiunea anterioară pot fi generate diferite aplicații precum:

- fațade solar termice cu elemente de design tradiționale (Fig. 2.11);
- fațade solar termice pseudo 3D (Fig. 2.12);
- imagini stilizate pentru fațadele solar termice (Fig. 2.13).



Fig. 2.12. Colectoare solare termice pseudo 3D instalate pe fațade și pe acoperișul clădirii (a,e,i) și reprezentarea ansamblelor și subansamblelor din două colectoare folosite (b-d;f-h, j)

Sunt posibile diverse modele, iar gradul de acoperire poate fi crescut instalând mai multe colectoare neconvenționale ca în Fig. 2. 12, atât pe fațadă cât și pe acoperiș. Fig.2. 12.a cuprinde un ansamblu de colectoare dispuse sub forma unor coloane; acestea sunt



formate din subansamble de 2 colectoare trapez și triunghi astfel: **"bb"**- marcat cu verde și **"ee"** - marcat cu roz în Fig.2. 12.b. Mai multe subansamble de acest tip dispuse în serie formează o imagine similară unui evantai sau un gard (Fig.2. 12.c), respectiv, dispuse pe verticală dau impresia unei coloane (Fig.2. 12.d). Culorile în contrast oferă impresia de lumină și umbră asupra imaginilor formate.



Fig. 2.13. Imagini stilizate pentru fațade solare termice: a) Bufniță; b) Ursul koala; c) Sigla Facultății de Design de Produs și Mediu, Universitatea Transilvania din Brașov



În Fig.2. 12.e. este reprezentat un alt design dispus pe fațadă și pe acoperiș. Pe fațada clădirii, colectoarele trapez și triunghi au fost dispuse sub formă de floare (Fig.2. 12.f) realizată din subansamblele **"BB"** (conturate cu albastru) și 3x **"2t"** (conturate cu verde); și alte două grupuri de colectoare (Fig.2. 12.f) formate din 5 subansamble de tip **"eb"**, marcate cu roșu, acestea pot fi asemănate cu firele de iarbă. Pe acoperișul clădirii sunt dispuse 2 șiruri formate din ansamblul reprezentat în Fig.2. 12.h. care este alcătuit din 2x **"eb"** conturat cu roșu, respectiv 2x **"eL"** conturat cu verde; iar în centrul celor două șiruri sunt 2 subansamble tip, **"eb"** dispuse în oglindă, pe verticală pentru a imita o clepsidră.

În Fig.2. 12.i. este folosit același ansamblu din 2. 12.b, la care se conectează încă un subansamblu de tip **"ee"** marcat cu roz (Fig.2. 12.j). Astfel modelul reprezentat pe acoperiș este dispus sub forma unor ferestre de mansardă, în timp ce coloanele de pe fațadă dau senzația de coloane din cărămidă datorită culorii vișinii alese.

Colectoarele solar termice triunghi și trapez și subansamblele formate din acestea pot fi folosite pentru reprezentarea stilizată a imaginilor variate și complexe. Ca exemplu, în Fig. 2. 13.a., b. este reprezentată o bufniță, pentru care au fost utilizate următoarele unități/subansamble (Fig.2. 13.c): 3x **"1t"** (roz), 2x **2-"BB"** (albastru), **3-"eL"** (galben), **4-"eb"**(verde), 2x **5-"bB"** (roșu), **6-"BL"** (orange), **7-"eB"** (mov) și **8-"3t"**. Un cap de urs koala este stilizat în Fig.2. 13.d., e. la care s-au folosit: 5x **"1t"** (roz), 2x **2-"BB"**(albastru), 3x **3-"eL"**(galben) și un **4-"eb"**(verde) (Fig.2. 13.f). Logo-ul Facultății de Design de Produs și Mediu, de la Universitatea Transilvania din Brașov este reprezentat în Fig. 2.37.g.,h. din: 4x **1-"LL"** (galben) și 1x **2-"BB"** (albastru) (Fig.2. 13.i).



3. Studiul comportamentului termic al colectorului solar plan plat trunghiular cu serpentină

3.1 Descrierea colectorului

Colectoarele solar termice de forma triunghiulară existente (Vișa et.al., 2017) au în interior o cavitate pentru circulațiaa agentului termic, iar la cele de formă trapez circulația fluidului se realizează prin serpentină. Pentru a facilita îmbinarea celor două forme, este necesară adaptarea unuia dintre colectoare la designul celuilalt. Se propune spre dezvoltare un colector solar termic plan plat triunghiular cu serpentină, ale carui dimensiuni să corespundă dimensiunilor trapezului existent.

Latura colectorului solar termic triunghiular	L _{CST}	750 mm
Grosimea colectorului solar termic	G _{CST}	82 mm
triunghiular		
Grosimea stratului de aer	Ga	10.4 mm
Latura de apertură	La	650 mm
Grosimea termo-izolației posterioare	Gp	50 mm
Grosimea termo-izolației laterale	G_L	20 mm
Grosimea sticlei	Gs	4 mm
Grosimea plăcii absorbante	G _{pa}	0.4 mm

Tabelul 3.1. Configurația de bază a conceptului de colector triunghiular

Parametrii constructivi ai colectorului sunt reprezentați pe colectorul solar termic triunghiular din figura 3.1.a, iar în figura 3.1.b sunt reprezentate elementele componente în vedere izometrică. Fiecare element constructiv este luat în considerare în modelul studiat, pentru dimensionarea acestuia în vederea obținerii unui colector solar termic plan plat triunghiular optim. Pentru a facilita îmbinarea CST cu o a doua unitate de aceeași formă sau de formă trapez, se propune varianta de serpentină cu ieșirea pe lateralul colectorului solar termic.

Conceptul de CST triunghiular cu serpentină cuprinde: o carcasa metalică formata din două rame: frontală (1) cu spațiul aferent dedicat sticlei solare(3), și respectiv rama posterioară (9) care va susține restul elementelor componente; pentru a minimiza pierderile termice este nevoie de termoizolație atat pe lateral (7) cât și la nivelul posterior al colectorului (8); elementul principal, serpentina CST (6), va imita forma triunghiulară a ramei și va fi lipită de placa absorbant (5) pentru un transfer termic mai bun; este nevoie de distanțiere (2,4) pentru a susține absorberul și pentru a menține constantă distanța dintre sticlă și absorber.

Pornind de la varianta de bază descrisă anterior, prin modelare analitică și simulare numerică a comportamentului termic al colectorului, în condițiile păstrării dimensiunilor de gabarit care să asigure asamblarea cu un colector trapez existent, se dezvoltă varianta optimă de colector care va fi ulterior testat experimental.





Fig. 3.1.a Parametrii constructivi ai colectorului solar termic plan plat triunghiular



Fig.3.1.b. Varianta conceptuală cu fiecare element în vederea izometrică



3.2 Pierderile de căldură prin transfer termic

În colectorul solar termic au loc pierderi prin transfer termic prin conducție, convecție și radiație, la nivel frontal, posterior și lateral (Fig.3.2). Energia termică necesară se obține ca rezultat al transferului termic dintre absorber și conducte. Pe baza acestora se calculează eficiența termică a colectorului solar termic triunghiular, cu absorber negru și roșu, adaptând modelul propus de Duffie și Backman (Duffie & Backman, 2006) la CST triunghiular studiat.

Pierderile de căldură totale (U_t) reprezintă suma tuturor pierderilor prin transfer termic la nivelul frontal (U_f) , posterior (U_p) și lateral (U_L) al colectorului solar termic planplat triunghiular estimate în condițiile mediului ambiant și are relația următoare:

$$U_t = U_f + U_p + U_L$$
 [W/m²°C] (3.1)

în care:

 U_f – reprezintă pierderile frontale prin convecție și prin radiație;

 U_p – reprezintă pierderile posterioare prin conducție;

 U_L – reprezintă pierderile laterale prin convecție și prin conducție.



Fig. 3.2. Pierderile termice frontale, posterioare și laterale ale colectorului solar triunghiular

Pierderile termice frontale se determină cu relația:

$$U_f = \left(\frac{1}{h_{c,p-s} + h_{r,p-s}} + \frac{1}{h_v + h_{r,s-a}}\right)^{-1} \qquad [W/m^{2} C] \qquad (3.2)$$

în care:

 $h_{c,p-s}$ – coeficientul de transfer termic prin convecție (c) între placa absorbantă (p) și sticlă (s), [W/m^{2°}C];



 $h_{r,p-s}$ – coeficient de transfer termic prin radiație (r) între placa absorbantă și sticlă, [W/m²°C];

 h_{v} – coeficientul de transfer termic cauzat de vânt, [W/m²°C];

 $h_{r,s-a}$ – coeficient de transfer termic prin radiație între sticlă și mediul exterior, aer (a), [W/m^{2°}C].

Coeficientul de transfer cauzat de influența vitezei vântului are valoarea

 $h_{v} = 5 W/m^{2}$ pentru colectoarele solar termice în plan vertical în condițiile statice.

Coeficientul de transferul termic prin convecție între placa absorbantă și sticlă se determină cu relația

$$\mathbf{h}_{\mathbf{c},\mathbf{p}-\mathbf{s}} = \mathbf{N}\mathbf{u}\frac{\mathbf{k}}{\mathbf{G}_{\mathbf{a}}} \qquad [W/m^{2}°C] \qquad (3.3)$$

în care:

Nu – reprezină numărul lui Nusselt;

k – reprezintă conductivitatea termică a aerului [W/m²°C];

G_a – reprezintă grosimea stratului de aer [mm].

Coeficientul de transfer termic prin radiație între placa absorbantă și suprafața de sticlă se calculează cu

$$h_{r,p-s} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_s^2)(T_p + T_s)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1}$$
(3.4)

în care:

 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 \text{ este constanta Stefan - Boltzmann;}$ $T_p \text{- este temperatura medie a plăcii absorbante [K];}$ $T_s \text{- este temperatura <u>estimată</u> a suprafeței vitrate [K];}$ $\varepsilon_p \text{- este emitanța termică a plăcii absorbante [W/m^2];}$ $\varepsilon_s \text{- este emitanța termică a suprafeței vitrate [W/m^2].}$

Pierderile frontale prin radiație au loc și între suprafața vitrată (sticla solară) și mediul exterior. Coeficientul de transfer prin radiație între sticlă și mediul exterior este

$$h_{r,s-a} = \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot (T_s^2 + T_a^2)(T_s + T_a) \left[W/m^{2 o} C \right]$$
(3.5)

în care:

 ε_s – este emitanța suprafeței vitrate;

 σ – este constanta Stefan – Boltzmann ;

 T_a - temperatura aerului din mediul înconjurător, [K];

 T_s – temperatura suprafeței vitrate. Acesta se calculează după ecuația

$$T_{s} = T_{p} - \frac{U_{t}(T_{p} - T_{a})}{h_{c,p-s} + h_{r,p-s}} \qquad [{}^{o}C] \qquad (3.6)$$

Pierderile termice frontale prin radiație între placa absorbantă și suprafața vitrată, depind de emitanța suprafeței. Emitanța este 0.95 pentru placa absorbantă neagră din aluminiu și respectiv 0.88 pentru sticla transparentă (Duffie și Backman, 2006). Pentru alte culori ale suprafețelor selective, valorile diferă. Au fost studiate suprafețe de culori diferite pentru a verifica valoarea emitanței și absorbanței în cazul acestora, care au fost măsurate la diferite lungimi de unda – de unde și diferența dintre 2 culori asemănătoare (Tabelul 3.2). Majoritatea culorilor sunt obținute prin tehnica depunerii de straturi subțiri. În realizarea celor două plăcii absorbante s-a folosit vopsea spray care a fost pulverizată pe suprafața



absorberului în strat uniform. Valorile procentuale pentru absorbanța culorii negre sunt similare (tabelul 3.2. rândurile 1, 10, 14, 16, 27) chiar și când tehnica folosită pentru obținerea culorii este diferită (depuneri de straturi sol-gel vs. vopsea), absorbanța este de 95%. Pentru roșu apar diferențe de la o tehnică la alta, nuanța de roșu fiind diferită, însă conform studiilor efectuate în Centrul de Cercetare RESREC al Universității Transilvania (Isaac L. et.al., 2018) pentru vopseaua roșie absorbanța este de 53%, de asemenea alte studii arată că pentru culoarea roșie absorbanța este între 50-90% în funcție de tehnica și nuanța obținută. Conform legii lui Kirchhoff, în condiții de echilibru termic, emitanța este egală cu absorbanța. În urma studiului efectuat se aleg următoarele valoriapropiate de culoarea folosită:

- negru α_n= 95%; ε_n= 0.95;
- roşu α_r= 60 %; ε_r=0.6.

Nr.	Culoare	_	α [%]	ε [%]	α/ε [%]	Referință
1	negru-vopsea		95	5	19	
2	roșu		95.3	4.3	22.2	
3	violet		97.6	4.5	21.7	
4	magenta		95.0	4.4	21.6	
5	mov		95.2	4.5	21.2	(Feiliang et.al., 2015)
6	albastru		95.5	4.7	20.3	
7	turcoaz		95.3	4.4	21.7	
8	verde		95.6	4.6	20.8	
9	maro		95.3	3.5	27.2	
10	culori închico		95	1	95	
11	culori incliise		85	5	17	(Tripanagnostopoulo
12	culori doschiso		75	9	8.3	s et.al.,2000)
13	culori descriise		65	9	7.2	
14	pogru		94.9	6.2	15.3	(Grosjean et.al.,
15	negru		91.4	9	10.2	2021)
16	negru epoxy		94-96	5-10	9.4-19.2	(Butler B.et.al.,1979)
17	violet		92.3	7.6	12.1	
18	galben		90.5	9.1	9.9	
19	verde deschis		91.1	8.5	10.7	(Lai și Li,2022)
20	verde închis		93	7.3	12.7	
21	albastru		93.2	7.1	13.1	
22	roșu-Fe₂O₃		65	7	9.3	
23	galben - V₂O₅		53	14	3.8	(Duță et.al. <i>,</i> 2014)
24	negru-albastrui- CuS		69	20	3.5	
25	roșu - vopsea		53	13	4.1	
26	roșu - Fe₂O₃ sol-gel		64-70	5-12	12.8-5.8	(Isac L. et.al., 2018)
27	negru - NiS _x - sol-gel		84-95	41-52	2-1.8	
28	roșu		88	54	1.63	(Probst, Roecker,
29	vișiniu		89	41	2.17	2007)
30	roșu		82	27	3.03	(Wu Y. et.al.,2013)
31	roșu		50-70	50	1-1.4	(Engineering Tool Box)

Tabel 3.2. Absorbanța și emitanța pentru diferite culori



Pierderile termice posterioare (U_p **)** se realizează prin convecție și se calculează în funcție de conductivitatea termică și grosimea termo-izolației posterioare a colectorului

$$U_p = \frac{k_p}{G_p} \qquad [W/m^2 \, {}^oC] \tag{3.7}$$

în care,

 k_p - conductivitatea termică a materialului izolator $[W/m^2 \circ C]$;

 G_p - grosimea termo-izolației posterioare [*mm*].

Pentru o termoizolație de polistiren extrudat, conductivitatea termică este de 0.03 W/m²°C, iar pentru vată minerală este de 0.45 W/m²°C.

Pierderile termice laterale (U_L **)** ale colectorului solar termic se realizează prin convecție și se calculează cu relația

$$U_L = \frac{(UA)_L}{A_a} \qquad [W/m^2 \ ^oC] \quad (3.8)$$

în care:

(UA)_L - reprezintă produsul dintre coeficientul pierderilor termice laterale prin conducție termică și aria laterală a colectorului solar termic;

A_a – reprezintă aria de apertură a colectorului solar termic, [m²].

Coeficientul pierderilor termice laterale este egal cu raportul dintre coeficientul de conducție și grosimea termo-izolației laterale

$$U = \frac{k_L}{G_L} \qquad [W/m^2 \ ^oC] \ (3.9)$$

Eficiența transferului termic dintre absorber și conductă se calculează în funcție de puterea utilă transmisă prin conducte și intensitatea radiației solare globale captată de absorber, cu relația

$$\eta = \frac{q}{A_a G_n} \tag{3.10}$$

în care:

q- este puterea termică utilă rezultată de transferul termic dintre absorber și conductă,
 [J/s];

 A_a – este aria de apertură ,[m²];

 G_{n-} este intensitatea radiației solare globale captate de CST, $[W/m^2]$.

Puterea utilă produsă prin transferul termic dintre absorber- conducte se calculează:

$$q = A_a F_R \left[\tau \alpha G_n - U_t (T_p - T_a) \right] \left[J/s \right]$$
(3.11)

în care:

 A_a – este aria de apertură ,[m²];

- *F_R* este factorul de extracție a căldurii;
- τ este transmitanța sticlei;
- α absorbanța culorii plăcii absorbante a colectorului solar termic;
- G_n este intensitatea radiației solare globale captate de CST, [W/m²];

 U_t – reprezintă pierderile termice totale din colector, [W/m²°C];

 T_p – este temperature plăcii absorbante, [°C];

 $T_{a^{-}}$ este temperatura aerului, [°C].

Factorul de extracție a căldurii se determină cu relația

$$F_R = F' \cdot F'' \tag{3.12}$$

unde:



F' - este factorul de eficiență al colectorului solar termic;

F''- este factorul de curgere al agentului termic.

Deoarece factorii intermediari folosiți în calculul eficienței colectorului solar termic precum $\tau \alpha$, F_R , U_t și G_n au valori constante, se poate formula o relație simplificată a eficienței care va fi utilizată în continuare pentru compararea eficienței calculate cu testarea experimentală. Astfel, introducând relația 3.11 în relația 3.10, și prin simplificarea cu G_n a primului factor se obține:

$$\eta = \tau \alpha F_R - \frac{F_R \cdot U_t}{G_n} (T_p - T_a)$$
(3.13)

Coeficientul de extracție al căldurii F_R depinde în principal de U_t (pierderile termice totale din colector) și C_p (căldura specifică a agentului termic utilizat). Pierderile termice totale sunt calculate pentru cele două colectoare de culori diferite având aceeași parametrii constructivi, așadar se poate considera o valoare constantă pentru fiecare culoare în parte. În schimb, căldura specifică este o proprietate a agentului termic care depinde de temperatura acestuia. Pentru diferențele de temperatură 0-40°C la care se efectuează testarea, C_p are o influență mică asupra factorului F_R (tabelul 3.3):

Nr. crt.	Culoare	Ut	Δt	Cp	F _R
1			0	4182	0.846
2			10	4180	0.847
3	negru	7.7	20	4178	0.848
4			30	4181	0.846
5			40	4184	0.848
6			0	4182	0.864
7			10	4180	0.865
8	roșu	6.6	20	4178	0.866
9			30	4181	0.864
10	1		40	4184	0.867

Tabelul 3.3. Parametrii care influențeaza factorul F_R

Deoarece nu există diferențe mari între valori, se adoptă o valoare medie a lui F_R <u>de</u> <u>0.847 pentru colectorul negru, respectiv 0.865 pentru cel roșu</u>.

Transmitanța unei suprafețe este capacitatea acesteia de a permite trecerea radiației solare prin el. Aceasta determină cât de opacă sau cât de transparentă este o suprafață.

Produsul transmitanță-absorbanță, $\tau \alpha$, depinde de culoarea plăcii absorbante. Valorile absorbanței au fost notate anterior (**0.95 pentru negru, respectiv 0.6 pentru roșu**), iar **transmitanța sticlei este de 0.91** (Dupeyrat P. et.al., 2011). Astfel, produsul transmitanțăabsorbanță este:

- Negru (*τα*)_n =0.86;
- Roșu (*τα*)_r =0.546.

Astfel, se consideră produsul $\tau \alpha F_R$ o constantă notată cu "a" și termenul $F_R \cdot U_t$ notat cu "b". Diferența dintre temperatura medie a plăcii absorbante și temperatura aerului se notează cu Δt , iar eficiența devine funcție de temperature medie a absorberului și a aerului:

$$\boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{a} - \frac{b\Delta t}{G_n} \tag{3.14}$$



Coeficienții "*a*" și "*b*", vor avea valori diferite pentru placa absorbantă neagră, respectiv roșie, datorită absorbanței diferite (0.95 negru vs 0.6 roșu) care cauzează la rândul lor pierderile termice totale diferite. De asemenea, termenul "*b* G_n " are valori diferite pentru testarea indoor, unde se folosește o valoare constantă a lui G_n ; și pentru testarea outdoor, unde G_n este variabil și este măsurat în condiții de cer senin.

Aceasta va fi utilizată în capitolul 4 pentru compararea eficienței simulate după metoda din literatură (Duffie&Backman) vs. formula adaptată în acest capitol și apoi compararea rezultatelor simulate vs. cele obținute experimental.

Eficiența colectorului solar termic plan plat triunghiular poate fi calculată pentru simularea outdoor după formularea lui Meliss (Meliss și Kleemann, 1993)

$$\eta = \frac{P_{iesire}}{P_{intrare}} 100 \quad [\%]$$
(3.15)

în care:

 P_{iesire} – reprezintă puterea termică utilă a colectorului solar termic, [W]; $P_{intrare}$ – puterea termică captată la suprafața colectorului, [W].

Puterea termică de ieșire, P ieșire se calculează cu relația

$$P_{iesire} = P_t = \dot{m} \cdot c \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad [W]$$
(3.16)

unde,

 \dot{m} – este debitul agentului termic, [kg/s];

c - este capacitatea termică specifică a apei de 4186 [J/(kg·K)];

T_{out} – temperatura agentului termic la ieșirea din colector ,[°C];

T_{in}– temperatura agentului termic la ieșirea din colector ,[°C].

Puterea termică de intrare, denumită și putere solară (Ps), se calculează cu relația

$$P_{intrare} = A_c \cdot G_n \quad [W] \tag{3.17}$$

în care:

 A_c – este aria colectorului solar termic, $[m^2]$;

 G_n – este intensitatea radiației solare captată în planul CST, $[W/m^2]$.

Astfel, eficiența colectorului devine

$$\eta = \frac{P_t}{A_c \cdot G_n} \qquad [\%] \tag{3.18}$$

În cazul testării outdoor, intensitatea radiației solare globale disponibile în planul CST se calculează pe baza modelului matematic Meliss

$$G_n = B_n + D_n \ [W/m^2]$$
 (3.19)

unde:

 B_n - este intensitatea radiației solare directe în planul CST, $[W/m^2]$; D_n - este intensitatea radiației solare difuze în planul CST, $[W/m^2]$.

Intensitatea radiației solare directe în planul CST se calculează după formula

$$B_n = B \cdot cos v \quad [W/m^2]$$
(3.20)



în care,

B - este intensitatea radiației solare directe, $[W/m^2]$;

v - este unghiul de incidență, [°].

Intensitatea radiației solare difuze se calculează cu relația următoare: $D_n = D_h (1 + \sin \alpha)/2 [W/m^2]$

în care D_h - este radiația difuză în plan orizontal.

Diferența dintre eficiența simulată numeric și cea reală rezultată în urma testărilor indoor și outdoor, rezulta eroarea relativă (*RE*), care este egală cu:

$$RE[\%] = \frac{|\eta_s - \eta_e|}{\eta_s} \times 100 \,[\%]$$
(3.22)

(3.21)

în care:

 η_s – este eficiența simulată numeric [%];

 η_e – este eficiența rezultată experimental [%].

3.3 Calculul numeric al pierderilor termice

Prin calculul numeric al pierderilor termice și al eficienței colectorului și modificarea parametrilor constructivi ai configurației inițiale în limite posibile constructiv, se determină mărimea și sensul influenței parametrilor constructivi asupra pierderilor termice și a eficienței CST triunghiular. Aceasta permite determinarea configurației optime a CST triunghiular, care va sta la baza dezvoltării soluției constructive, realizarea modelului fizic și testarea acestuia.

Pentru varianta de bază cu absorber negru:

a. Pierderile frontale calculate reprezintă 6,36 W/m²°C.

Nr.	lt a sat!!	Ga	T _{s.estimat}	T _{s.calculat}	h _{c,p-s}	h _{r,p-s}	h _{r,s-a}	U _f
Crt.	iterații	m	°C	°C	[W/m²°C]	[W/m²°C]	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]
1.	1	0,0104	35,00	46,65	2,82	7,60	5,16	6,17
2.	2	0,0104	46,65	46 <i>,</i> 96	2,82	7,97	5,48	6,36
3.	3	0,0104	46,96	46,97	2,82	7,98	5,49	6,36
4.	4	0,0104	46,97	46,97	2,82	7,98	5,49	6,36

Tabelul 3.4. Pierderile la nivel frontal pentru modelul de bază

b. Pierderile laterale pentru o termoizolație de 20 mm din vată minerală, au valoarea de 2,31 W/m²°C.

rabelul 3.3. Fierderlie la linerialeral periti d'inoueiul de baz	Tabelul 3.5.	Pierderile la	nivel lateral	pentru modelu	l de bază
--	--------------	---------------	---------------	---------------	-----------

Nr.	G∟	k∟	U	P _{CST}	Acst	Aa	UL
Crt.	m	W/m²°C	W/m²°C	m	m²	m²	W/m²°C
1.	0,02	0,045	2,25	2,25	0,18	0,18	2,31

c. Pierderile posterioare, având o termoizolație de 50 mm din vată minerală, reprezintă 0,9 W/m²°C.



Nr.	k _p	Gp	Up	
Crt.	W/m²°C	m	W/m²°C	
1.	0,045	0,050	0,90	

Tabelul 3.6. Pierderile la nivel posterior pentru modelul de bază

Din aceste calcule trezultă un cumul al pierderilor termice totale, Ut, de 9.64 W/m²°C

Pentru a determina variația pierderilor frontale, U_f, în funcție de grosimea stratului de aer dintre placa absorbantă și sticlă se ia în considerare variația acestui parametru de <u>la</u> <u>0.005 m la 0.030 m.</u> Se observă că odată ce distanța dintre placa absorbantă și sticlă se mărește, pierderile termice la nivelul frontal al CST triunghiular scad.



Fig.3.3. Reprezentarea grafică a influenței grosimii stratului de aer asupra pierderilor termice frontale.

Pierderile termice posterioare se determină în funcție de grosimea termoizolației posterioare. Pentru a determina influența acesteia se consideră o variație de 5 mm pornind <u>de la 5 mm până la 60 mm</u>. Influența pierderilor termice scade odată cu creșterea grosimii termoizolației







Pentru a determina influența grosimii termoizolației la nivelul lui U_L, se consideră grosimea stratului de aer de 10.4 mm constantă, iar grosimea termoizolației variază de la <u>5</u> <u>mm la 60 mm.</u> Din Fig.3.5 rezultă o influență majoră a grosimii termoizolației laterale asupra pierderilor termice laterale care scad pe măsură ce termoizolația crește.



Fig.3.5. Reprezentarea grafică a influenței grosimii termoizolației laterale în pierderile termice laterale

Pentru a determina influența fiecărui parametru, se calculează pierderile termice totale în funcție de grosimea stratului de aer, al termoizolației posterioare și laterale. Se consideră parametrii constanți: grosimea stratului de aer și al termoizolației posterioare - din care rezultă pierderile termice frontale și posterioare constante; iar grosimea termoizolației laterale este variată de la 5 mm la 60 mm la fel și pierderile termice laterale. Astfel se obține variația pierderilor termice totale în funcție de grosimea termoizolației laterale. Datele sunt puse sub formă de matrice, reprezentând primul rând din Fig. 3.6. Se determină astfel influența parametrilor în pierderile totale, formând forma matriceală reprezentată grafic. Exemplul de calcul pentru prima linie din Fig.3.6 este reprezentat în tabelul 3.8.

Pe rândul nr 1. sunt calculate pierderile termice totale pentru grosimea aerului de 0.005 m și grosimea termoizolației posterioară de 0.005 m, pentru fiecare grosime a termoizolației laterale pornind de la 0.005 până la 0.06 m astfel:

$$U_t = U_f + U_p + U_{L(G_L=0.005 m)} = 7.4 + 9 + 6.53 = 22.93 W/m^2 °C$$

Pierderile termice totale se calculează în funcție de fiecare parametru constructiv analizat pentru a observa influența lor. Pentru a determina influența fiecărui parametru este necesară o matrice de calcul din care rezultă reprezentarea grafică a influenței asupra pierderilor totale, conform Fig. 3.6.

Acest exemplu este reprezentat pentru grosimea stratului de aer de 5 mm, cu variația grosimilor de termoizolație posterioară și laterală. Pentru fiecare valoare a lui G_p variată, rezultă pentru fiecare valoare a lui G_L variată, o valoare specifică pentru pierderile termice posterioare și respectiv laterale; cumulându-le cu pierderile frontale aferene lui G_a de 5 mm rezultă pierderile termice totale.



Nr.	Ga	Gp	GL	Uf	Up	UL	Ut
-	m	m	m	W/m²°C	W/m²°C	W/m²°C	W/m²°C
			GL1			U_{L1}	U _{t1}
1	G	G	G _{L2}	Ha	П.	U_{L2}	U _{t2}
	Gai	Op1		Of1	U _{p1}		
			GLn			ULn	U _{tn}
		G _{p2}	G _{L1}	U _{f2}	U _{p2}	U_{L1}	U _{t1}
2	G		G _{L2}			U _{L2}	U _{t2}
2	Gai						
			G _{Ln}			U_{Ln}	U _{tn}
			G _{L1}			U_{L1}	U _{t1}
n	Gui	Gun	G _{L2}	الد		U_{L2}	U _{t2}
''	Uan	Opn		Ufn	Opn		
			G _{Ln}			U _{Ln}	U _{tn}

Tabelul 3.7. Algoritmul de calcul al pierderilor termice totale

Tabelul 3.8. Forma matriceală corespunzătoare grosimii stratului de aer de 5 mm.

G _a = 5 mm												
GL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Gp		Ut										
5	22.9	19.8	18.8	18.3	18.0	17.8	17.7	17.6	17.5	17.5	17.4	17.4
10	18.4	15.3	14.3	13.8	13.5	13.3	13.2	13.1	13.0	13.0	12.9	12.9
15	16.9	13.8	12.8	12.3	12.0	11.8	11.7	11.6	11.5	11.5	11.4	11.4
20	16.2	13.1	12.0	11.5	11.2	11.0	10.9	10.8	10.8	10.7	10.7	10.6
25	15.7	12.6	11.6	11.1	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	10.3	10.2	10.2
30	15.4	12.3	11.3	10.8	10.5	10.3	10.2	10.1	10.0	10.0	9.9	9.9
35	15.2	12.1	11.1	10.6	10.3	10.1	9.9	9.9	9.8	9.7	9.7	9.7
40	15.1	11.9	10.9	10.4	10.1	9.9	9.8	9.7	9.6	9.6	9.5	9.5
45	14.9	11.8	10.8	10.3	10.0	9.8	9.7	9.6	9.5	9.5	9.4	9.4
50	14.8	11.7	10.7	10.2	<mark>9.9</mark>	9.7	9.6	9.5	9.4	9.4	9.3	9.3
55	14.7	11.6	10.6	10.1	9.8	9.6	9.5	9.4	9.3	9.3	9.2	9.2
60	14.7	11.6	10.5	10.0	9.7	9.5	9.4	9.3	9.3	9.2	9.2	9.1





Fig. 3.6 Pierderile termice totale pentru grosimea stratului de aer de 5 mm

Energia termică transferată dintre absorber și conducte este influențată de parametrii constructivi ai conductei serpentinei. Aceștia sunt identificate în figura următoare și reprezintă:

- W- distanța dintre două axe ale două conducte consecutive;
- g grosimea peretelui conductei;
- D- diametrul exterior al conductei.



Fig. 3.7. Eficiența colectorului triunghiular în funcție de dimensiunile conductei serpentinei

Rezultă că eficiența mai mare se obține pentru o distanță mică între conducte, de 100 mm, pentru un diametru exterior de 10 mm. Grosimea peretelui conductei contribuie la creșterea eficienței, dar în procent mic. Astfel că se obține o eficientă de 48% în cazul celui mai subțire perete al conductei ales pentru calcule, de 0.5 mm. Influența parametrilor conductei este însă foarte mică.

Eficiența CST poate fi influențată și de variația debitului agentului termic, dar la debite mai mari decât cel standard, curgerea prin conducte devine turbulentă. Așadar în continuare se va folosi în simulările numerice valoarea debitului standard conform ASHRAED 109 de 0.02 kg/ m²s.

Eficiența simulată numeric

Pentru compararea datelor numerice calculate cu datele din testare, se determină eficiența simulată în două cazuri, prezentate schematic în figura 3.8:

 Intensitatea radiației solare globale captate de colector este constantă, aprox. 950 W/m², pentru compararea datelor simulate cu experimentul indoor din capitolul 4;



2. *Intensitatea radiației solare globale captate de colector este variabilă*, pentru compararea datelor simulate cu experimentul outdoor, unde *G*^{*n*} este calculat.



În final cele două eficiențe indoor și outdoor vor fi comparate și reprezentare grafic.



Cazul 1: Simulare indoor: intensitatea radiației solare globale constante aprox. 950 W/m².

În figura 3.9 sunt reprezentate grafic eficiențele calculate numeric după modelul Duffie&Backman (η_{sin_N} pentru colectorul negru și η_{sin_R} pentru colectorul roșu) cu albastru deschis **73.143%** colectorul negru și cu galben pentru colectorul roșu **43.004%**. Iar după metoda simplificatată notată $\eta_{(a,b)in_N}/\eta_{(a,b)in_R}$ și reprezentată cu bleumarin și orange s-au obținut **73.21%** pentru colectorul negru ($\eta_{(a,b)in_N}$) și **47.04%** ($\eta_{(a,b)in_R}$) pentru cel roșu. Cele două grafice se suprapun, diferențele fiind foarte mici **0.11-0.12 %**.

Eficiența CST este calculată după cele două metode numerice, iar coeficienții aferenți metodei simplificate sunt prezentați în tabelul 3.9 pentru cele două culori ale plăcii absorbante (roșu vs. negru).

Nr.	СЅТ	a (τα F _R)	τα G _n	Ut	b (F _R U _t / G _n)	η (a,b)	η s in	RE
crt.		-	[W/m ²]	[W/m²°C]	-	[%]	[%]	[%]
1.	Negru	0.73	821	7.7	0.007	73.21	73.143	0.12
2.	Roșu	0.47	519	6.8	0.006	47.04	47.004	0.11

						· · ·
Tabelul 3.9	Eficienta	calculata	numeric	nrın	cele di	oua metode
1000101 0.0.	Encicitya	curculutu	mannerie	P1111	CCIC G	







Cazul 2: Simulare outdoor: intensitatea radiației solare globale variabilă.

Pentru cazul al doilea, se iau valorile medii ale intensității radiației globale captate de colector, calculată pentru 3 zile reprezentative în care s-a efectuat testarea outdoor (din capitolul 4). Ca exemplu este reprezentată grafic în fig. 3.10 intensitatea radiației solare globale, difuze li directe din data de 31.12.2023 cu $G_{n mediu}$ de 710 W/m².



Fig. 3.10.Intensitatea radiației solare calculate pentru 31.12.2023

Astfel, pentru cele 3 zile se obțin următoarele rezultate ale eficienței CST simulate prin cele două metode (Tabelul 3.10).

Nr.	a (τα F _R)	Ziua	τα G _n	Ut	b/ G _n =(F _R U _t)/ G _n	η (a,b)out	$\eta_{s out}$	RE
cri.	-	-	[W/m²]	[W/m²°C]	-	[%]	[%]	[%]
	1. 0.73	31.10.2023	651		0.0086	73.2	72.96	
1.		13.11.2023	636	7.7	0.0088	73.19	73.14	
ne	negru	31.12.2023	615		0.0086	73.19	73.14	
	2. 0.47	31.10.2023	411		0.0078	47.03	46.04	0.1
2.		13.11.2023	402	6.8	0.08	47.03	47	
	roșu	31.12.2023	388		0.0083	47.03	47	

Tabelul 3.10. Eficiența calculată numeric prin cele două metode de calcul

Se pot sumariza rezultatele simulate sub formă grafică pentru a compara cele două cazuri indoor vs outdoor și pentru cele două colectoare cu absorber negru și roșu în Fig. 3.11. Simulările efectuate pentru colectorul negru sunt reprezentate pe grafic cu verde pentru indoor și cu albastru pentru outdoor, iar pentru colectorul roșu cele indoor sunt reprezentate cu roz în timp ce outdoor sunt cu roșu.



a.





În urma simulărilor numerice după metoda clasică Duffie&Backman, au rezultat:

- în cazul simulărilor indoor pentru colectorul negru s-au obținut 73.14%, iar pentru cel roșu 47.004%;
- în cazul simulărilor outdoor efectuate pentru cele trei zile (31.10, 13.11 și 31.12 2023) pentru negru s-au obținut rezultate între 73.137-72.964 %, iar pentru roșu rezultatele sunt de 47.001-46.043%, pentru ambele colectoare în ziua din decembrie valorile sunt mai mici pentru că intensitatea radiației solare este diferită față de celelalte două zile (710 W/m² vs 738/753 W/m²).

În urma simulărilor numerice după metoda simplificată s-au obținut:

- în cazul indoor, pentru colectorul negru 73.21, respectiv 47.04 pentru cel roșu;
- în caul outdoor, pentru negru 73.193%, iar pentru cel roșu 47.03%.

3.4. Proiectarea dimensional-constructivă a colectorului triunghiular cu serpentină

În urma analizei efectuate au rezultat parametrii principali și secundari conform tabelului următor, în funcție de influența lor asupra transferului termic și a eficienței colectorului:

Nr.	Doromotru	Valoare	Cate	egoria
Crt.	Parametru	[<i>mm</i>]	Principal	Secundar
1	Grosimea stratului de aer G a	10	Х	
2	Grosimii termoizolației laterale G L	25	Х	
3	Grosimea termoizolației posterioare G _P	50	х	
4	Grosimea suprafeței de sticlă G s	4		х
5	Grosimea plăcii absorbante G pa	0.4		х
6	Diametrul exterior al conductei D	10		х
7	Grosimea peretelui conductei g	0.5		х
8	Distanța dintre două conducte consecutive W	60		х

Tabelul 3.11.Parametrii constructivi ai colectorului solar termic plan plat

Se execută colectorul solar termic din tablă de aluminiu de grosime de 1 mm, având dimensiunea de 1000 x 2000 mm. Pentru a evita risipa de material, se realizează schema de tăiere a tablei astfel încât dintr-o foaie să rezulte cele două carcase și placa absorbantă.





Fig.3.12. Schița pentru încadrarea eficientă a formelor pe o foaie de tablă de 2x1 m.

Serpentina este realizat din țeavă de cupru de diametru 10 mm cu grosimea peretelui de 1 mm, formând 9 bucle cu o distanță de 50 mm între două axe ale conductei consecutive. În total însumează o lungime de aproximativ 3500 mm, este reprezentată conform Fig.3.13.



Fig.3.13 Desenul tehnic al plăcii absorbante cu serpentina conectată, vedere frontală

Termoizolația este realizată din polistiren extrudat. Pentru lateralul colectorului se foloseste termoizolație de 20 mm, iar pentru partea posterioara se folosește de 60 mm grosime.

În continuare, sunt prezentați pașii urmați în construcția CST optim:

- 1. Trasarea foii de aluminiu Fig.3.14.1).
- 2. Decuparea ramelor(Fig.3.14.2).
- 3. Îndoirea marginilor pentru cele două rame (Fig.3.14.3).
- 4. Pregătirea termoizolație (Fig.3.14.4).
- 5. Pregătirea serpentinei: (Fig.3.14.5).



- 6. Lipirea serpentinei (Fig.3.14.6).
- 7. Vopsirea plăcii absorbante (Fig.3.14.7).
- 8. Lipirea sticlei (Fig.3.14.).
- 9. Decuparea orificiilor pentru intrarea și ieșirea serpentinei (Fig.3.14.9).
- 10. Asamblarea tuturor componentelor (Fig.3.14.10):







Fig.3.14.Etapele construirii colectorului solar termic plan plat triunghiular

Fig.3.15. Colectorul solar termic plan plat triunghiular cu absorber roșu și negru După instalarea colectorului pe stand, se pot efectua testările în condiții de laborator.



4. Testarea experimentală a colectorului solar termic triunghiular cu serpentină

Colectorul solar termic triunghiular cu serpentină, conceput, modelat, studiat și optimizat în capitolele anterioare, este dezvoltat fizic și utilizat pentru validarea experimentală a eficienței termice.



Fig.4.1. Cele două modele fizice ale colectoarelor cu placă absorbantă roșie și neagră

Testarea lor se efectuează utilizând standurile existente în Centrul de cercetare științifică RESREC din Institutul de Cercetare - Dezvoltare al Universității Transilvania (ICDT) din Brașov și adaptate corespunzător.

Se dezvoltă cercetări experimentale pe standul indoor în condiții de laborator și pe standul outdoor în condiții reale.

Reprezentarea grafică a variației eficienței se face în funcție de

$$\eta = f\left[(T_m - T_a)/G_n \right] \tag{4.1}$$

în care

T_m - este temperatura medie a agentului termic, [°C];

T_a – este temperatura aerului, [°C];

 G_n – este intensitatea radiației solare globale în planul vertical al colectorului [W/m²].

4.1. Testarea indoor

Testarea colectoarelor solar termice se face conform standardului ASHRAE 93-1996, care stabilește condițiile specifice de testare precum: nivelul de radiație solară (900 ± 50 W/m²), temperatura mediului înconjurător la începutul testării (25°C) și diferența de temperatură între fluidul de lucru și mediul înconjurător (10°C), presiunea hidraulică de 2 bari și debitul de 0,02 kg/m²s (ASHRAE Standard, 1996). Diferența de temperatură a agentului termic la intrarea și iesirea din colectorul solar este variabilă, divizată în 5 pași astfel: $\Delta T = 0$; 10; 20; 30; 40 °C.

Standul de testare este reprezentat schematic în figura 4.2. și detalii în figura 4.3. Acesta cuprinde ca elemente principale colectorul solar termic și stocatorul pentru energie termică, aparate de măsură pentru debitul sau presiunea agentului termic, senzori de temperatură pentru monitorizarea parametrilor termici și robineți pentru umplerea sau golirea circuitului.

Componentele utilizate în testarea indoor sunt următoarele:

- a. Componente principale:
 - 1. Simulatorul solar care prin intermediul lămpilor UV simulează radiația solară disponibilă;
 - 2. Colectorul solar termic care transformă radiația solară în energie termică, pe care o transferă unui agent termic prin serpentină;



- 3. Boilerul/Stocatorul cu rolul de a stoca energia termică. Acesta are și o rezistență electrică folosită ca sursă de încălzire suplimentară;
- Pompa hidraulică cu rolul de a asigura circulația agentului termic prin colectorul solar în timpul testării, permiţând evaluarea performanţei acestuia în condiţii reale de funcţionare;
- 5. Controler care monitorizează intensitatea radiației solare;
- 6. Vasul de expansiune care să preia creșterea volumului de fluid după încălzirea și dilatarea acestuia;
- b. Componente secundare:
 - 7. Ventilator/ simulatorul de vânt folosit pentru a răci lămpile solare;
 - 8. Rezistență electrică folosită pentru încălzirea boilerului;
 - 9. Debitmetru pentru măsurarea și monitorizarea debitului agentului termic;
 - 10. Manometru pentru măsurarea presiunii hidraulice din sistem;
 - G Piranometru folosit pentru a măsura intensitatea radiației solare primite de colector. Acesta este localizat în apropierea colectorului, dar fără sa îl umbrească;
 - Senzori de temperatură care au rolul de a măsura temperatura agentului termic. Aceștia sunt localizați la intrarea/ieşirea agentului termic din colector și din boiler, dar și în mediul exterior pentru a monitoriza temperatura aerului;
- c. Componente auxiliare:
 - DA Dezaerisitor automat folosit pentru eliberarea aerului din instalația circuitului colectorului solar termic;
 - SS Supapa de presiune de 10 bari pentru eliberarea presiunii din sistem în cazul creșterii acesteia odată cu încălzirea agentului termic;
 - Robineți pentru umplerea/ golirea instalației;
- Racorduri flexibile prin care circulă agentul termic.

Procedura de testare

Pasul 1. Efectuarea probelor de presiune.

Pasul 2. Racordarea sistemul CST la sistemul hidraulic.

Pasul 3. Pornirea pompei hidraulice.

Pasul 4. Reglarea debitului.

Pasul 5. Amplasarea standului de testare în fața simulatorului solar vertical.

Pasul 6. Reglarea simulatorul solar.

Pasul 7. Verificarea piranometrului și a controlerului

Parametrii monitorizați:

- temperatura de intrare și de ieșire a apei din colectorul solar termic: *T_{in}, T_{out};*
- temperatura apei în boiler, T_b;
- temperatura aerului în mediul ambiant, Ta;
- intensitatea radiației solare simulate G_n;
- debitul agentului termic, *m*;
- presiunea din circuitul solar, p.





Fig.4.2. Schema standului de testare



Universitatea Transilvania din Brașov

Lămpi UV Ventilatoare b. a. 5 DA AC

с.

d.

SS

5

Fig. 4.3. Standul de testare și elementele caracteristice: a. Simulatorul solar; b.Poziționarea standului în fața simulatorului vertical; c. Vederea frontală a standului de testare; d. Vederea din spatele standului de testare.



Etape ale testarii

Simulatorul a funcționat aproximativ o oră pentru stabilizarea parametrilor de testare (reglarea debitului, a temperaturii de intrare și ieșire a apei din colectorul solar termic).

Se stabilesc cele 5 trepte de temperatură folosite pe durata testului și potențialele temperaturi de intrare și ieșire ale agentului termic pentru a obține diferențele dorite. conform tabelului 4.1. Este considerat T_a de 30 °C deoarece după stabilizarea sistemului, aerul din jurul colectorului se încălzește treptat. Diferența de temperatură ΔT este componenta variabilă față de care rezultă eficiența colectorului solar termic și are relația:

$$\Delta T = [(T_{in} + T_{out})/2] - T_a \tag{4.4}$$

Tabelul 4.1. Valori date ca exemplu pentru cele 5 trepte de diferențe de temperatură folosite pe durata testului în laborator

T _{in}	Tout	Τα	ΔΤ
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
30	30	30	0
40	40	30	10
50	50	30	20
60	60	30	30
70	70	30	40

Pentru a obține aceste diferențe se definesc următoarele etape în testarea colectorului:

- Pentru ΔT =0°C, când T_a =30°C, T_{in}= T_{out}, după jumătate de oră sistemul se stabilizează și colectorul începe să încălzească agentul termic, deci T_{out} >T_{in}; Sistemul este lăsat să funcționeze pentru încă 15 min. până când nu se observă diferențe mari la temperatura agentului termic la ieșirea din colector, (în acest timp se citesc datele moditorizate și se notează valorile temperaturilor la intrarea/ieșirea din colector). Astfel, sistemul este lăsat să se stabilizeze pentru 10 min., iar în următoarele 5 min. se citesc datele monitorizate.
- 2. Se pregătește sistemul pentru următoarea treaptă de temperatură și se reia procedura anterioară.

Testarea se efectuează pe rînd, dar în același mod pentru ambele colectoare cu placă absorbantă neagră și roșie

Datele experimentale sunt monitorizate cu o frecvență de 1 min pe toată perioada desfășurării testelor și reprezentate grafic în Fig.4.4 pentru CST negru și Fig. 4.5 pentru CST roșu.

Pentru a obține eficiența nominală a CST se prelucrează parametrii monitorizați în vederea reprezentării grafice sub formă de funcție liniară (Fig. 4.6 și Fig.4.7).









Compararea eficienței rezultată indoor vs simulare numerică indoor

Rezultatele simulate sunt asemănătoare cu rezultatele testării indoor pentru ambele colectoare unde s-a obținut o eroare de: 3.02% pentru colectorul <u>negru</u>, pentru testarea indoor s-a obținut o eficiență de 75,35 %, iar în simulare rezultatul a fost de 73,14% (Fig.4.10).





Pentru colectorul solar triunghiular <u>rosu</u> s-a obținut indoor o eficiență de 42.6 %, iar în simulare 47.004%, rezultând o eroare de 9.37% (Fig. 4.11).



Fig. 4.9. Compararea rezultatelor eficienței obținute pentru colectorul roșu indoor - simulare

4.2. Testarea outdoor

Testarea experimentală outdoor s-a realizat folosind standul outdoor existent în laboratorul Centrului de Cercetare RESREC al Universității Transilvania din Brașov. Au fost montate cele două colectoare solar termice plan plate cu absorberul <u>negru și roșu</u> pe fațada sudică a clădirii standului (Fig.4.10).

Schema standului de testare este prezentată în Fig. 4.11. și elementele detaliate în Fig.4.12.





Fig. 4.10 Dispunerea CST roșu și negru pe fațada sudică a anexei laboratorului L7 RESREC

Componentele care alcătuiesc standul de testare se pot clasifica în elemente principale, secundare și anexe la fel ca în cazul standului indoor:

- a. Componente principale:
 - 1,2 Colectoarele solar termice cu absorber negru și cu absorber roșu dispuse pe fațada sudică a clădirii anexe având o latură comună, Boilerul/Stocatorul – cu rolul de a stoca energia termică, având o rezistență electrică folosită ca sursă de încălzire suplimentară;
 - 4. Pompa hidraulică –cu rolul de a asigura circulația agentului termic prin colectorul solar în timpul testării;
 - 5. Controler care monitorizează intensitatea radiației solare;
 - Vasul de expansiune care să preia creșterea volumului de fluid după încălzirea și dilatarea acestuia;
- b. Componente secundare:
 - 7. Rezistență electrică pentru încălzirea boilerului;
 - 8. Debitmetru CST negru pentru măsurarea și monitorizarea debitului agentului termic;
 - 9. Debitmetru CST roșu pentru măsurarea și monitorizarea debitului agentului termic;
 - 10. Manometru pentru măsurarea presiunii hidraulice din sistem;
 - B Pirheliometru pentru monitorizarea intensității radiației solare directe;
 - Piranometru cu umbritor pentru monitorizarea intensității radiației solare difuze în plan orizontal;
 - Senzori de temperatură care au rolul de a măsura temperatura agentului termic. Aceștia sunt localizați la intrarea/ieșirea agentului termic din colector și din boiler, și senzori amplasați în experior pentru a monitoriza temperatura aerului;
- c. Componente auxiliare:



- Dezaerisitor automat folosit pentru eliberarea aerului din instalația circuitului colectorului solar termic;
- **SS** Supapa de presiune 10 bari pentru eliberarea presiunii din sistem în cazul creșterii acesteia odată cu încălzirea agentului termic;
- Robineți pentru umplerea/ golirea instalației;

Racorduri rigide din țeavă de cupru – prin care circulă agentul termic, izolate corespunzător pentru a minimiza pierderile termice prin conducte.

- Procedura de testare cuprinde:
- Pasul 1. Efectuarea probelor de presiune din circuit.
- Pasul 2. Verificarea senzorilor de temperatură.
- Pasul 3. Racordarea sistemului colectorului la sistemul hidraulic.
- Pasul 4. Reglarea debitului.
- Pasul 5. Stabilizarea sistemului (aprox. 1 saptămână).
- Pasul 6. Monitorizarea parametrilor de testare.

Parametrii monitorizați:

- temperatura de intrare și de ieșire a apei din colectorul solar termic: T_{in}, T_{out};
- temperatura agentului termic în boiler, T_b;
- temperatura aerului în mediul exterior, Ta;
- intensitatea radiației solare directe (B) și difuze în planul orizontal (D_h);
- debitul agentului termic, m;
- presiunea din circuitul solar, p.

Etape ale testarii

Testarea outdoor depinde de condițiile meteo din ziua respectivă. Pentru a obține eficiența maximă a CST este necesar ca testarea să se desfășoare pe perioada unor zile cu cer senin, când colectorul poate primi radiație directă de la soare. Deci, față de testarea indoor, testarea outdoor se desfășoară pe perioadă mai lungă de timp.

Pentru a obține aceleași diferențe de temperatură folosite în testarea indoor se definesc următoarele etape în testarea colectorului:

- Pentru ΔT =0°C, când T_a ≈20°C, T_{in}= T_{out}, sistemul este lăsat să funcționeze timp de o săptămână, perioadă în care este urmărită starea vremii, deoarece este necesară una sau mai multe zile cu cer senin, pentru un test valid.
- 2. Se pregătește sistemul pentru treapta a doua de temperatura, pentru ΔT = 10°C. Dacă se menține T_a ≈20°C, atunci temperatura fluidului la intrarea în colector trebuie să crească cu 10°C. Se pornește rezistența electrică a boilerului și se încălzește agentul termic din boiler cu 10 °C. Când temperatura din boiler a atins valoarea dorită, rezistența și termostatul se opresc. Sistemul este lăsat din nou să se stabilizeze. Perioada de stabilizare și de încălzire a agentului termic de către colector depinde de asemenea de condițiile meteo, fiind necesare mai multe zile senine. După obținerea rezultatelor se trece la etapa a 3-a.
- 3. Se repeta procedura până sunt efectuate testele pentru toate treptele de temperatură.
- 4. Datele parametrilor monitorizați sunt apoi în vederea obținerii valorilor eficienței colectorului solar termic.





Fig.4.11. Schema standului de testare outdoor







b.

Fig. 4.12. Detalii ale standul de testare și elementele componente:a.Localizarea standului de testare în interiorul Laboratorului L7; b. Circuitul standului de testare și elementele componente.



Pentru a calcula eficiența colectoarelor solar termice în plan vertical, este necesar calculul intensității radiației solare globale în același plan (în Fig. 4.13) cu ajutorul căreia se calculează puterea solară de intrare, iar cu ajutorul parametrilor monitorizați ai agentului termic se calculează puterea termică de ieșire.

Astfel, pentru colectorul solar termic triunghiular cu absorber negru se obține după testarea outdoor o eficiență nominalăde 65.5%, variația poate fi observată grafic în figura 4.14. În același mod s-a procedat și pentru obținerea eficienței colectorului solar termic cu absorber roșu, rezultând o eficiență nominală de 45.25% (Figura 4.15).







Fig. 4.14. Eficiența colectorului solar termic triunghiular negru după testarea outdoor



Fig. 4.15. Eficiența colectorului solar termic triunghiular rosu după testarea outdoor



Compararea eficienței rezultată outdoor vs simulare numerică outdoor

Comparând rezultatele experimentale outdoor și calculele numerice efectuate pentru a simula testarea outdoor, a rezultat o diferență dată de eroarea relativă; diferența se datorează condițiile diferite de mediu, intensității radiației solare variabile și absorbanța diferită pentru cele două culori ale plăcii absorbante.

Se obțin rezultatele conform Fig. 16 și Fig. 17.: eficiența maximă (nominală) a colectorului solar termic cu absorber negru de **65.5 %**, iar pentru cel cu absorber roșu este de **45.25 %**, reprezentând o eroarea relativă de **9.9 %** pentru colectorul cu absorber negru și **3.75 %** pentru colectorul cu absorber roșu





Fig. 4.16. Compararea rezultatelor eficienței obținute pentru CST <u>negru</u> outdoor - simulare

Fig. 4.17. Compararea rezultatelor eficienței obținute pentru CST rosu outdoor – simulare

Compararea rezultatelor indoor vs outdoor vs simulările numerice

Rezultatele experimentale sunt comparate cu simulările numerice după modelul Duffie&Backman, dar și după formula η(a,b). Interpretarea grafică este disponibilă în Fig. 4.18 pentru colectorul negru și Fig. 4.19 pentru colectorul roșu.

Pentru ambele teste, simulările efectuate au valori mai mari decât rezultatele reale, deoarece condițiile reale de testare sunt diferite decât modelul considerat ideal în simulare. Simulările numerice pot fi ajustate folosind coeficienții de absorbție rezultați din compararerea rezultatelor experimentale vs simulare, în vederea obținerii unor simulări numerice mai apropiate de modelul real.



Astfel modelul matematic poate fi ajustat în vederea obținerii eficienșei colectoarelor solar termice plan plate de diferite culori, simulările depinzînd foarte mult de coeficientul de absorbție al fiecărei culori în parte.



Fig. 4.18. Compararea rezultatelor eficienței obținute in/outdoor vs simulări pentru CST



Fig. 4.19. Compararea rezultatelor eficienței obținute in/outdoor vs simulări pentru CST roșu

Coeficienții "a" și "b" din formula simulării matematice adaptate, sunt preluați din formula de gradul I rezultată în urma reprezentării grafice a eficienței outdoor sub forma funcției de gradul I. Astfel, din eficiența nominală rezultă:

η _{in_N} y = -0.8776x + 75.35	=>	a=75.35/100 =0.753
$\eta_{t in_R} y = -0.8396x + 42.605$	=>	a= 42.605/100 =0.426
η _{out_N} y = -0.6514x + 65.513	=>	a= 65.513/100 =0.655
η _{out_R} y = -0.6555x + 45.245	=>	a= 45.25/100 =0.452

Știind că $a=\alpha\tau F_R$, prin împărțirea coeficientului ,,a'' la (τF_R) rezultă cei doi coeficienți de absorbție:

- în cazul indoor, pentru colectorul negru, constanta "a" din testarea outdoor este
 0.753, de unde rezultă un coeficient de absorbție de 0.98; în cazul colectorului
 roșu, constanta "a" din testarea outdoor este 0.426, de unde rezulta un
 coeficient de absorbție de 0.54.
- în cazul outdoor, pentru colectorul negru, constanta "a" din testarea outdoor este 0.655, de unde rezultă un coeficient de absorbție de 0.85; în cazul



colectorului roșu, constanta "a" din testarea outdoor este 0.452, de unde rezulta un coeficient de absorbție de 0.57.

Prin urmare din testarea outdoor rezultă absorbanța colectoarelor de 85% pentru negru, respectiv 57% pentru roșu, iar din testarea indoor reies: 97% pentru negru, respectiv 54% pentru roșu. Amintind faptul că simulările numerice au fost realizate pentru 95% absorbție a culorii negre și 60% a culorii roșie, erorile pot fi ajustate prin actualizarea calculelor pentru valorile absorbanței rezultate în urma comparării testelor cu simulările.

Sumarizarea rezultatelor este disponibilă în tabelul 4.2. Se calculează eroarea relativă a simulării numerice Duffie&Backman vs testare, respectiv eroarea de calcul între cele două simulări.



Testare indoor vs simulări						
CST_Negru		CST_Roșu				
η _{tin_N}	75.35	η _{tin_R}	42.6			
η _{sin_N}	73.14	η s in_R	47.004			
η (a,b) in_N	73.21	ኻ (a,b) in_R	47.04			
RE(η t in_N vs η s in_N)[%]	3.02	RE(η t in_R vs η s in_R)[%]	9.37			
RE(η s in_N vs η (a,b) in_N)[%]	0.09	RE(η _{s in_R vs} η _{(a,b) in_R})[%]	0.08			
	Testare outdo	oor vs simulări				
CST_Negru		CST_Roșu				
η t out_N	65.51	ካ t out_R	45.25			
ຐ s out_N	72.75	ពុ s out_R	47.01			
η (a,b) out_N	73.005	η (a,b) out_R	47.306			
RE(η t out_N vs η s out_N)[%]	9.94	RE(η t out_R vs η s out_R)[%]	3.75			
RE(η s out_N vs η (a,b) out_N)[%]	0.36	RE(η _{s out_R vs} η _{(a,b) out_R})[%]	0.63			

Tabelul 4.2. Sumarizarea rezultatelor testărilor vs simulările numerice

Pentru ambele teste, simulările efectuate au valori mai mari decât rezultatele reale, deoarece condițiile reale de testare sunt diferite decât modelul considerat ideal în simulare. Simulările numerice pot fi ajustate folosind coeficienții de absorbție rezultați din compararerea rezultatelor experimentale vs simulare, în vederea obținerii unor simulări numerice mai apropiate de modelul real.

Astfel modelul matematic poate fi ajustat în vederea obținerii eficienșei colectoarelor solar termice plan plate de diferite culori, simulările depinzînd foarte mult de coeficientul de absorbție al fiecărei culori în parte.



5. Concluzii finale. Contribuții originale. Diseminarea rezultatelor. Direcții viitoare.

În continuare sunt prezentate principalele concluzii ale cercetării desfășurate, contribuții originale aduse prin această teză, diseminarea rezultatelor obținute și posibile direcții viitoare

5.1. Concluzii finale

Principalele concluzii pentru dezvoltarea și implementarea colectoarelor de diverse forme și culori în mediul construit pentru a asigura necesarul de energie termică și creșterea acceptanței arhitecturale sunt următoarele:

- a. Creșterea cantității de energie termică produsă de sistemele amplasate pe clădiri (fațade și acoperișuri) impune utilizarea de colectoare solar termice neconvenționale de forme și culori diferite.
- b. Colectoarele triunghiulare și cele de tip trapez reprezintă o soluție fezabilă în acest context.
- c. Totodată prin culori diferite se poate asigura și acceptanța arhitecturală corespunzătoare.
- d. Sistemele formate din CST de tip triunghi și trapez permit utilizarea acestora la o mare diversitate de clădiri (clădiri rezidențiale, blocuri de locuit, clădiri administrative, clădiri de patrimoniu), de configurații de fațade și acoperișuri.
- e. Structurile identificate pot fi aplicate ca reprezentări stilizate ale diverselor imagini artistice sau ca efect 3D simulat pe fațadele clădirilor ceea ce crește acceptanța arhitecturală.
- f. Parametrii principali și dimensiunile optime ale colectorului triunghiular echilateral pentru o anumită tipodimensiune au rezultat în urma studiului asupra pierderilor termice și a factorilor care le influentează.
- g. Mărimea pierderilor termice totale, a factorului de extracție a căldurii și a produsului transmitanța sticlei- absorbanța culorii absorberului au condus la o formulă simplă de calcul a eficienței CST triunghiular cu serpentină. Formula poate fi dezvoltată pentru diverse tipodimensiuni și culori de CST triunghiulare.
- h. Eroarea dintre eficiența CST calculată cu cele două metode (Duffie&Backman vs. formula propusă) este nesemnificativă, sub 1%.
- i. Rezultatele teoretice au fost validate de testarea experimentală indoor și outdoor a CST triunghiulare negru și roșu prin adaptarea standurilor existente în Centrul de Cercetare RESREC.



- j. Eficiențele nominale calculate și determinate experimental se încadrează în următoarele limite: pentru CST negru eficiența calculată este de 73 %, iar pentru CST roșu eficiența este de 47%.
- k. Testarea indoor la radiație constantă de 950 W/m2 a dus la eficiența nominală de 75.34% pentru CST negru și respectiv 42.6 % pentru CST roșu, deci valori sensibil egale cu cele obținute prin calcul.
- I. Testarea outdoor în condiții reale și de cer senin la radiația medie a intervalului median al zilelor considerate (o radiație medie de 750 W/m2) a dus la eficiența nominală de 65.5% pentru CST negru și respectiv 45.25% pentru CST roșu. Diferențele mai mari dintre eficiențele calculate și cele obținute outdoor se explică prin condițiile meteo diverse comparativ cu testarea indoor.
- m. Ca urmare, rezultatele obținute prin calcul au fost validate de testările indoor și outdoor cu erori relative de sub 10%.
- n. CST triunghiular optim proiectat și testat experimental poate fi trecut pentru faza de prototip în vederea transferului tehnologic spre mediul economic.

5.2. Contribuții originale

Contribuțiile originale aduse prin această teză privind creșterea cantității de energie termică și acceptanții arhitecturale prin dezvoltarea și utilizarea colectoarelor solar termice de forme neconvenționale și culori diferite sunt după cum urmează:

- a. Analiza detaliată a sistemelor de producere a energiei termice în mediul construit.
- b. Conceperea, dezvoltarea și optimizarea colectorului triunghiular echilateral cu serpentină interioară.
- c. Identificarea tuturor subansamblelor formate din două sau trei CST .
- d. Utilizarea subansamblelor pentru obținerea unor forme complexe a unor imagini stilizate sau simularea efectului 3D în mediul construit pentru fațadele și acoperișurile clădirilor.
- e. Calculul numeric al influenței parametrilor constructivi ai colectorului triunghiular.
- f. Simplificarea relației de calcul a eficienței nominale.
- g. Proiectarea dimensională și construirea a colectorului solar triunghiular optim cu serpentină.



- h. Testarea indoor și outdoor prin adaptarea standurilor existente.
- i. Validarea modelelor de coelctoare solar termice triunghiulare echilaterale propuse in aceasta teza.

5.3. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetării efectuate au fost valorificate după cum urmează:

- a. Publicarea a 3 lucrări științifice:
- Rusea, I., Moldovan, M., Vişa, I., "Novel Pseudo 3D Design of Solar Thermal Facades with Triangle and Trapeze Solar Thermal Collectors for Increased Architectural Acceptance", Springer - Mechanisms and Machine Science, vol.134, p.27-36, Proceedings of I4SDG Workshop2023 IFToMM for Sustainable Development Goals 2023.
- Moldovan, M., Rusea, I., Vişa, I., "Optimising the thickness of the water layer in a triangle solar thermal collector, Renewable Energy, Vol. 173, pp 381-388, 2021 (IF 8.7)
- 3. Moldovan, M., Vişa, I., Rusea, I. D., *The influence of the Solar Thermal Collectors integrated into the building facade on the building thermal energy demand across Europe* ", Journal of Science and Art, Vol. 1, No. 50, pp 203-214, 2020.
- 4. Rusea, I. D., Moldovan, M., Vişa, I.,,,*Test and Simulation of efficiency of triangle solar thermal collectors with internal serpentine* ", 7th edition of the Conference for Sustainable Energy, CSE 2023, în Brasov. (propus spre publicare la Renewable Energy journal)

b. Participarea la conferințe naționale și internaționale:

1. Conference for Sustainable Energy, Braşov, CSE 2023

5.4. Direcții viitoare

Rezultatele obținute prin cercetarea științifică desfășurată deschid noi direcții în domeniul concepției, dezvoltării și implementării colectoarelor solar ttermice triunghiulare echilaterale cu serpentină interioară și a ansamblurilor formate de acestea cu colectoarele similare de tip trapez. Dintre acestea :

- a. Dezvoltarea și testarea de colectoare cu absorbere de mai multe culori.
- b. Folosirea absorbanței și transmitanței CST rezultate prin determinare experimentală în calculul eficienței nominale a CST și testarea indoor și outdoor a acestora.



- c. Dezvoltarea de noi tipodimensiuni de colectoare triunghiulare echilaterale cu serpentină și studiul acestora prin calcul și cercetări experimentale indoor și outdoor, pentru generalizarea metodei de calcul a eficienței nominale propusă în lucrare.
- d. Dezvoltarea de noi tipuri de CST neconvenționale (de ex. de formă triunghi/ trapez dreptunghic) care să asigure un grad mai mare de reproducere a diverselor modele.
- e. Dezvoltarea și studiul ansamblurilor de două colectoare de tip triunghi trapez și optimizarea acestora pentru dezvolatarea de produse prototip transferabile mediului economic



Bibliografie (Selecție)

- 17. Duffie J., Backman W., *"Solar Engineering of Thermal Proces Ediția a IV-a"*, Wisconsin-Madison: Wiley, 2006
- 27. Hill Jamie.E., Kusuda T., *"Method of testing for rating solar collectors based on thermal performance"*, Washington, D.C: Center of building technology national Bureau of standards, 1974
- 28. Isac Luminita, Panait Ramona, Enesca Alexandru, Bogatu Cristina, Perniu Dana, Duta Anca, *"Development of Black and Red Absorber Coatings for Solar Thermal Collectors"*, Conference on Sustainable Energy, 2017
- 31. Kalogirou S., Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., *"Modeling and Simulation of Solar Systems Employing Collectors with Colored Absorber."* Research Gate, 2017
- 32. Kalogirou A.S., *"Solar Energy Engineering"*, Processes and Systems, Academic Press, Elsevier, USA, 2009
- 33. Kalogirou S., Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., *"Performance of solar systems employing collectors with colored absorber,"* Energy and Buildings, vol. 37., p.824-835, 2005
- 41. Moldovan Macedon, Vișa Ion, **Rusea Ioana Denisa**, *"The influence of theSolar Thermal Collectors integrated into the building facade on the building thermal energy demand across Europe"*, Journal of Science and Art, Josa, 2020
- 42. Moldovan, M., **Rusea**, I., Vişa , I., *"Optimising the thickness of the water layer in a triangle solar thermal collector"*, Renewable Energy, Vol. 173, pp 381-388, 2021
- 49. Probst Munari Maria Cristina, Roecker Christian, *"From Thermal Collectors Integration to Active Façade Systems."*, PLEA2007 The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Singapore, 2007
- 53. **Rusea**, I., Moldovan, M., Vișa , I., *Novel Pseudo 3D Design of Solar Thermal Facades with Triangle and Trapeze Solar Thermal Collectors for Increased Architectural Acceptance*, 2023
- 64. Vișa et al. , *"System of modular polygonal planar solar panels for integration into facades"* , Patent proposal no. A/00156 / 18.02.2013
- 65. Vișa Ion, Comsit Mihai, Duta Anca, *"Urban acceptance of facade integrated novel solar thermal collectors"*, Energy Procedia 48 p.1429 1435, 2014
- 66. Vişa Ion, Duta Anca, Comsit Mihai, Moldovan Macedon, Ciobanu Daniela, Saulescu Radu, Burduhos Bogdan, "Design and experimental optimisation of a novel flat plate solar thermal collector with trapezoidal shape for facades integration", Applied Thermal Engineering, 2015
- 67. Vişa I., Jaliu C., Duță A., Neagoe M., Comşiţ M., Moldovan M., Ciobanu D., Burduhos
 B., Săulescu R. Braşov. *"The Role of Mechanisms in Sustainable Energy Systems"*, Editura Universității Transilvania din Braşov, Braşov, 2015
- 68. Vișa, Ion, Anca Duta. "Innovative Solutions for Solar Thermal Systems Implemented in Buildings." Energy Procedia, Volume 85, January 2016.
- 69. Vișa Ion, Moldovan Macedon, Comsit Mihai, Neagoe Mircea, Duta Anca, *"Facades integrated solar-thermal collectors challenges and solutions"*, Energy Procedia 112 p.176 185, 2017
- 70. Vişa, Ion, Anca Duta. "*Nearly Zero Energy Communities.*" Proceedings of the Conference for Sustainable Energy (CSE), Springer, 2017.