



Universitatea
Ștefan cel Mare
Suceava

ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE ȘI INGINEREȘTI

Domeniu: Inginerie Electrică

Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA ȘI DEZVOLTAREA UNOR SISTEME SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Teză de doctorat

Rezumat

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. univ. dr. ing. Laurențiu Dan MILICI

DOCTORAND:

Drd. Ing. Visarion - Cătălin IFRIM

SUCEAVA

2025

MULȚUMIRI

În finalul acestui demers academic, doresc să exprim profunda recunoștință față de toți cei care au contribuit la realizarea acestei teze de doctorat, oferindu-mi îndrumare, sprijin și încurajare.

Adresez mulțumiri deosebite domnului prof. univ. dr. ing. Laurențiu Dan MILICI, îndrumătorul meu, pentru expertiza oferită, pentru răbdarea și pentru îndrumarea valoroasă care a fost esențială în dezvoltarea acestei cercetări. Profesionalismul și dedicarea sa au avut un impact semnificativ asupra parcursului meu academic.

De asemenea, sunt profund recunoscător comisiei de îndrumare, formată din doamna conf. univ. dr. ing. Daniela IRIMIA, domnul conf. univ. dr. ing. Pavel ATĂNĂSOAE și domnul prof. univ. dr. ing. Radu Dumitru PENTIUC, ale căror observații, sugestii și recomandări au contribuit substanțial la îmbunătățirea și clarificarea acestei lucrări. Implicarea lor a fost esențială în consolidarea direcției de cercetare și în dezvoltarea unor soluții inovatoare. Apreciez sprijinul și colaborarea colegilor din Departamentul de Inginerie Electrică, colegilor din cadrul Centrului de cercetare în domeniul mașini, aparate și acționări electrice EMAD și a colegilor Laboratorului de inventică și transfer tehnologic INVENTRANSFER din cadrul Universității Ștefan cel Mare din Suceava, alături de care am avut oportunitatea de a împărtăși idei, experiențe și rezultate ale cercetării. Dialogurile purtate și susținerea colegială au fost de neprețuit în acest proces de învățare și dezvoltare.

Cu recunoștință și respect, doresc să adresez mulțumiri comisiei finale de susținere a tezei de doctorat, alcătuită din domnul prof. univ. dr. Mihai DIMIAN, domnului prof. univ. dr. ing. Călin MUNTEANU, domnului prof. univ. dr. ing. Romeo Dorin BICĂ și domnului conf. univ. dr. ing. Cezar Dumitru POPA, pentru analiza atentă, îndrumarea și contribuțiile valoroase oferite pe parcursul procesului de evaluare. Expertiza și profesionalismul dumneavoastră au avut un impact profund asupra dezvoltării mele academice, iar observațiile și recomandările primite vor rămâne un ghid prețios în activitatea mea viitoare.

Nu în ultimul rând, adresez cele mai calde mulțumiri familiei mele, pentru răbdarea, înțelegerea și sprijinul necondiționat oferit pe parcursul acestui drum. Fără încrederea și motivația insuflată de ei, acest proiect nu ar fi fost posibil. Le mulțumesc, de asemenea, colegilor de muncă, pentru înțelegere și susținere, pentru flexibilitatea acordată și pentru încurajările constante care au făcut această călătorie mai ușoară.

Această teză este rezultatul unui efort comun, iar fiecare persoană menționată a avut un rol esențial în parcursul meu academic. Le sunt profund recunoscător tuturor.

Cu respect și apreciere,
Visarion Catalin, IFRIM

CUPRINS

SINTEZĂ	5
INTRODUCERE	9
Capitolul I	13
SISTEME SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD	13
1.1 Analiza literaturii în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald	13
1.1.1 Materialul utilizat pentru acoperirea panoului	15
1.1.2 Materialul suprafeței de absorbție a radiației solare.....	16
1.1.3 Forma suprafeței de absorbție a radiației solare.....	17
1.1.4 Modificări aduse pasajelor de aer	18
1.1.5 Tipul fluxului de aer.....	20
1.1.6 Sisteme hibride	21
1.1.7 Aplicații ale sistemelor solare de încălzire cu aer	22
1.2 Concluzii	23
1.3 Perspective de viitor	24
Capitolul II	25
CONTRIBUȚII PRIVIND MONITORIZAREA, MODELAREA ȘI SIMULAREA SISTEMELOR SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD.....	25
2.1 Analiză bibliometrică a sistemelor solare de încălzire cu aer cald ..	25
2.1.1 Analiza sistemelor solare cu ajutorul hărților bibliometrice ..	26
2.1.2 Analiza bibliometrică a sistemelor de tip SAH.....	29
2.1.3 Concluzii.....	31
2.1.4 Perspective de viitor.....	31
2.2 Necesarul de căldură pentru conturul considerat.....	31
2.2.1 Parametrii sistemelor solare de încălzire cu aer cald	32
2.2.2 Calculul necesarului de căldură	33
2.3 Monitorizarea și achiziția datelor pentru un panou solar de încălzire cu aer.....	36
2.3.1 Sistem de monitorizare a SAH realizat cu LabVIEW	39
2.3.2 Rezultate obținute cu NI USB 6001 și LabVIEW.....	40
2.3.3 Sistem de monitorizare a SAH realizat cu Graphtec GL200..	41

2.3.4	Rezultate obținute cu Graphtec Midi Logger GL200.....	43
2.4	Modelarea și simularea unui panou solar de încălzire cu aer cald..	45
2.4.1	Modelarea și simularea panoului considerat	45
2.4.2	Rezultate	46
2.5	Discuții	47
2.6	Concluzii	48
Capitolul III		49
CONTRIBUȚII PRIVIND NOI TIPURI DE SISTEME SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD		49
3.1	Sistem solar hibrid cu ajustare automată	50
3.2	Analiza performanței termice a unui panou solar de încălzire cu aer cald cu surse suplimentare de căldură	51
3.3	Modelarea și simularea unui panou solar de încălzire cu aer cald cu surse suplimentare de căldură.....	53
3.3.1.	Modelarea și simularea panoului considerat	54
3.3.2.	Rezultate	55
3.3.3.	Discuții.....	58
3.4	Sistem solar de încălzire a bateriilor integrat în plafonul unui autovehicul	59
3.5	Sistem pentru aerisire și ventilare.....	61
3.6	Concluzii	62
Capitolul IV		63
CONCLUZII FINALE		63
4.1.	Contribuții personale ale autorului.....	65
4.2.	Perspective de dezvoltare viitoare	67
ACTIVITATE ȘTIINȚIFICĂ.....		69
BIBLIOGRAFIE		71

SINTEZĂ

Această lucrare prezintă elemente și contribuții cu privire la panourile și sistemele solare de încălzire cu aer cald, fiind structurată în stadiul actual de dezvoltare a sistemelor solare de încălzire cu aer cald, contribuții privind studierea panourilor de încălzire cu aer cald, contribuții în domeniul monitorizării unui panou ce produce energie termică, contribuții privind posibilitatea de eficientizare a energiei termice produsă de panourile solare de încălzire cu aer și contribuții privind dezvoltarea arhitecturii panourilor solare de încălzire cu aer cald cu implicare în încălzirea încăperilor și reducerea pierderilor și menținerea încărcării bateriilor autovehiculelor electrice și hibride în procesul de încărcare, alimentare și utilizare. Sistemele solare de încălzire cu aer cald sunt o componentă principală și importantă a domeniului energiei solare. Echipamentele sunt capabile să capteze această energie și să o transforme la nivelul suprafeței de absorbție în energie termică care, la rândul său, poate fi transferată unui flux de aer, care curge prin panoul de încălzire cu aer cald. Acest tip de sisteme sunt utilizate în aplicațiile în care este nevoie de căldură pentru uscarea unor diferite produse agricole, încălzirea clădirilor, industria textilă, desalinizarea apei, industria produselor marine.

Bibliometria este utilizată pentru a obține analize cantitative în domeniul literaturii academice și reprezintă analiza statistică a unor publicații pe diferite direcții de cercetare. Folosirea analizei bibliometrice ajută la înțelegerea structurilor și cunoștințelor dintr-un anumit domeniu de cercetare și reprezintă un start în realizarea unei publicații pentru cercetătorii la început de drum. Dezvoltarea sistemelor solare de încălzire cu aer va avea, cu siguranță, o contribuție tot mai importantă la conservarea energiei și va sprijini un mediu sustenabil.

Capitolul 1 prezintă stadiul actual în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald (SAH) considerând un număr mare de articole publicate în această arie științifică. Informațiile utilizate și analizate au fost culese din 1.355 de articole reprezentând numărul total de publicații din domeniul sistemelor solare termice de încălzire, unde s-a întâlnit termenul de „solar air heater” este cel puțin o dată în baza de date Web of Science (WoS). Datele utilizate au fost obținute din baza de date Web of

Science în perioada 13 – 28 februarie 2022. După examinarea și analiza individuală a 1.355 de articole, 250 de articole au fost selectate pentru această cercetare. Articolele care nu au fost considerate în studiu au tratat aceleași subiecte sau nu puteau fi parte din studiul realizat deși fac parte din domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald. Clasificarea principală a sistemelor solare de încălzire cu aer cald realizată cu ajutorul articolelor selectate face referire la: materialul care acoperă panoul, materialul suprafeței de absorbție a radiației solare, forma suprafeței de absorbție a razelor solare, modificări aduse pasajelor de aer, tipul fluxului de aer, utilizarea panourilor solare de încălzire cu aer cald în sisteme hibride și aplicațiile posibile ce permit integrarea acestor sisteme. Pentru fiecare clasificare prezentată sistemele analizate sunt împărțite în mai multe ramuri, în funcție de metodele alese de cercetători pentru îmbunătățirea performanțelor acestor sisteme energetice. Performanțele panourilor solare de încălzire cu aer cald depind de parametrii mediului înconjurător cum sunt temperatura atmosferică și radiația solară dar și de modul de construcție al acestora. Astfel, pentru fiecare ramură, studiul prezintă și lucrarea aferentă. Totodată, pentru fiecare sistem analizat și prezentat, variația diferiților parametri joacă un rol important pe măsură ce eficiențele termică, exergetică, energetică și efectivă sunt îmbunătățite.

Monitorizarea panourilor solare de încălzire cu aer cald concentrându-se asupra analizei bibliometrice, calculului necesarului de căldură pentru conturul aferent instalării panoului precum și monitorizarea și achiziția datelor parametrilor vitali funcționării optime a unui sistem solar de încălzire cu aer cu ajutorul unor dispozitive de măsurare și a unei interfețe de comunicare este prezentată în **Capitolul 2**. Studiul bibliometric a fost realizat utilizând baza de date „Web of Science” pentru analiza articolelor științifice publicate în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald. Articolele analizate prin graficele prezentate în acest studiu reprezintă toate publicații în care s-a întâlnit cel puțin o dată cuvintele „solar air heater”. De asemenea utilizând baza de date „Web of Science”, studiul bibliometric include și analiza articolelor științifice în domeniul sistemelor solare. Articolele analizate în acest studiu fac parte din cele mai citate publicații în care s-a întâlnit cel puțin o dată cuvintele „solar systems” și sunt prezentate sub formă de grafice. Analiza bibliometrică realizată în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald oferă informații despre evoluția sau involuția publicațiilor în domeniu; tendința în care s-a îndreptat atenția cercetătorilor în perioada de timp considerată; viziunea amplă asupra studiului capacităților și performanțelor acestor echipamente precum și o înțelegere a structurii cunoștințelor de bază în acest domeniu. Calculul necesarului de căldură pentru conturul considerat reprezintă un pas important în proiectarea și

optimizarea sistemelor de încălzire. Obiectivul principal al acestui calcul este de a stabili cantitatea de energie termică necesară pentru a menține o temperatură interioară confortabilă în spațiul analizat. Sistemele de monitorizare a echipamentelor solare de încălzire cu aer oferă suport pentru o varietate de parametri: radiația solară, temperatură, presiune, debit, indicatori de stare, vibrații, etc., prin utilizarea traductoarelor. Achiziția datelor s-a realizat în două moduri: cu ajutorul unui sistem de achiziții NI USB 6001 conectat la computer utilizând o aplicație LabVIEW și cu ajutorul echipamentului data-logger Graphtec Midi Logger GL200. Datele achiziționate sunt prezentate sub formă de tabele cu valori medii și sub formă de grafice realizate pentru toată perioada înregistrată. Totodată capitolul 2 analizează un panou solar de încălzire cu aer cald prin modelare și simulare utilizând metoda dinamicii fluidelor computaționale (CFD). A fost utilizat un software pentru a genera soluții numerice, iar calculele au fost efectuate folosind metoda elementului finit. Modelele analizate și diferențele dintre acestea se referă la panoul solar de încălzire cu aer cald cu o priză de intrare a aerului și o priză de ieșire, situate pe suprafața de absorbție (model 1); panou solar de încălzire cu aer cald cu prize multiple de intrare a aerului și o priză de ieșire situate pe suprafața de absorbție (model 2); panou solar de încălzire cu aer cald cu o priză de intrare a aerului și o priză de ieșire situate în partea de sus respectiv de jos a panoului (model 3). Totodată pentru fiecare model s-au utilizat trei materiale diferite pentru construcția suprafeței de absorbție și anume: pâslă, aluminiu și cupru. Elementele constructive ale modelelor realizate vizează geometria panoului, rețeaua de discretizare a panoului și descrierea matematică. Pentru modelele propuse, lucrarea evidențiază prin imagini, distribuția temperaturii pe suprafața de absorbție și în contur, cu cele mai ridicate temperaturi în roșu și cele mai scăzute temperaturi în albastru. Se poate observa distribuția temperaturii destul de diferită pentru cele trei materiale. De asemenea s-a analizat distribuția temperaturii pe suprafața absorbantă a panoului solar de încălzire cu aer cald realizat din diferite materiale, și anume pâslă, aluminiu și cupru este prezentată.

Capitolul 3 prezintă un sistem solar hibrid cu ajustare automată, ce reprezintă un ansamblu tehnologic avansat, proiectat să optimizeze captarea și conversia energiei solare printr-un mecanism de ajustare automată. Acest sistem inovator permite transformarea energiei solare atât în energie electrică, cât și în energie termică, în mod simultan, integrând o schimbare autonomă a configurării sale pentru a se adapta optim condițiilor de mediu. De asemenea capitolul analizează performanțele termice ale unui panou solar de încălzire cu aer cald proiectat, construit și având în componență trei surse de căldură în comparație cu un panou solar de încălzire cu aer cald achiziționat, în

aceleași condiții de funcționare. Un panou solar de încălzire cu aer cald îmbunătățit, cu o eficiență termică suplimentară, este conceput pentru a optimiza conversia energiei solare în energie termică utilizabilă, crescând astfel performanța și eficiența generală a sistemului. În ceea ce privește structura panoului solar de încălzire, acesta integrează o suprafață de absorbție realizată din tablă vopsită în negru, pentru a crește proprietățile sale termice. Modelul inteligent cuprinde găuri de admisie și păslă specială, care joacă un rol esențial în captarea și retenția eficientă a radiației solare. Capitolul 3, de asemenea, prezintă și analizează modelarea și simularea unui panou solar de încălzire cu aer cald proiectat, având în componență trei surse de căldură, utilizând metoda dinamicii fluidelor computaționale (CFD).

Invenția „Sistem solar de încălzire pentru menținerea încălzirii bateriilor” utilizează un panou solar hibrid (termic și fotovoltaic) integrat în plafonul unui autovehicul, pentru a transforma radiația solară în energie termică și electrică este descrisă tot în Capitolul 3. Acesta are în componență un acumulator de energie termică și un generator de energie electrică, ambele menținute în condiții optime prin alimentare electrică continuă și convecție termică controlată. Totodată Capitolul 3 prezintă invenția denumită „Sistem pentru aerisire și ventilare”. Această invenție reprezintă o abordare inovatoare în domeniul soluționării problemelor tehnice, punând accent pe integrarea inteligentă a elementelor de acționare termo-mecanice. Funcționarea lor se bazează pe principiul memoriei de formă, activată bidirecțional, ceea ce elimină necesitatea unei alimentări electrice suplimentare, sporind astfel eficiența energetică și sustenabilitatea. Această soluție tehnologică versatilă găsește aplicații practice atât în procesele de aerisire, cât și în cele de ventilare, contribuind la remedierea dezechilibrelor funcționale ce pot apărea la nivelul clapetelor de aerisire sau al paletelor de ventilare.

Capitolul 4 oferă o analiză cuprinzătoare a concluziilor finale desprinse din studiul realizat asupra sistemelor solare de încălzire cu aer cald. În această secțiune sunt evidențiate atât rezultatele obținute în urma cercetării, cât și impactul îmbunătățirilor aduse panourilor asupra eficienței energetice. Totodată, capitolul subliniază contribuțiile originale ale autorului și propune direcții de dezvoltare viitoare, evidențiind potențialul de optimizare al tehnologiilor pnourilor solare de încălzire cu aer cald.

Lucrarea se încheie cu o bibliografie și o listă a publicațiilor autorului prin care au fost diseminate rezultatele cercetărilor.

INTRODUCERE

Panourile de încălzire cu aer cald sunt echipamente ce utilizează energia solară pentru a produce energie termică, utilizând principiul efectului de seră. Tehnologia utilizată în acest tip de panouri este simplă dar eficientă în captarea radiației solare și transformarea acesteia în energie termică utilizabilă [1], [2], [3]. Echipamentele valorifică puterea soarelui prin furnizarea unei energii termice curate și regenerabile. Sistemele solare de încălzire cu aer cald sunt sisteme care oferă posibilitatea exploatării energiei solare sub formă de energie termică, care poate fi utilizată ulterior pentru încălzirea spațiilor rezidențiale și comerciale. De asemenea, colectoarele energiei solare sunt potrivite pentru uscarea diferitelor produse agricole [4] și în combinație cu un sistem de circulație a apei, pot contribui la încălzirea apei menajere [5].

Având în vedere creșterea populației într-un ritm rapid, cererea globală tot mai mare de energie devine o preocupare importantă, atât pentru utilizarea de noi modalități de obținere a energiei curate și inepuizabile, dar și pentru protecția mediului. Utilizarea energiei solare a crescut semnificativ în acest secol, în ultimele două decenii, prin cererea pe scară largă de sisteme fotovoltaice și termice. Utilizarea energiei solare a crescut în zonele cu temperaturi mai ridicate, în special în regiunile deșertice. Unul dintre sistemele de valorificare a energiei solare prin energie termică este panoul solar care încălzește aerul [1]. Panourile solare termice sunt cunoscute pentru modul lor stabil de conversie a energiei solare în energie termică. Colectoarele solare sunt echipamente cunoscute ca parte integrată a sistemelor termice. Schimbătorul termic utilizat în sistemele solare de încălzire cu aer este aplicabil în diverse domenii, dar cel mai frecvent pentru uscarea culturilor și încălzirea spațiului locuibil sau comercial [6], [7].

Componentele principale ale unui panou solar de încălzire cu aer cald fac referire la trei materiale: un material care absoarbe energia solară, un material transparent, sticlă sau plexiglas, care permite trecerea fluxului de aer între el și materialul ce absoarbe razele solare și un strat de izolație pe spatele panoului care reduce pierderile de căldură. Toate acestea sunt

integrate într-un cadru ergonomic de metal împreună cu unu sau două ventilatoare ce asigură fluxul de aer prin panou. Pentru a capta cât mai multă energie solară panourile se instalează cu fața spre soare, spre sud. Astfel, funcționarea panourilor solare de încălzire cu aer cald se referă la radiația solară incidentă pe panou, captată și convertită în energie termică de suprafața de absorbție, energie preluată de fluidul ce curge prin echipament. Eficiența panourilor este dată de capacitatea de transfer a energiei termice la suprafața de absorbție la fluxul de aer ce străbate panoul. Modelul unui panou solar de încălzire cu aer și a părților sale integrate sunt prezentate în Figura 1 [8], [9].

Ideea de a utiliza energia solară pentru a produce căldură sau energie termică nu este un concept nou, aceasta a captivat cercetătorii de secole. Deși utilizarea panourilor solare de încălzire cu aer cald nu este documentată decât pe la sfârșitul secolului XVIII rădăcinile acestora datează din timpul civilizației antice din Egipt, Grecia și a imperiului Roman. Dovezile sugerează că civilizațiile timpurii din Egipt, Grecia și Roma au folosit principii de proiectare solară pasivă în clădiri pentru a capta și reține căldura [10], [11]. Conceptul de utilizare a unui capac de sticlă pentru a capta lumina soarelui și aerul cald care curge printr-o cameră interioară este un principiu fundamental în proiectarea multor sisteme de încălzire solară. Această metodă este adesea atribuită lui Horace de Saussure, un fizician elvețian, care, în anii 1760, a construit un cuptor solar timpuriu. Acest dispozitiv folosea un capac de sticlă pentru a capta căldura, creând ceea ce este considerat a fi primul colector solar termic cunoscut [11].

Astăzi, panourile solare de încălzire cu aer cald vin în diferite modele, fiecare cu propriile sale avantaje. Panourile cu suprafață de absorbție plană sunt cele mai comune tipuri, având o placă absorbantă a radiației solare închisă la culoare instalată într-o cutie vitrată pentru reținerea căldurii. Panourile perforate cunoscute și sub denumirea de încălzitoare solare de perete, implică o placă metalică perforată instalată peste peretele unei clădiri orientat spre sud. Panourile solare cu sticlă sau vitrate sunt similare cu tipurile de plăci plate, dar includ o sticlă sau un capac transparent care captează căldura suplimentară, la fel ca o seră. Panourile care nu sunt vitrate, nu au un capac transparent, ceea ce le face mai puțin eficiente în climatele mai reci, le reduce costul și complexitatea. Tuburile solare de încălzire cu aer au la bază șiruri paralele de tuburi cilindrice care absorb energia solară. Panourile solare de încălzire cu aer cu trecere dublă permit aerului să curge și prin spatele plăcii absorbante. Panourile solare cu aer cu termosifon funcționează pe principiul convecției naturale și facilitează circulația aerului fără ventilatoare. Sistemele integrate de stocare a colectorului combină suprafața de

absorbție și stocarea termică într-o singură unitate, maximizând utilizarea spațiului. Acest tip de panouri integrează materiale de stocare a căldurii, cum ar fi pietre sau pietricele, pe suprafața de absorbție pentru a extinde utilizarea căldurii dincolo de orele cu soare [12].

Panourile solare de încălzire cu aer cald au costuri reduse, sunt sursă de energie regenerabilă, sunt simple și oferă o gamă largă de aplicații și beneficii: încălzirea spațiilor rezidențiale și comerciale pentru a reduce dependența de sistemele convenționale de încălzire; sisteme de uscare a produselor agricole și a materiilor prime industriale; preîncălzirea aerului de ventilație cu energie solară poate reduce semnificativ consumurile de energie pentru încălzirea clădirilor [12].

În ciuda beneficiilor lor, panourile solare de încălzire cu aer cald au și unele dezavantaje. Unul dintre cele mai mari dezavantaje ale utilizării este costul inițial ridicat cu recuperare în aproximativ 10 până la 15 ani atunci când este utilizat împreună cu sisteme de încălzire cu gaz și aproximativ cinci până la șapte ani când este utilizat cu energie electrică sau sisteme de încălzire cu lemne. Eficacitatea panourilor solare cu aer depinde de disponibilitatea luminii solare, funcționează cel mai eficient când este soare iar zilele înnorate le reduc eficiența. De asemenea au eficacitate limitată și în climatele mai reci. Un alt dezavantaj ar fi spațiul amplu pentru instalare, care poate fi o provocare în zonele urbane unde spațiul este adesea limitat. Curățarea și întreținerea regulată sunt necesare pentru a menține funcționarea corectă. Deoarece transferul de căldură joacă un rol important iar aerul are proprietăți de transfer de temperatură relativ slabe, sunt necesare măsuri suplimentare pentru a spori eficiența transferului de căldură. Aerul nu este foarte dens, ceea ce înseamnă că trebuie procesat un volum mai mare de aer pentru a obține o încălzire semnificativă. Aerul nu poate stoca bine căldura din cauza capacității sale calorice scăzute, ceea ce îl face inadecvat pentru utilizare ca fluid de stocare. Unele sisteme folosesc un lichid dens sau un material solid pentru a stoca energia soarelui și pentru a o radia încet pe perioade scurte în lipsa radiației, dar acest tip de panouri sunt în esență inutile în afara orelor cu radiație solară ridicată [13].

În ce privește eficientizarea panourilor solare de încălzire cu aer cald există câteva descoperiri și inovații recente. Câteva dintre progresele cheie sunt:

- Rugozitate artificială, ce presupune plasarea unor aripioare/turbulatoare/ materiale turnate/ nervuri pe suprafața de absorbție pentru colectarea și utilizarea eficientă a radiațiilor solare în scopuri termice [1];
- Îmbunătățirea performanței include optimizarea dimensiunilor elementelor de construcție a ventilatorului, utilizarea suprafețelor

extinse cu diferite forme și dimensiuni, utilizarea mediilor de stocare sensibile sau latente, utilizarea concentratoarelor pentru a crește radiația solară disponibilă, integrarea elementelor fotovoltaice în acest tip de panouri [14];

- Diferite tipuri de panouri solare cu aer dezvoltate pentru o încălzire eficientă și durabilă. Acestea includ panouri solare cu plăci plate, panouri solare cu inserții, panouri cu sticlă, panouri solare cu trecere în spate și panouri cu suprafețe integrate cu materiale de stocare a căldurii [12];
- Inovații tehnologice în materiale și producție, evoluții în componentele panourilor solare și tehnicile de producție [15], [16].

Capitolul I

SISTEME SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Pentru analiza stadiului actual în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald (SAHs), s-au luat în considerare toate articolele publicate în perioada 2017-2021. Informațiile folosite pentru realizarea studiului au fost colectate din 1355 de articole care reprezintă totalul publicațiilor din domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald, în care s-a întâlnit cel puțin o dată cuvintele „solar air heater”. Datele utilizate au fost extrase în perioada 13 - 28 februarie 2022, din baza de date „Web of Science”. După filtrarea și analiza individuală a celor 1355 de publicații, au fost selectate pentru studiul actual cele mai recente, un număr de 250 de articole. Articolele au fost selectate pe criteriul celor mai recente publicații pentru studiul actual în domeniul analizat. Restul articolelor au tratat aceleași subiecte sau nu puteau fi parte din studiul realizat deși fac parte din domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald.

1.1 ANALIZA LITERATURII ÎN DOMENIUL SISTEMELOR SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Clasificarea rezultată este strict concepută doar pe perioada analizată și nu reprezintă perioada dinainte de 2017. Pentru clasificări și stadii actuale realizate pe alte criterii sau alte perioade putem face referire la articolul publicat în 2018 de Kumar Varun de la Colegiul de Inginerie și Tehnologie Velammal, Madurai, India [17]. Lucrarea prezintă efectul unor nervuri diferite existente pe materialul care absoarbe radiația solară. Recenzia realizată este concentrată pe geometria nervurilor și dispunerea

acestora în panoul solar de încălzire cu aer. Au fost luate în discuție analize numerice și experimentale în care fluidul din interiorul panoului SAH a fost aer uscat sau nanofluid. Influența unor forme de nervuri variate precum formele: L, W, V au fost luate, de asemenea, în discuție. Lucrarea realizată conține diferite rezultate și observații. Un studiu al sistemelor solare de încălzire cu aer cald se axează pe catalogarea acestora în funcție de materialul dispus pe suprafața absorbantă a radiației solare pentru stocarea energiei termice [19]. Au fost analizate numeroase tipuri de materiale ce au capacitate de a-și schimba starea, proprietățile lor și aplicațiile în care se regăsesc. Lucrarea analizează, de asemenea, tehnici de îmbunătățire a transferului termic precum: suprafețe extinse, încapsulare și dispersia unor particule conductoare în fluxul de aer existent în panoul analizat.

Tehnici de modificare a fluxului de aer sunt aduse în discuție de Arunkumar, Institutul de Tehnologie Manipal, India [20]. Lucrarea se axează pe revizuirea diferitelor tehnici de modificare a fluxului de aer existent într-un sistem solar de încălzire cu aer pentru îmbunătățirea performanțelor termice și creșterea transferului termic între suprafața termică și fluxul de aer. Studiul ia în considerare influența diferitelor forme ce produc turbulențe utilizate de cercetători pentru sporirea eficienței termice. Considerații de proiectare, geometrii utilizate, condiții de curgere și influența lor asupra turbulenței, transferul de căldură, temperatura suprafeței absorbante a radiației solare și factorul de îmbunătățire termohidraulic au fost discutate pe larg.

Clasificarea sistemelor solare de încălzire cu aer cald (SAH)

Clasificarea prezentată este realizată pe baza articolelor selectate și ia în considerare componentele și modificările aduse sistemelor solare de încălzire cu aer pentru sporirea performanțelor acestora. În Figura 1.1 este prezentată clasificarea principală a sistemelor solare de încălzire cu aer cald de tip SAH. Imaginea este o diagramă circulară care ilustrează într-un mod schematic și integrat principalele componente și factori ce influențează funcționarea sistemelor solare de încălzire cu aer. În centrul diagramei se regăsește textul „Sisteme solare de încălzire cu aer”, care acționează ca nucleul conceptual al metodei prezentate.

Diagrama subliniază interconexiunea dintre elementele: materialul ce acoperă panoul; materialul și forma suprafeței de absorbție a radiației solare; modificări aduse pasajelor de aer; tipul fluxului de aer și sisteme hibride, sugerând că eficiența și performanța globală a sistemelor solare depind de o colaborare armonioasă între fiecare componentă.

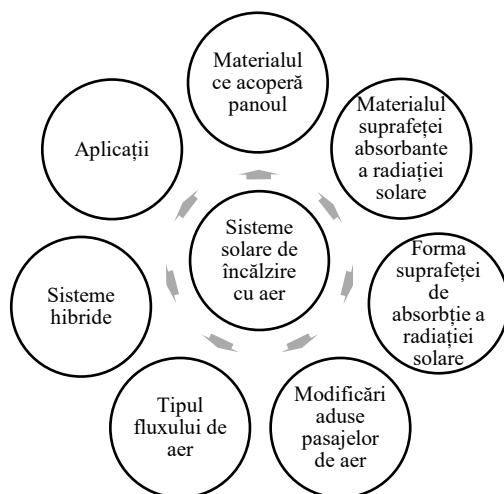


Fig. 1.1 Clasificarea principală a panourilor solare de încălzire cu aer cald.

Se pot realiza diferite clasificări: în funcție de destinația sistemelor; în funcție de tehnicile aplicate: experimental, calcul matematic sau computațional; în funcție de diferite modificări aduse materialului absorbant pentru un transfer termic cât mai eficient.

1.1.1 Materialul utilizat pentru acoperirea panoului

Pe lângă plexiglas, care este un material utilizat pentru acoperirea panourilor solare de încălzire cu aer folosite cu precădere în mediul rezidențial [21], din lucrările analizate deosebit de următoarele materiale expuse în Figura 1.2.

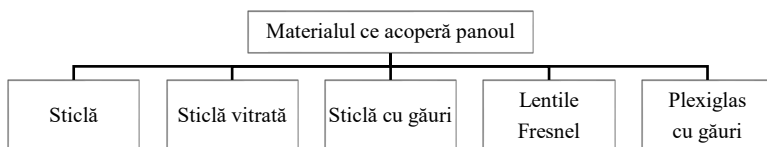


Fig. 1.2 Materialele utilizate pentru acoperirea unui SAH.

Sticla este cel mai folosit material la realizarea sistemelor solare de încălzire cu aer cald utilizate cel mai adesea în agricultură sau acolo

unde nu este necesară ridicarea lor pe corpuri de clădiri, asta datorită greutateii lor. Este bine de reținut că izolarea sau capsularea sistemului se realizează tot cu ajutorul sticlei, ce are ca scop penetrarea razelor solare prin materialul absorbant și reținerea acestora în interior. Cu cât mai mult efect de seră se realizează între sticlă și materialul absorbant cu atât mai mare va fi temperatura fluxului de aer existent la ieșirea din panoul solar. Un studiu experimental al sistemelor solare de încălzire cu aer a fost realizat de Gholami în 2019, Universitatea din Tabriz, Iran [22].

1.1.2 Materialul suprafeței de absorbție a radiației solare

Materialul care atrage și absoarbe radiația solară este foarte important deoarece de el depinde cantitatea de căldură transmisă fluxului de aer ce trece prin panoul solar de încălzire cu aer. În urma analizării cercetărilor în care s-a întâlnit cel puțin o dată cuvintele „solar air heater” în perioada 2017-2021 din baza de date „Web of Science” materialul care realizează absorbția radiației solare se clasifică în categoriile afișate în Figura 1.3. *Lâna de cupru* așezată pe suprafața absorbantă a îmbunătățit simțitor cantitatea de energie termică absorbită de SAH [23].

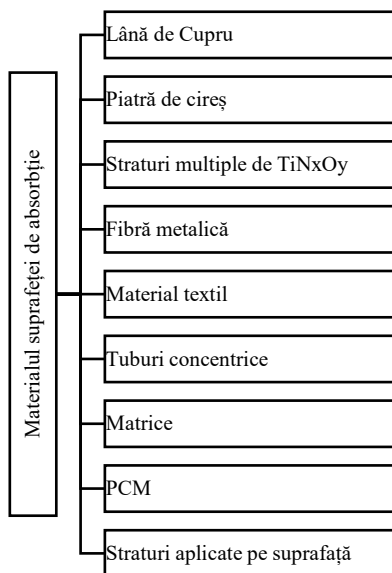


Fig. 1.3 Materialele utilizate pentru îmbunătățirea suprafeței de absorbție.

1.1.3 Forma suprafeței de absorbție a radiației solare

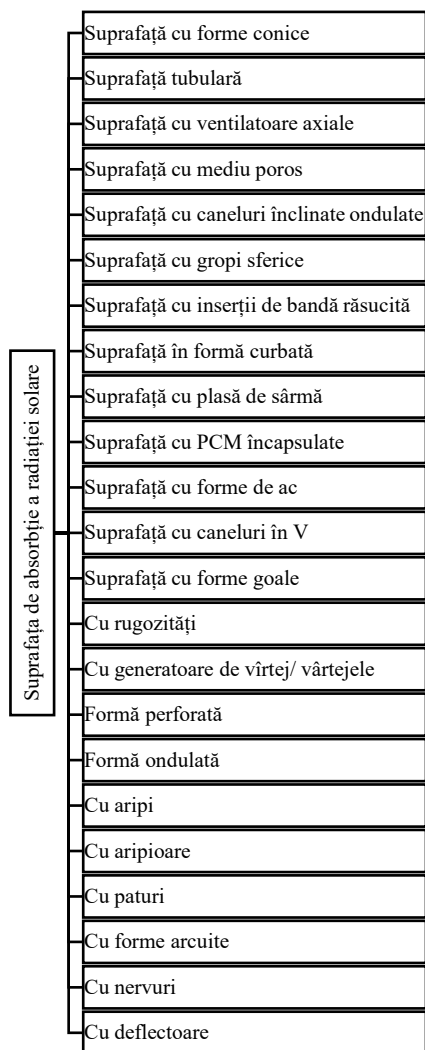


Fig. 1.4 Suprafețele de absorbție utilizate în panouri SAH.

Forma suprafeței de absorbție și modificările aduse acesteia prezintă interes în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer deoarece sporesc și îmbunătățesc eficacitatea și performanțele termice; cresc

eficacitatea transferului de căldură și îmbunătățesc caracteristicile fluxului de aer ale sistemelor modificate. Convecția forțată a transferului de căldură într-un sistem solar de încălzire cu aer cu obstacole conice esalonate pe suprafața de absorbție a fost realizată experimental și numeric la diferite debite de aer pentru a îmbunătăți eficiența termică și pentru a crea volumul adecvat pentru materialul de stocare al temperaturii în termeni de eficacitate a sistemului analizat [25]. Debitele de aer selectate au fost 0,04; 0,08 și 0,1 kg/s în condiții ambientale. Rezultatele modelului numeric, viteza și distribuția temperaturii în acest caz au fost în acord cu rezultatele modelului experimental. Eficiența termică medie maximă realizată de sistemul analizat a fost de 70,8% pentru un debit de aer de 0,1 kg/s.

1.1.4 Modificări aduse pasajelor de aer

Forma pasajelor fluxului de aer și modificările aduse acestea prezintă interes în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer deoarece aduc îmbunătățiri performanțelor termice; sporesc eficacitatea transferului de căldură și îmbunătățesc caracteristicile fluxului de aer ale sistemelor solare de încălzire cu aer modificate.

Studiul concentrat pe sistemul solar de încălzire cu aer cu pasaj cu turbulatoare transversale s-a axat pe proiectarea unor tipuri de obstacole pentru îmbunătățirea performanțelor sistemului analizat [29]. S-a constatat că noile modele de turbulatoare transversale dețin valori mai mici ale coeficientului de transfer de căldură, care variază de la 12,1% la 45,2%, în timp ce căderea de presiune scade în intervalul de 48% ÷ 91% la numerele Reynolds de 1643; 3286 și 4929. Cel mai mare indice de performanță, de 1,69, este înregistrat pentru acest tip de turbulatoare la Re egal cu 1643. Efectul turbulatoarelor înclinate în pasajul unui sistem solar de încălzire cu aer a fost studiat sub convecție forțată. Pentru toate numerele Reynolds între 500 și 50000 și pentru toate configurațiile analizate, se observă o creștere a performanței termohidraulice, ceea ce duce la factori de îmbunătățire termică cu valori în intervalul 2 ÷ 5 [30].

Performanțele termohidraulice ale sistemului solar de încălzire cu aer cu pasaj tip canal pătrat cu suprafață ondulată triunghiulară au fost investigate numeric [31]. Rezultatele de calcul arată că factorul maxim de îmbunătățire termică, TEF, este de aproximativ 2,31 pentru suprafața ondulată de 30° de tip V-aval cu inserție diagonală la Re egal cu 2000. Performanța termică a unui sistemului solar de încălzire cu aer cu pasaj tip canal ondulat cu serpentine complet dezvoltat este investigată experimental și numeric pentru debitul masic cuprins între 0,01 kg/s și 0,04 kg/s [32].

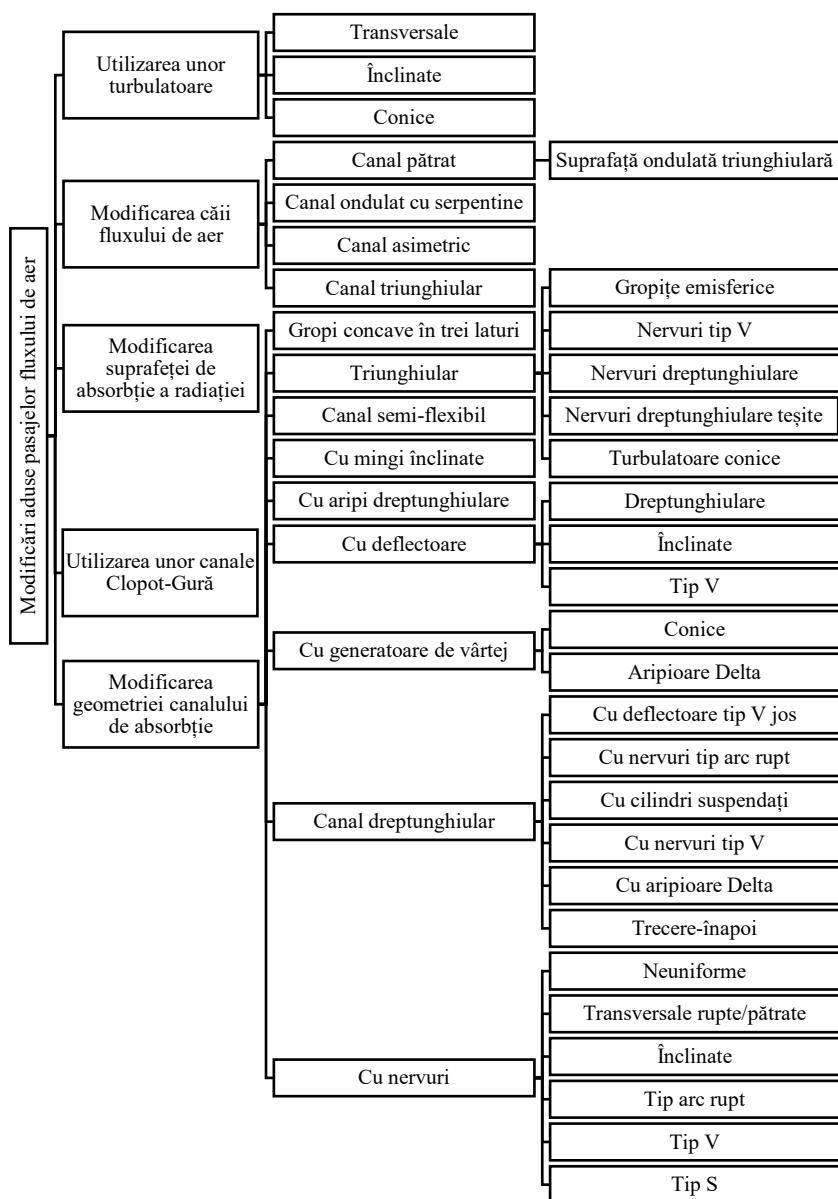


Fig. 1.5 Modificări aduse pasajelor fluxului de aer pentru îmbunătățirea performanțelor SAH.

1.1.5 Tipul fluxului de aer

Tipul fluxului de aer este important în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer deoarece poate spori eficacitatea transferului de căldură și îmbunătăți caracteristicile fluxului de aer ale sistemelor. Analiza unui SAH cu jeturi de impact a fost realizată 3D pentru optimizare economică, energetică și exergetică. Eficiența energetică maximă este de 59,43%, eficiența exergetică ajunge la 2,23% iar eficiența economică este de 150% [33].

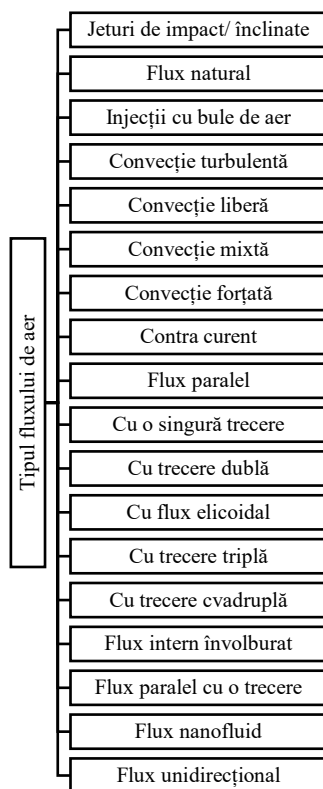


Fig. 1.6 Tipul fluxului de aer prezent în SAH.

Îmbunătățirea transferului de căldură pentru un panou solar de încălzire cu aer a fost analizată experimental prin utilizarea unui jet de aer înclinat [34]. Parametrii considerați au fost pasul relativ al fluxului,

unghiul de atac, diametrul relativ al jetului și distanța relativă a jetului cu valori în intervalele $0,095 \div 0,285$; $15^\circ \div 90^\circ$; $0,09 \div 0,027$ respectiv $0,4 \div 0,8$. Debitul masic a variat între $0,0128$ și $0,0544$ kg/s. Performanța termohidraulică maximă a fost 2,38 pentru debitul masic de $0,054$ kg/s; pasul relativ al fluxului de $0,285$; unghiul de atac de 60° ; diametrul relativ al jetului de $0,18$ și distanța relativă a jetului de $0,6$.

1.1.6 Sisteme hibride

Pentru îmbunătățirea performanțelor termice a sistemelor solare de încălzire cu aer s-a încercat integrarea acestora cu alte sisteme regenerabile.

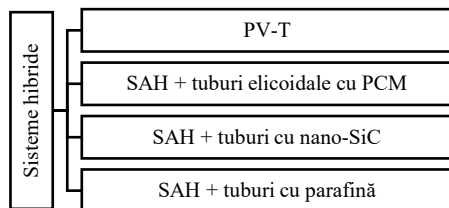


Fig. 1.7 Sisteme hibride realizate cu SAH.

Sistemul hibrid realizat prin integrarea unui panou fotovoltaic într-un sistem solar de încălzire cu aer a fost investigat experimental în condițiile meteorologice naturale [35]. Sistemul astfel realizat, PV/T, are canal de aer cu o singură trecere și debit dublu. Panoul fotovoltaic integrat ține loc de suprafață de absorbție pentru sistemul solar de încălzire cu aer. Pentru a îmbunătăți performanța transferului de căldură între modulul fotovoltaic și fluxul de aer au fost atașate pe modul nervuri cu secțiune transversală neuniformă. Experimentul a fost realizat pentru debite masice de aer cu valori cuprinse între $0,0198$ kg/s și $0,07698$ kg/s. Pe măsură ce debitul masic de aer a crescut s-a constatat că eficiența termică medie a sistemului PV/T a crescut de la $35,2\%$ la $56,72\%$ iar eficiența electrică medie a crescut de la $14,23\%$ la $14,81\%$. Eficiența totală medie, care reprezintă suma eficiențelor electrice și termice, a avut valori în intervalul de $49,44\% \div 71,54\%$. În concluzie valoarea maximă a eficienței totale medii pentru sistemul hibrid a fost de $71,54\%$ pentru debitul masic de aer de $0,07698$ kg/s.

1.1.7 Aplicații ale sistemelor solare de încălzire cu aer

În urma analizării cercetărilor în care s-a întâlnit cel puțin o dată cuvintele „solar air heater” în perioada 2017 ÷ 2021 din baza de date „Web of Science” aplicațiile în care s-au utilizat sisteme de încălzire cu aer se clasifică în categoriile afișate în Figura 1.8.

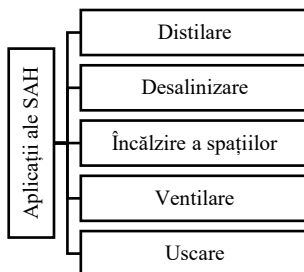


Fig. 1.8 Aplicații ale sistemelor solare de încălzire cu aer.

Distilarea cu membrană (MD) rămâne în urmă din cauza consumului de energie relativ mare față de alte procese de desalinizare, de exemplu osmoza inversă. Încălzirea membranei în distilare reprezintă componenta cheie și semnificativă a consumului total de energie. Pentru a face distilarea cu membrană competitivă cu tehnologiile existente, cercetarea ar trebui să se orienteze către surse de energie cu costuri reduse sau metode alternative de încălzire. Dezvoltarea unor metode alternative de încălzire se bazează pe încălzirea directă a apei de alimentare. Încălzirea directă a alimentării cu apă lângă suprafața membranei cu ajutorul unor sisteme solare de încălzire cu aer poate îmbunătăți eficiența termică și economia procesului de distilare [36]. Un sistem de desalinizare cu umidificare și dezumidificare (HDH) necesită energie termică pentru a realiza procesul de desalinizare al apei de mare [37]. O abordare eficientă și prietenoasă cu mediul pentru a obține energie termică este utilizarea energiei solare folosind sisteme solare de încălzire cu aer. Apa de mare, aerul, sau ambele sunt de obicei preîncălzite de sistemele de desalinizare înainte ca acestea să fie între în umidificator. În comparație cu preîncălzirea doar a apei sau doar a aerului, preîncălzirea ambelor este de preferat, deoarece se obțin astfel performanțe și productivitate ridicate. Cel mai utilizat model de desalinizare este cel cu sistem dublu de preîncălzire care utilizează două sisteme solare separate pentru preîncălzirea simultană a aerului și a apei de mare. Încălzirea simultană a apei de mare și a aerului se poate realiza și cu un singur sistem solar de încălzire cu aer. Acest tip de sistem prezintă la debitele masice de 0,005;

0,010 și 0,020 kg/s, următoarele valori maxime ale temperaturii aerului: 66°C; 62°C respectiv 57°C, în timp ce valorile maxime realizate pentru temperatura apei de mare au fost de 83°C; 78°C, respectiv 73°C. Productivitatea maximă orară observată pentru sistemul de desalinizare cu umidificare și dezumidificare cu un singur panou solar de încălzire cu aer cald a fost de 6,20 kg/h pentru un debit masic de aer de 0,005 kg/s. Cele mai ridicate valori pentru temperatura medie lunară a aerului și pentru temperatura apei de mare au fost de 60°C respectiv 69°C.

1.2 CONCLUZII

Sistemele solare de încălzire cu aer cald sunt o componentă principală și importantă a domeniului energiei captate de la soare. Echipamentele sunt capabile să capteze această energie și să o transforme la nivelul suprafeței de absorbție în energie termică care, la rândul său, poate fi transferată unui flux de aer, care curge prin sistemul SAH. Acest tip de sisteme sunt utilizate în aplicațiile în care este nevoie de căldură pentru uscarea unor diferite produse agricole, încălzirea clădirilor, industria textilă, desalinizarea apei, industria produselor marine.

Panourile de încălzire cu aer echipate cu obstacole de tip deflectoare au o eficiență termică ridicată, deoarece aerul de pe placa de absorbție nu mai are o curgere de tip laminar, ci devine un curent turbulent. Contactul aerului cu suprafața de absorbție are loc pentru o perioadă mai lungă, crescând factorul de frecare și determinând astfel o temperatură mai mare a aerului care iese din sistem, temperatură apropiată de cea a materialului de absorbție. Existența curenților turbulenți aduce temperatura aerului de emisie aproape de temperatura suprafeței de absorbție, realizând astfel un transfer eficient de căldură. Definirea parametrilor optimi ai deflectoarelor utilizate într-un panou solar de aer cald duce la o scădere a presiunii, care este de dorit pentru a obține performanțe mai bune. Performanța termică a SAH, atunci când radiația solară este prezentă, poate fi îmbunătățită prin modificarea suprafeței de absorbție și prin adăugarea de obstacole care creează vârtejuri ce realizează un transfer eficient de căldură între fluxul de aer care trece prin echipament și suprafața sa de absorbție. Utilizarea acestui tip de echipament pe timp de noapte sau în perioadele în care energia solară lipsește implică nu numai eficiența în captarea cât mai multă a energiei din radiația solară, ci și posibilitatea de stocare pentru perioade cât mai lungi posibil.

Eficiența termică a unui SAH crește pe măsură ce debitul de aer crește. Cu toate acestea, un debit de masă mai mare duce, de asemenea, la pierderi mai mari prin frecare. Împreună cu energia utilă realizată de un astfel de sistem, ar trebui să se țină seama și de cheltuielile cu energia consumată de acesta.

1.3 PERSPECTIVE DE VIITOR

Pentru studii suplimentare și o mai bună înțelegere ar fi interesant să se traseze grafice diferite pentru fiecare eficiență a SAHs. Pentru a atinge acest obiectiv, sistemele solare de încălzire cu aer parte a studiului ar trebui testate în aceleași condiții. Cu toate acestea, chiar și în condiții diferite, puțini cercetători furnizează setul complet de valori ca un tabel de parametri monitorizați și modificați. Din acest motiv, se recomandă o analiza CFD pentru a sprijini studiile menționate. În acest fel putem ajunge la o cunoaștere cuprinzătoare a panourilor solare de încălzire cu aer.

Ceara de parafină utilizată ca metodă de stocare a căldurii a adus performanțe termice îmbunătățite sistemelor solare de încălzire a aerului. PCM-urile termochimice sunt, de asemenea, de mare interes datorită densității lor de stocare, ceea ce permite reținerea unei cantități semnificative de energie prin intermediul unei cantități mici de substanță.

Direcții interesante și posibile subiecte de studiu în domeniul SAH ar fi:

- Proiectarea de sisteme solare de încălzire cu aer și PV/T cu tuburi umplute cu parafina care asigura: aer cald, apa caldă, electricitate și ventilație fotovoltaică.
- Transformatoare de putere care furnizează energie termică prin schimbătoare de căldură.

Dezvoltarea sistemelor solare de încălzire cu aer va contribui cu siguranță la conservarea energiei și va sprijini un mediu sustenabil.

Capitolul II

CONTRIBUȚII PRIVIND MONITORIZAREA, MODELAREA ȘI SIMULAREA SISTEMELOR SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Monitorizarea panourilor solare de încălzire cu aer cald are la bază analiza bibliometrică, calculului necesarului de căldură pentru conturul aferent instalării panoului precum și monitorizarea și achiziția datelor parametrilor vitali funcționării optime a unui sistem solar de încălzire cu aer cu ajutorul unor dispozitive de măsurare și a unei interfețe de comunicare. Capitolul abordează și cartografierea bibliografică pentru vizualizarea și analiza informațiilor. Sursa utilizată pentru identificarea datelor bibliometrice prelucrate în acest capitol este „Web of Science”. Datele au fost preluate în perioada 21 ianuarie ÷ 6 februarie 2022 iar generarea hărților și graficelor bibliometrice s-a făcut cu ajutorul următoarelor programe: VosViewer, Bibliometrix și Microsoft Excel.

2.1 ANALIZĂ BIBLIOMETRICĂ A SISTEMELOR SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Bibliometria se folosește pentru a obține analize cantitative în domeniul literaturii academice și constituie analiza statistică a unor publicații din diferite domenii de cercetare [38]. Analiza bibliometrică oferă ajutor în analizarea publicațiilor, oferă sprijin în evaluarea cercetărilor și ajută cercetătorii să găsească noi colaboratori și posibile subiecte cu impact major. Analiza bibliometrică are la bază informațiile

bibliografice și poate reprezenta un mod de a crește vizibilitatea în domeniul specific de cercetare [39]. Utilizarea analizei bibliometrice ajută la înțelegerea structurilor și cunoștințelor dintr-un anumit domeniu de cercetare și reprezintă un start în realizarea unei publicații pentru cercetătorii la început de drum.

Beneficiile analizelor bibliometrice [40]:

- Oferă suport autorului, în analiza propriilor publicații, cu informații despre menționarea articolelor, autorii care menționează și numărul referințelor. Acest lucru poate fi folosit ca și o dovadă a impactului și a influenței articolelor realizate;
- Ajută la identificarea posibilelor subiecte cu performanțe ridicate și a zonelor în curs de dezvoltare, cu posibilitatea realizării articolelor în domeniile cele mai căutate;
- Îndrumă autorul spre potențiali colaboratori, persoane sau instituții, în domenii specifice de cercetare;
- Identificarea ca instituție, universitate sau departament de cercetare a publicațiilor cu impact puternic sau mai redus, influențarea deciziilor de realizare a unor cercetări viitoare și canalizarea resurselor spre domenii noi sau în curs de dezvoltare;
- Sprijin în identificarea jurnalelor și conferințelor cu impact major în domenii specifice fiecărui autor în parte.

2.1.1 Analiza sistemelor solare cu ajutorul hărților bibliometrice

Utilizând baza de date „Web of Science”, studiul bibliometric a fost realizat pentru analiza articolelor științifice, publicate în perioada anilor 2013 - 2022, în domeniul sistemelor solare. Articolele analizate în următoarele grafice din acest studiu fac parte din cele mai citate publicații în care s-a întâlnit cel puțin o dată cuvintele „solar systems”.

Figura 2.1 reprezintă distribuția cuvintelor „solar systems” și numărul acestora pentru fiecare domeniu analizat. Utilizarea intensivă a combustibililor convenționali și efectul acestora asupra mediului înconjurător a determinat cercetătorii să caute și să dezvolte noi surse de energie. De asemenea epuizarea combustibililor convenționali, deșeurile și gazele cu efect de seră joacă un rol important în dezvoltarea și optimizarea sistemelor de producere a energiei electrice. Sursele de energie regenerabilă reprezintă o alternativă ce corespunde standardelor și cerințelor în domeniul energiei electrice pentru o dezvoltare durabilă și sustenabilă a lumii [41], [42].

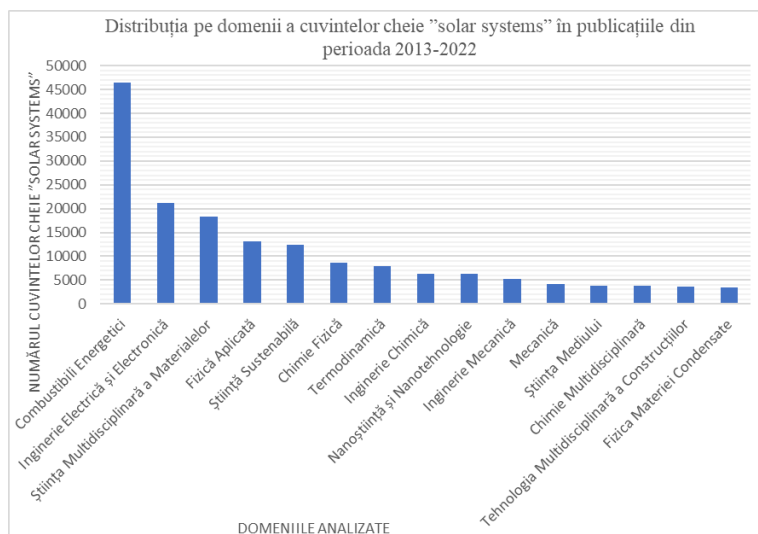


Fig. 2.1 Domeniile analizate și numărul cuvintelor cheie „solar systems” găsite în publicații.

Energia solară este considerată una dintre cele mai bune și importante alternative la sistemele convenționale de producere a energiei electrice datorită abilității sistemelor solare de a transforma energia solară direct în energie electrică, în cazul sistemelor fotovoltaice, sau în energie termică, cum este cazul sistemelor concentratoare care transformă energia solară în energie termică apoi energia termică în energie electrică [44], [45]. Observăm că domeniul predominant în care s-a abordat problema sistemelor solare este domeniul combustibililor energetici urmat de domeniul ingineriei electrice și electronice. De asemenea domeniul care se ocupă cu studiul materialelor este foarte important deoarece de proprietățile materialelor depind optimizarea, eficiența și randamentul sistemelor solare [46], [47].

Expansiunea energiei regenerabile are ca scop satisfacerea cererii de energie electrică la nivel global, eliminarea combustibililor convenționali și protejarea mediului înconjurător. Formele variate de utilizare a energiei solare, cu ajutorul sistemelor fotovoltaice, sistemelor termice și al sistemelor de încălzire a aerului, tind să fie resurse curate, prietenoase cu mediul înconjurător și abundente pentru omenire [48], [49]. În Figura 2.2 se poate observa procentul de distribuire a numărului de cuvinte „solar systems” deținut de fiecare domeniu în parte.

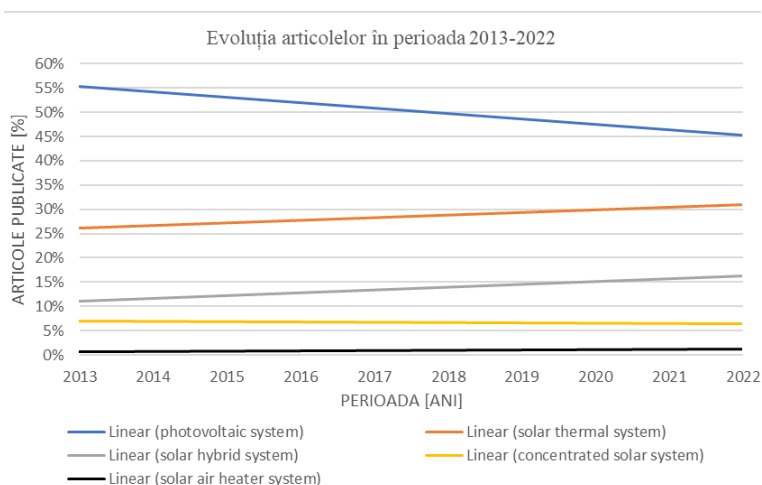


Fig. 2.2 Evoluția articolelor pentru sistemele solare amintite în perioada 2013-2022.

În graficul din Figura 2.2 putem analiza tendința în care s-a îndreptat atenția cercetătorilor în perioada de timp considerată. Procentul articolelor publicate în domeniile sistemelor fotovoltaice respectiv a sistemelor solare concentratoare este în scădere aproape în fiecare an. Astfel, sistemele fotovoltaice scad în procente în anul 2021 cu 8,56% față de anul cu cea mai mare pondere, 2013, iar sistemele solare concentratoare scad cu 1,48% în anul 2021 față de 2014, anul cu ponderea cea mai mare. Pe de altă parte, articolele din domeniile sistemelor solare termice și a sistemelor solare hibride sunt în creștere cu un procent de 4,3% respectiv 4,71% în anul 2021 față de 2013 respectiv 2014. Procentul de articole publicate în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald este de asemenea în creștere cu 0,44% în anul 2021 față de anul 2015, anul cu cea mai mică pondere.

Rețeaua prezentată în Figura 2.3 a rezultat în urma analizei frecvenței de apariție a cuvintelor cheie în titlurile și rezumatele prezente în articolele publicate în perioada 2013 ÷ 2022 în următoarele domenii: sisteme solare, sisteme fotovoltaice, sisteme solare termice, sisteme solare de încălzire a aerului cald, sisteme hibride și sisteme solare concentratoare. Spunem că două cuvinte apar concomitent în două cazuri: atunci când ambele apar în același rezumat sau titlu și atunci când cuvintele cheie cu rată mare de apariție se află cât mai aproape unul de celălalt [50]. Pentru a genera harta de apariție a cuvintelor cheie, de mai jos, minimul de apariție a unui cuvânt cheie este de 9.

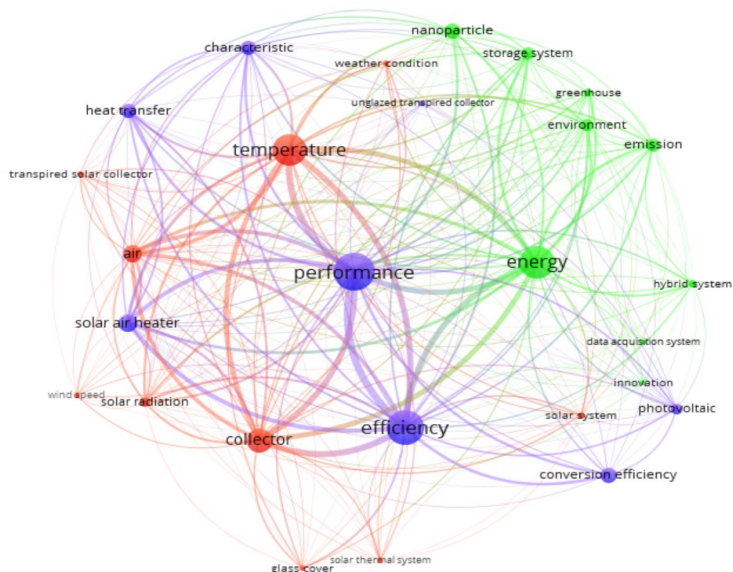


Fig. 2.3 Cuvintele cheie care apar în articole considerate pentru studiu.

Din studiul realizat, interesul și tendințele actuale sunt în scădere în domeniul sistemelor fotovoltaice și a concentratoarelor solare și în creștere în domeniile următoare: sisteme solare termice, sisteme solare hibride și sisteme solare de încălzire cu aer cald.

2.1.2 Analiza bibliometrică a sistemelor de tip SAH

Sistemele solare de încălzire cu aer cald sunt o altă categorie de echipamente care captează și transformă energia solară în altă formă de energie, și anume energia termică. Cu ajutorul efectului de seră aceste echipamente reușesc, într-o măsură mai mare sau mai mică, să transfere temperatura captată unui flux de aer pentru diferite întrebuințări. Aceste sisteme sunt utilizate, în special, pentru încălzirea unor spații închise, fie că vorbim de spații rezidențiale, locuințe, sau de spații comerciale pentru a usca diverse produse agricole [51], [52], [53].

Evoluția articolelor în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald, în perioada 2017 ÷ 2021, se poate observa în Figura 2.4. Analizând graficul pe o perioadă de cinci ani, deși anul 2021 nu este la fel de productiv ca și anul 2020, observăm panta ascendentă a numărului de

articole publicate în domeniu. Anul 2020 a fost cel mai productiv an din perioada considerată, cu cele mai multe publicații în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald.

În anul 2019, cercetătorii s-au axat pe studiul și dezvoltarea diferitelor tipuri de suprafețe cu capacitate de a reține căldura solară și de a o ceda fluxului de aer ce străbate echipamentul. Experimental au fost realizate diferite teste cu următoarele materiale: ceară parafină, zgură/așchii de cupru, aluminiu, fier și fontă. Așchiile de fier s-au evidențiat în studiu prin cea mai mare capacitate de stocare a căldurii [54]. De asemenea în această perioadă sunt studiate performanțele termice ale sistemelor solare de încălzire cu aer cald. Cu scopul de a îmbunătăți aceste performanțe au fost efectuate diferite experimente, dintre care amintim: tehnici artificiale utilizând nanofluide, nanoparticule de dioxid de titan (TiO_2) în apă, [55]; utilizarea unor macro capsule PCM [56].

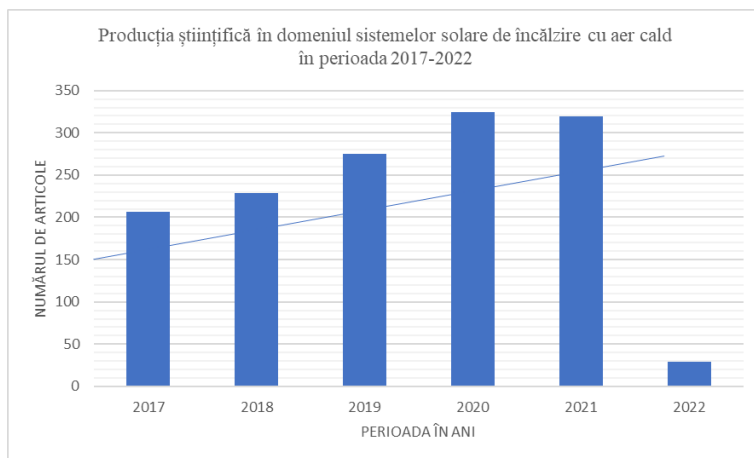


Fig. 2.4 Producția științifică pentru perioada 2017-2022 în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald.

Articolele publicate în anul 2020 au tratat problema optimizării transferului de căldură prin: echiparea SAHs cu dispozitive de modificare a direcției fluxului de aer [57], adăugarea unor ochiuri de fier în canalul fluxului de aer [58], utilizarea unor fluide cu conductivitate termică ridicată [59] și a suprafețelor aspre în formă de arc [60].

2.1.3 Concluzii

Analiza bibliometrică realizată în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald oferă următoarele informații:

- Evoluția sau involuția publicațiilor în domeniu;
- Tendința în care s-a îndreptat atenția cercetătorilor într-o perioadă de timp considerată;
- Viziune amplă asupra studiului capacităților și performanțelor acestor echipamente;

2.1.4 Perspective de viitor

Prezența anului 2022, perioada 01.01 ÷ 06.02, în unele grafice prezentate mai sus se explică din dorința de a verifica dacă pe o perioadă scurtă se păstrează aceeași tendință de pondere a articolelor publicate ca și în anii precedenți. Acest lucru poate furniza informații asupra direcției în care se vor îndrepta majoritatea articolelor ce urmează a fi publicate și influența deciziei în cercetare. Urmărirea tendințelor și îndreptarea direcției în cercetare înspre acestea poate oferi cercetătorilor un impact major în domeniile lor de cercetare.

2.2 NECESARUL DE CĂLDURĂ PENTRU CONTURUL CONSIDERAT

Determinarea necesarului de căldură pentru conturul considerat reprezintă o etapă esențială în proiectarea și optimizarea sistemelor de încălzire. Obiectivul principal al acestui calcul este de a stabili cantitatea de energie termică necesară pentru a menține o temperatură interioară confortabilă în spațiul analizat, considerând diferiți factori. Caracteristicile conturului analizat, suprafața, tipul de izolație, clima zonei și temperatura dorită la interior joacă un rol important pentru determinarea eficienței a necesarului de căldură. Beneficiile unui astfel de calcul se regăsesc în achiziționarea eficientă a unui sistem de încălzire cu costuri minime, creșterea confortului termic precum și reducerea impactului asupra mediului înconjurător.

2.2.1 Parametrii sistemelor solare de încălzire cu aer cald

Sistemele solare de încălzire cu aer cald sunt echipamente care captează energia solară cu ajutorul unor materiale absorbante și o transferă unui flux de aer, natural sau forțat, ce trece prin ele. Modelul unui astfel de echipament este prezentat în Figura 2.5. Sistemele solare de încălzire cu aer cald sunt proiectate pentru a valorifica energia solară și a o transforma în căldură utilizabilă.

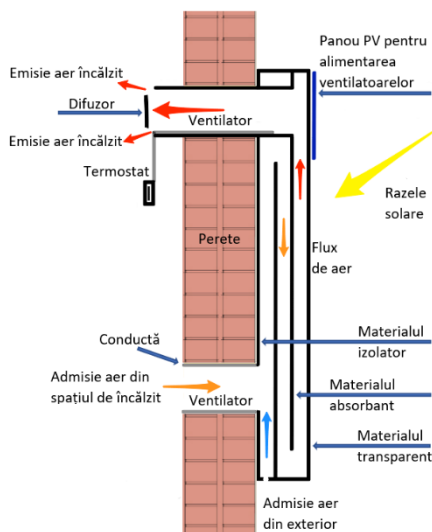


Fig. 2.5 Modelul și componentele unui SAH montat pe peretele unei locuințe [70].

Această modalitate de încălzire a aerului este o tehnologie bazată pe efectul de seră, o energie gratuită, regenerabilă, curată, ieftină față de energia din surse convenționale cu diferite întrebuințări [18]. De obicei, un panou solar de încălzire a aerului are trei componente principale: un material care absoarbe energia solară, un material transparent, sticlă, care permite trecerea fluxului de aer între el și materialul ce absoarbe razele solare și un strat de izolație pe spatele panoului care reduce pierderile de căldură. Pentru încălzirea spațiilor locuite se montează pe peretele exterior orientat spre miazăzi (Sud) sau pe acoperișul locuinței [21].

Parametrii de performanță ai sistemelor solare de încălzire cu aer cald

Pentru optimizarea sistemelor solare de încălzire cu aer cald performanțele acestora se pot măsura cu parametri expuși în Figura 2.6.

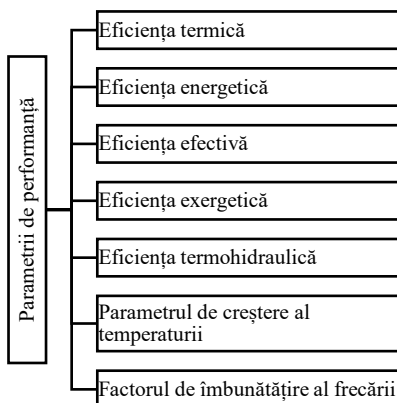


Fig. 2.6 Parametrii de performanță ai SAHs.

Metode de analiză pentru sistemele solare de încălzire cu aer cald

Cercetătorii au încercat, în ultimii ani, îmbunătățirea performanțelor sistemelor solare de încălzire cu aer cald prin diferite tehnici. Analizele numerice sunt realizate cu ajutorul ecuațiilor diferențiale ce operează în domeniul fizicii fluidelor și a fluxului de temperatură. Ecuațiile diferențiale se rezolvă utilizând formule matematice clasice. Unele ecuații utilizate pentru calculul eficienței și a performanțelor în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer sunt enumerate mai sus, în acest capitol.

Analiza CFD (Computational Fluid Dynamic) utilizează metoda elementului finit pentru realizarea modelării și simulării în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer. Cu ajutorul unui program pe calculator se pot construi modele și realiza rapid și eficient calcule pentru fluxul de aer și transferul de căldură existente în anumite condiții impuse.

2.2.2 Calculul necesarului de căldură

Evaluarea necesarului de căldură, pentru camera studiată, a fost realizată pe baza datelor și a observațiilor obținute în urma analizei în situ a clădirii și pe baza documentației tehnice [64], [65], [66], [67]. Camera propusă pentru analiză, ca și soluție arhitecturală existentă, se află la etajul

unei clădiri tip S+P+1, este orientată SE și este localizată în Ipotești, Suceava. Accesul în cameră se realizează prin holul etajului orientat pe direcția NV. Elementele constructive ale camerei analizate au dimensiunile prezentate în Tabelul 2.1 și Tabelul 2.2.

Tabel 2.1 Dimensiunile constructive ale camerei analizate

Element constructiv	Dimensiuni
Lungime cameră L [m]	5,5
Lățime cameră l [m]	2,8
Înălțime cameră h [m]	3
Arie A [m ²]	15,4
Volum V [m ³]	46,2

Peretele exterior care definește anvelopa camerei este construit din zidărie din blocuri BCA cu grosimea de 35 cm, tencuială de 2 cm la exterior respectiv la interior și polistiren de 15 cm. Pereții interiori sunt realizați cu zidărie din BCA având o grosime de 20 cm cu tencuială de 2 cm la exterior respectiv la interior. Tâmplăria ferestrei (FE) este realizată din ramă PVC simplă cu geamuri duble și gaz inert. Ușa de acces (UE) este din lemn cu etanșeitate scăzută.

Structura de rezistență a camerei este alcătuită din stâlpi de rezistență din beton armat, planșeu peste parter din beton armat și planșeu peste etaj din lemn. Infrastructura planșeului peste parter, pe lângă beton armat, este realizată și din șapă autonivelantă polistiren expandat și parchet din stejar laminar.

Tabel 2.2 Dimensiunile elementelor constructive ale camerei analizate

Element constructiv	Orientare	Dimensiuni [m]		Suprafață calcul [m ²]	Număr	Reduce re [m ²]	Suprafață calcul [m ²]
		Lățime	Înălțime				
UE	NV	0,800	2,100	1,680	1	0	1,680
FE	SE	2,800	1,500	4,200	1	0	4,200
FE	S	0,500	1,500	0,750	1	0	0,750
FE	E	0,500	1,500	0,750	1	0	0,750
Total		4,600	6,600	7,380	4	0	7,380

Regimul de ocupare al camerei este redus, iar alimentarea cu căldură se consideră în regim continuu. Clădirea nu este echipată cu sisteme de condiționarea aerului, răcire sau ventilare mecanică.

Graficul perioadei de încălzire pe parcursul unui an este prezentat în Figura 2.7.

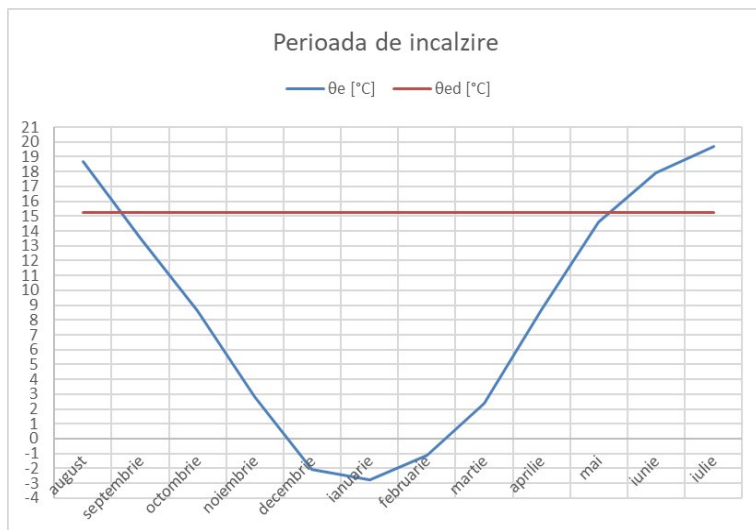


Fig. 2.7 Variația temperaturii în perioada considerată.

Necesarul de căldură pentru încălzirea spațiului considerat se obține făcând diferența între pierderile de căldură ale clădirii, Q_L , și aporturile totale de căldură Q_g , cele din urmă fiind corectate cu un factor de diminuare, η , astfel relația de calcul în [kWh] este:

$$Q_h = Q_L - \eta \cdot Q_g \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

Necesarul de căldură în [W] se determină cu ecuația:

$$Q_{h2} = \frac{Q_h}{t} \cdot 1000 \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Conform calculelor realizate și a Tabelului 2.3 necesarul de căldură pentru încălzirea camerei este egal cu 4262,324 în [kWh] și 814,664 în [W].

Tabel 2.3 *Necesarul de căldură*

η_l [-]	t [h]	Q_L [kWh]	Q_g [kWh]	Q_h [kWh]	Q_{h2} [W]
0,643	5232,00	5624,725	2118,469	4262,324	814,664

Coeficienții din Tabelul 2.3 reprezintă:

- Q_L [kWh] - pierderi de căldură ale clădirii;
- Q_g [kWh] - aporturi totale de căldură;
- t [h] - perioada considerată;
- η_l - factorul de utilizare;
- Q_h [kWh] - necesarul de căldură pentru încălzirea camerei în kWh;
- Q_{h2} [W] - necesarul de căldură pentru încălzirea camerei în W.

2.3 MONITORIZAREA ȘI ACHIZIȚIA DATELOR PENTRU UN PANOU SOLAR DE ÎNCĂLZIRE CU AER

Un sistem de monitorizare a parametrilor necesari funcționării optime a sistemelor solare conține două sau mai multe puncte de măsurare discrete care sunt interconectate printr-un mediu. Componentele principale ale unui sistem de monitorizare includ [68]:

- dispozitive de măsurare discrete pentru înregistrarea datelor (traductori);
- dispozitive de adaptare a semnalului: filtrarea, amplificarea și/ sau convertirea unui semnal fizic într-un semnal măsurabil, de cele mai multe ori semnal electric;
- software pentru a acumula, gestiona și afișa datele;
- interfață de comunicații între software și dispozitive de măsurare, placă de achiziții de date.

Sistemele de monitorizare a echipamentelor solare de încălzire cu aer oferă suport pentru o varietate de parametri: temperatură, presiune, debit, radiația solară, vibrații, indicatori de stare, etc., prin utilizarea traductoarelor. Componentele sistemului de monitorizare ar trebui să fie compatibile pentru a se asigura că sistemul aduce maximul de beneficii. Pot exista și alte componente auxiliare, dar acestea sunt definite de cerințele fiecărui sistem specific de monitorizare, spre exemplu monitorizarea energiei consumate sau a fluxului de aer prin sistem. O

schemă completă a unui sistem de monitorizare a sistemelor solare are în componență următoarele dispozitive [70], [71]:

- Senzor de măsurare a radiației solare;
- Senzor de temperatură montat pe suprafața panoului solar;
- Senzor de temperatură ambientală și senzor de umiditate;
- Senzor pentru determinarea vitezei și direcției vântului;
- Pluviometru și senzor de presiune barometrică;
- Monitor de praf pentru măsurarea turbidității atmosferice.

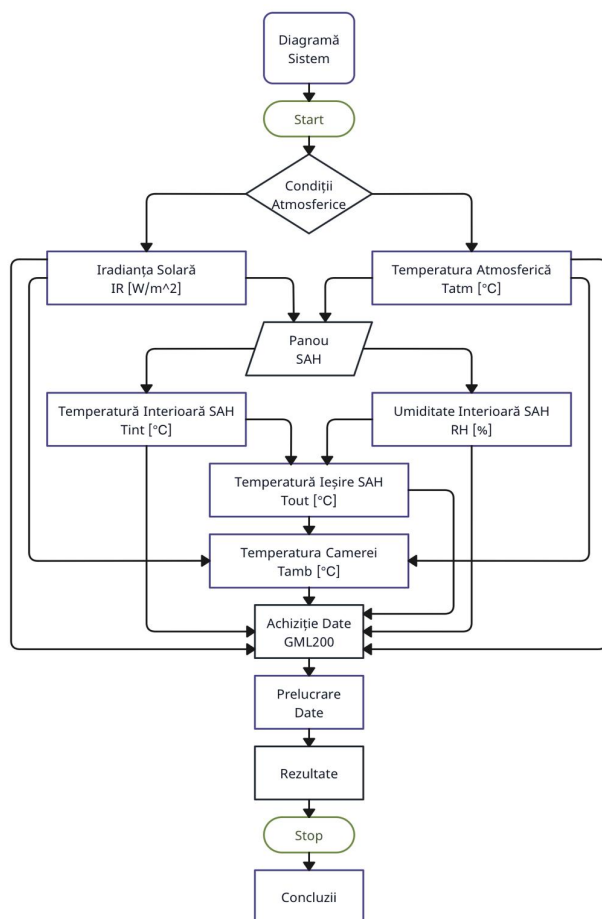


Fig. 2.8 Diagrama logică pentru automatizarea monitorizării.

Diagrama sistemului automat realizat pentru monitorizarea panoului solar de încălzire cu aer cald considerat este prezentată în Figura 2.8. Condițiile atmosferice includ toți factorii care influențează, într-o măsură mai mare sau mai mică, randamentul panoului solar de încălzire cu aer cald, cum sunt viteza vântului, umiditatea atmosferică, temperatura atmosferică și radiația solară. Cel mai important factor care afectează performanța panoului este intensitatea radiației solare.

În structura sistemelor de monitorizare sunt prezente traductoarele, condiționerile și plăcile de achiziții. Parametrii fizici neelectrici, cum sunt: temperatura, debitul, presiunea, deplasarea, forța, radiația solară, etc., trebuie transformați în semnale electrice (curent sau tensiune) pentru a avea posibilitatea măsurării și analizării cu aparate electronice. Traductoarele au rolul de a genera un semnal electric care depinde de mărimea neelectrică măsurată. Semnalul generat este de cele mai multe ori slab și necesită amplificare [68].

Panoul solar de încălzire cu aer cald propus pentru monitorizare și punctele de instalare a senzorilor sunt prezentate în Figura 2.9.

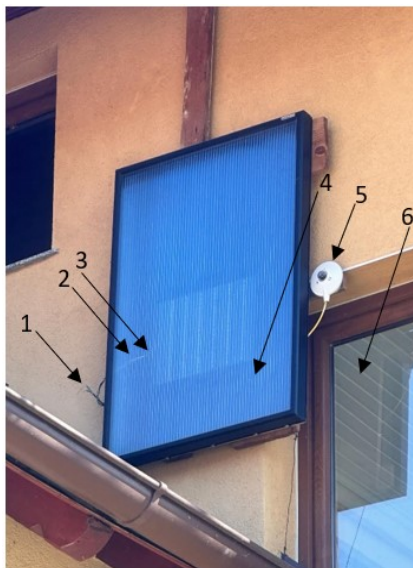


Fig. 2.9 Panoul considerat pentru monitorizare și punctele senzorilor instalați
1 – senzor pentru temperatura atmosferică; 2 – senzor pentru temperatura aerului din interiorul panoului; 3 – senzor pentru umiditatea din interiorul panoului; 4 – senzor pentru temperatura aerului la ieșirea din panou; 5 – senzor pentru iradianța solară; 6 – senzor pentru temperatura aerului din cameră.

2.3.1 Sistem de monitorizare a SAH realizat cu LabVIEW

Schema de monitorizare conține următorii senzori: doi senzori de termocuplu tip J pentru a obține temperatura din interiorul panoului și temperatura aerului la ieșirea din sistem; un senzor de umiditate pentru a obține umiditatea din interiorul sistemului solar de încălzire cu aer și un piranometru pentru măsurarea radiației solare. Pentru a calibra semnalul obținut de la senzori, au fost utilizate patru adaptoare alimentate de o sursă de 24 V/6,5 A. Un termostat, panoul solar de încălzire cu aer comercial, un sistem de achiziții NI USB 6001 și platforma LabVIEW fac parte, de asemenea, din sistemul de monitorizare. Schema de funcționare se poate observa și analiza în Figura 2.10.

Panoul solar de încălzire cu aer utilizat în sistemul din Figura 2.9 este potrivit pentru suprafețe de până la 50 m², reușește să prevină umiditatea și să realizeze un schimb complet al aerului dintr-o astfel de încăpere în aproximativ două ore. Pentru un flux de aer interior de 90 m³/h panoul are o eficiență termică în prezența radiației solare de 62% [72].

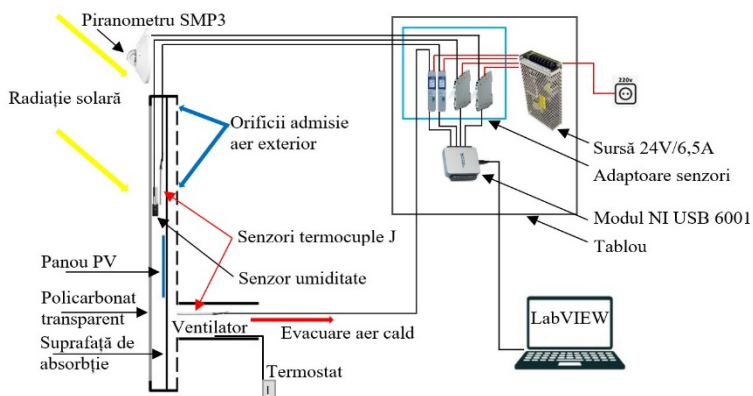


Fig. 2.10 Schema de monitorizare a unui panou solar de încălzire cu aer.

Senzorii utilizați pentru măsurarea temperaturii interioare a panoului solar de încălzire cu aer, respectiv a temperaturii de la ieșirea panoului sunt de tip termocuple J cu acuratețe de măsură clasa 1. Intervalul de măsură al senzorului de tip J se află între valorile -50 și 800°C iar tipul cablului și izolația de PFA permite utilizarea acestuia la temperaturi exterioare de la -50 până la 260°C. Toate tensiunile achiziționate pentru fiecare senzor în parte au fost convertite în temperaturi, umiditate și radianță cu ajutorul formulelor într-un fișier

Microsoft Excel și prelucrate pentru determinarea performanțelor aferente tipului de panou SAH ales.

2.3.2 Rezultate obținute cu NI USB 6001 și LabVIEW

Datele prelucrate au fost achiziționate în perioada 18.06.2022 ÷ 25.06.2022 inclusiv, în localitatea Ipotești, județul Suceava. Panoul solar de încălzire cu aer a fost instalat pe fațada unei clădiri rezidențiale pe un perete aferent camerei de încălzit. Toate echipamentele specifice pentru preluarea datelor au fost instalate în imediata apropiere a panoului, respectiv în interiorul camerei. Camera rezervată studiului se află pe direcția ESV respectiv răsărit, amiază, asfințit iar panoul solar se află poziționat în direcția punctului cardinal sud, cantitatea de iradianță solară captată și convertită în energie termică se află pe direcția SV. Deoarece sistemul propus a înregistrat în perioada analizată un volum mare de date, șase măsurători pe secundă, au fost selectate pentru această cercetare doar o parte din aceste informații, respectiv datele înregistrate în intervalul orar 12:00-20:00.

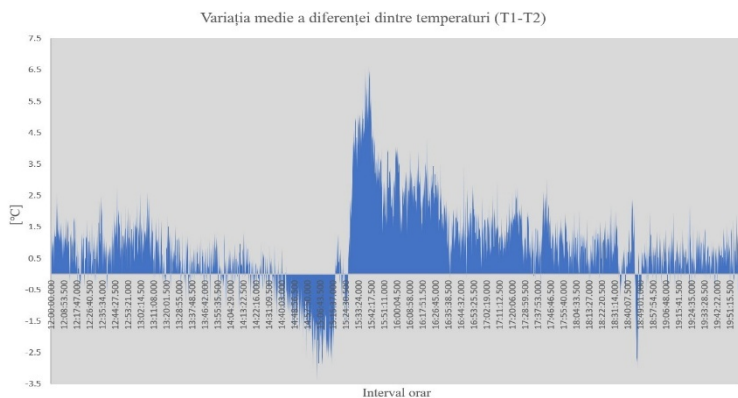


Fig. 2.11 Variația mediei diferenței de temperatură (T_1-T_2).

Intervalul ales reprezintă perioada în care radiația solară a fost incidentă pe panoul SAH. Astfel, datorită poziționării, intervalele excluse nu fac parte din studiu. În urma datelor preluate și analizate, diferența dintre temperatura din interiorul panoului solar de încălzire cu aer și temperatura de la ieșire a fost determinată pentru perioada aleasă. Pentru intervalul de măsurare, 6 măsurători pe secundă, variația mediei diferenței de temperatură este prezentată în graficul din Figura 2.11.

Din analiza graficului prezentat în Figura 2.11 se poate observa că valoarea maximă în perioada studiată, a mediei diferenței dintre cele două temperaturi, a fost de 7,25°C.

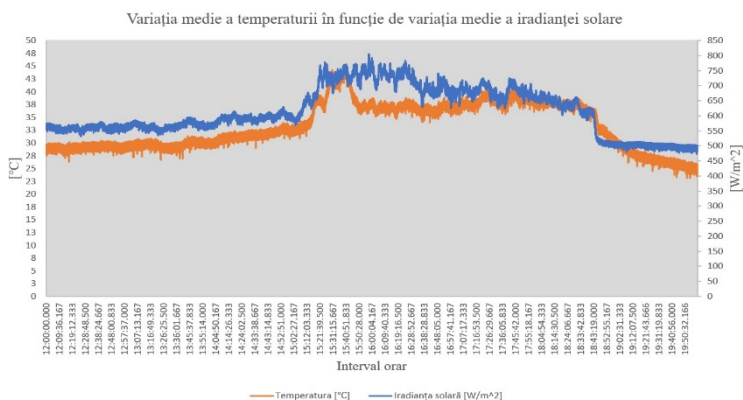


Fig. 2.12 Variația medie a temperaturii interioare a panoului în funcție de variația medie a iradianței.

De asemenea, valorile negative reprezentate în grafic aparțin perioadei în care temperatura de la ieșirea din panou a fost mai ridicată față de cea din interiorul panoului, datorită schimbării bruște a condițiilor meteorologice. Cea mai mare valoare înregistrată ca medie zilnică a diferenței dintre cele două temperaturi a fost de 18,18°C. De asemenea în graficul din figura 2.12 variația medie a temperaturii interioare a panoului SAH crește pentru valori medii ridicate ale iradianței solare incidente pe panou.

2.3.3 Sistem de monitorizare a SAH realizat cu Graphtec GL200

Panourile solare de încălzire cu aer cald sunt echipamente care au capacitatea de a transforma energia solară în energie termică cu ajutorul unui flux intern de aer. Dezvoltarea unui astfel de sistem este strâns legată de prezența radiației solare, fără de care nu este posibilă obținerea energiei termice.

Pentru randamentele maxime este necesar să se stabilească performanța sau capacitatea termică a unui sistem solar de încălzire a aerului. În acest scop, este recomandată utilizarea unui sistem de monitorizare, care are capacitatea de a indica punctele slabe ale echipamentului [69], [74]. Panoul solar de încălzire cu aer cald considerat

pentru studiu și echipamentele sistemului de monitorizare precum și punctele de instalare a senzorilor sunt prezentate în Figura 2.13.

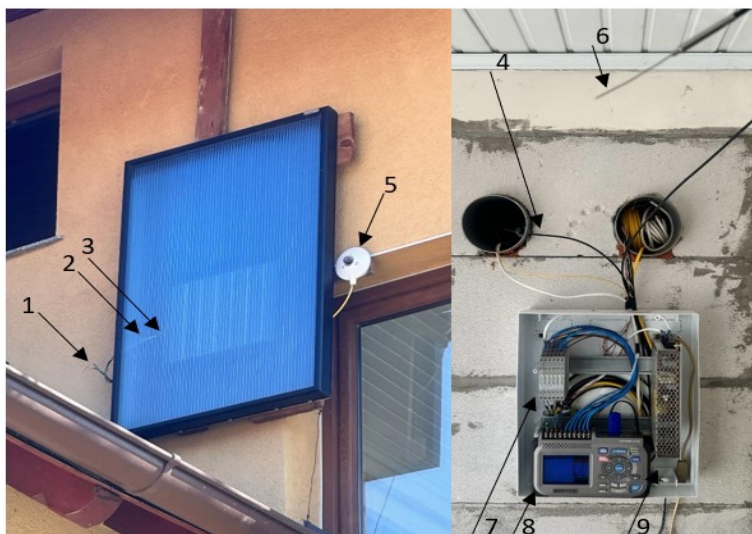


Fig. 2.13 Panoul, sistemul de monitorizare și punctele senzorilor instalați
1 – senzor pentru temperatura atmosferică; 2 – senzor pentru temperatura aerului din interiorul panoului; 3 – senzor pentru umiditatea din interiorul panoului; 4 – senzor pentru temperatura aerului la ieșirea din panou; 5 – senzor pentru iradianța solară; 6 – senzor pentru temperatura aerului din cameră; 7 – adaptoare pentru calibrarea senzorilor; 8 – echipament de achiziție a datelor primite de la senzori (GML200); 9 - sursă de alimentare de 24 V/6,5 A.

Schema utilizată pentru monitorizarea panoului are în componență următorii senzori: patru senzori de termocuplu tip J pentru a obține temperatura din interiorul panoului, temperatura atmosferică, temperatura aerului la ieșirea din panou și temperatura ambientală din cameră; un senzor de umiditate pentru a măsura umiditatea din interiorul sistemului solar de încălzire cu aer și un piranometru pentru achiziționarea valorilor radiației solare. Pentru a calibra semnalul obținut de la senzori, au fost utilizate șase adaptoare alimentate de o sursă de 24 V/6,5 A.

În Figura 2.14 este prezentată schema sistemului de monitorizare și achiziție de date pentru panoul solar de încălzire cu aer cald.

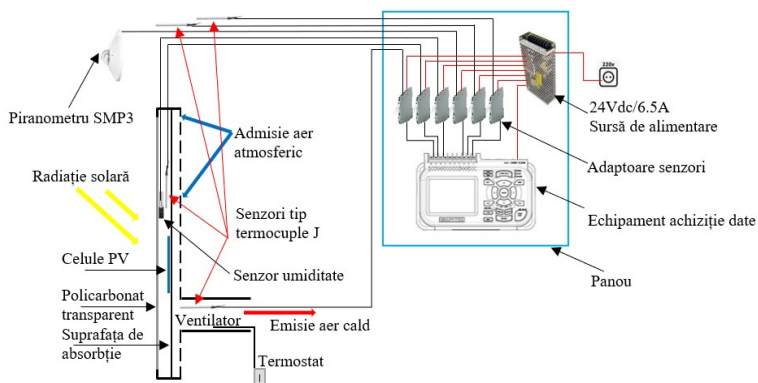


Fig. 2.14 Schema de monitorizare a panoului solar de încălzire cu aer cald.

Ecuatiile utilizate precum și o detaliere elaborată a echipamentelor utilizate pentru construirea sistemului de monitorizare a panoului solar de încălzire cu aer cald sunt prezentate în [73]. Pentru înregistrarea și centralizarea datelor furnizate de senzori s-a utilizat echipamentul Graphtec Midi Logger GL200 (GML200).

2.3.4 Rezultate obținute cu Graphtec Midi Logger GL200

Datele prelucrate au fost colectate în Ipotești, județul Suceava, în perioada 01 Februarie ÷ 31 Mai 2023. Panoul solar de încălzire cu aer cald a fost montat pe exteriorul unei structuri rezidențiale, pe un perete adiacent camerei ce se dorește a fi încălzită. Toate echipamentele de achiziție a datelor au fost amplasate în imediata apropiere a panoului, mai concret în interiorul camerei. Camera este orientată în direcția ESW, adică zori, prânz și amurg, iar panoul solar este orientat în direcția punctului cardinal sud, cu cantitatea de radiație solară colectată și transformată în energie termică orientată în direcția SV. Deoarece sistemul realizat a achiziționat o cantitate de date de-a lungul întregii perioade examinate, o valoare pe minut, doar o parte din aceste informații au fost alese pentru studiu, în special datele înregistrate între orele 12:00 și 16:00. Intervalul selectat indică momentul în care energia solară a fost incidentă pe panoul SAH. Ca urmare a locației, intervalele excluse nu sunt relevante datorită lipsei radiației solare.

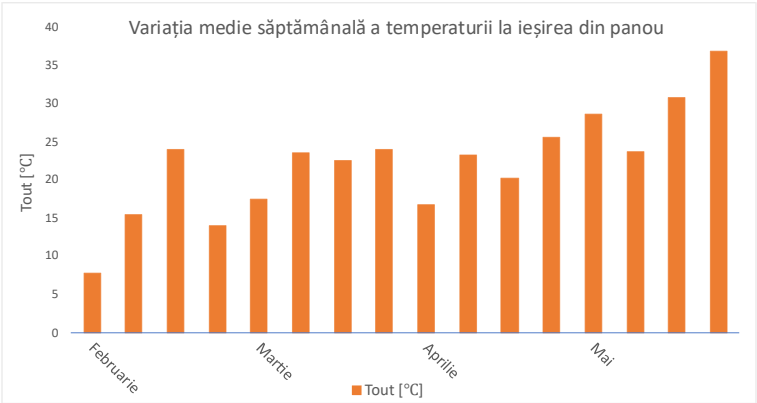


Fig. 2.15 Valorile medii săptămânale pentru evoluția temperaturii la ieșirea din panou (T_{out} [°C]) în perioada considerată.

Valorile medii pentru fiecare săptămână din perioada considerată pentru temperatura atmosferică (T_{atm} în °C); temperatura din interiorul panoului (T_{int} în °C); temperatura la ieșirea din panou (T_{out} în °C); temperatura ambientală (T_{amb} în °C); radiația solară (I_R în W/m^2); umiditatea din interiorul panoului (RH în procente) și variația volumului fluxului de aer (Q măsurat în m^3/s) sunt prezentate în acest subcapitol.

Valorile medii măsurate pentru evoluția temperaturii la ieșirea din panou (T_{out} în °C) pentru fiecare săptămână în perioada considerată sunt prezentate în graficul din Figura 2.15.

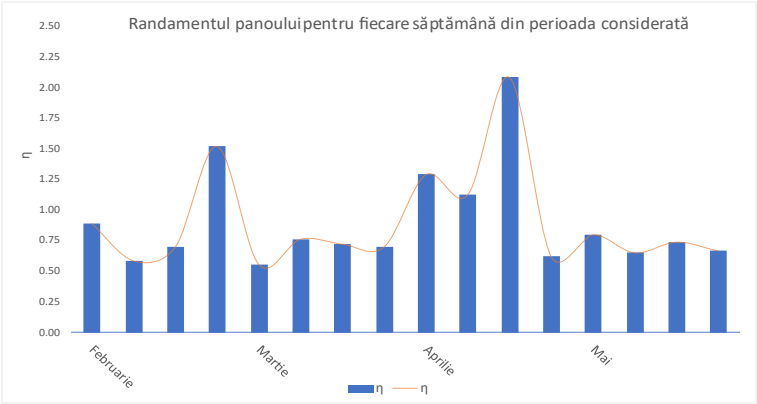


Fig. 2.16 Randamentul termic mediu săptămânal a panoului în perioada analizată.

Randamentul termic (η), mediu pentru fiecare săptămână din perioada considerată, considerând datele achiziționate, este expus în graficul din Figura 2.16.

Media randamentului panoului solar de încălzire cu aer cald pentru toată perioada analizată este de 0,797 pentru media radiației solare egală cu 265,337 W/m², media diferenței de temperatură cu valoarea de 6,693 K, debitul masic mediu al fluxului de aer egal cu 0,022 kg/s și o putere termică utilă medie de 151,011 W.

2.4 MODELAREA ȘI SIMULAREA UNUI PANOU SOLAR DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Panourile solare de încălzire cu aer cald sunt cea mai importantă componentă a unui sistem complex de utilizare a energiei solare, deoarece absorb radiația solară primită, o transformă în energie termică cu ajutorul unei suprafețe de absorbție și transmit energia captată unui fluid care curge prin colector.

2.4.1 Modelarea și simularea panoului considerat

Studiul unui panou solar de încălzire cu aer cald prin modelare și simulare este realizat utilizând metoda dinamicii fluidelor computaționale (CFD) [24], [26], [27], [61], [62], [63]. Programul ANSYS FLUENT este utilizat pentru a genera soluții numerice. Calculele au fost efectuate folosind metoda elementului finit. Modelele analizate precum și diferențele dintre acestea fac referire la panou solar de încălzire cu aer cald cu o priză de intrare a aerului și o priză de ieșire situate pe suprafața de absorbție (model 1); panou solar de încălzire cu aer cald cu prize multiple de intrare a aerului și o priză de ieșire situate pe suprafața de absorbție (model 2); panou solar de încălzire cu aer cald cu o priză de intrare a aerului și o priză de ieșire situate în partea de sus respectiv de jos a panoului (model 3). De asemenea pentru fiecare model s-au utilizat trei materiale diferite pentru construcția suprafeței de absorbție și anume: pâslă, aluminiu și cupru. Elementele modelelor realizate sunt prezentate în cele ce urmează.

Geometria panoului SAH. Panoul solar de încălzire cu aer cald, cu dimensiunile de 1020 × 720 × 55 mm, încorporează suprafața de absorbție realizată din pâslă de culoare neagră cu dimensiuni egale cu 1000 × 680 × 10 mm.

Rețeaua de discretizare a panoului SAH. Construcția unei rețele de discretizare se realizează cu ajutorul modulului de discretizare incorporat.

Descrierea matematică. O descriere matematică a modelului în formă generată este un sistem de ecuații care constă în ecuațiile continuității, ale legii conservării impulsului și ale legii conservării energiei. Pentru a modela dinamica mișcării aerului, se folosește grupul de renormalizare (RNG) a modelului de turbulență $k-\varepsilon$, derivat direct din ecuațiile Navier-Stokes incompresibile [28], [75], [76], [77].

Pentru această analiză valoare temperaturii de intrare a fost egală cu 273,15 K, valoarea radiației solare egală cu 830 W/m², iar fluxul de aer cu valorile de 1,5 m/s și 2,24 m/s.

2.4.2 Rezultate

Conturul temperaturii de pe suprafața de absorbție a radiației solare, pentru modelele propuse, cu fluxuri de aer egale cu 1,5 m/s și 2,24 m/s, este prezentat pentru toate tipurile de material asociate individual suprafeței de absorbție. Conturul temperaturii din interiorul panoului, pentru modelele analizate, cu fluxuri de aer egale cu 1,5 și 2,24 m/s, este prezentat în teză pentru toate tipurile de material asociate individual suprafeței de absorbție.

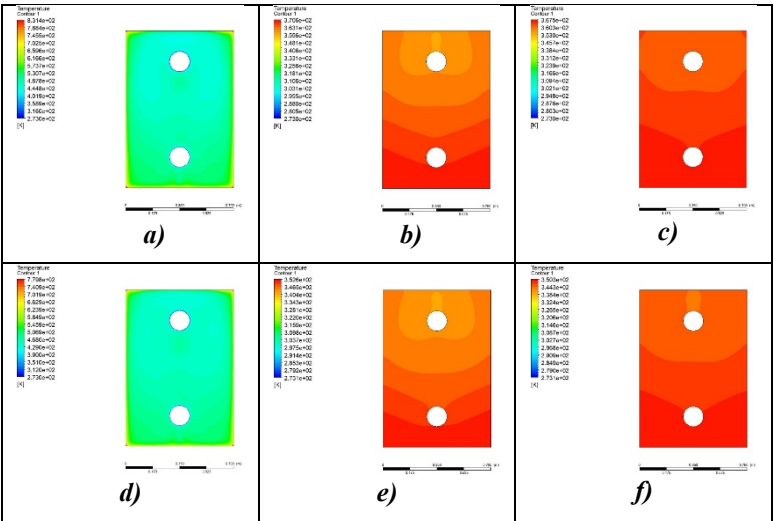


Fig. 2.17 Conturul temperaturii pe materialul de absorbție pentru model 1 cu suprafața de absorbție din pâslă (a, d), aluminiu (b, e) și cupru (c, f) pentru fluxuri de aer egale cu 1,5 (a, b, c) și 2,24 (d, e, f) m/s.

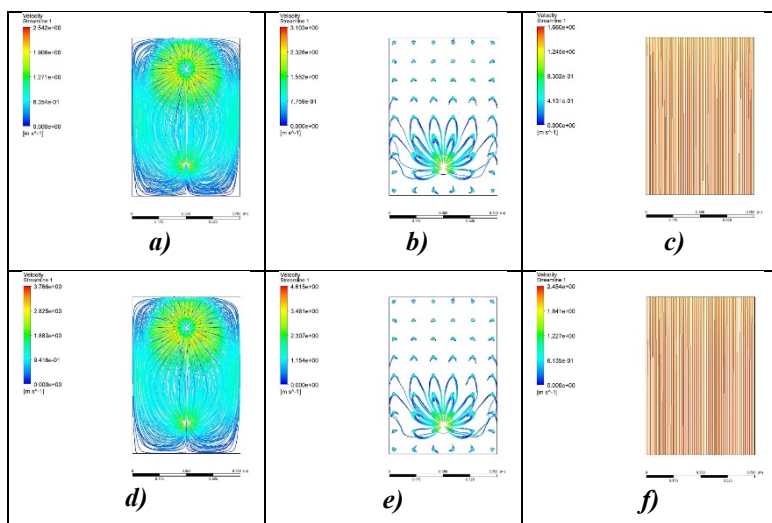


Fig. 2.18 Conturul liniilor fluxului de aer din panou pentru modelele 1 (a, d), 2 (b, e) și 3 (d, f) cu suprafața de absorbție din cupru pentru fluxuri de aer egale cu 1,5 (a, b, c) și 2,24 (d, e, f) m/s.

Liniile fluxului de aer din panou pentru modelele 1, 2 și 3 cu suprafața de absorbție din pâslă, aluminiu și cupru pentru fluxuri de aer egale cu 1,5 m/s și 2,24 m/s sunt de asemenea prezentate. Conturul vitezei fluxului de aer din interiorul panoului pentru modelele 1, 2 și 3 cu suprafața de absorbție din cupru pentru fluxuri de aer egale cu 1,5 m/s și 2,24 m/s este prezentat în Figura 2.18. Conturul presiunii din interiorul panoului pentru modelele 1, 2 și 3 cu suprafața de absorbție din cupru pentru fluxuri de aer egale cu 1,5 m/s și 2,24 m/s este prezentat.

2.5 DISCUȚII

Pentru modelele propuse, distribuția temperaturii este prezentată pe suprafața de absorbție și în contur, cu cele mai ridicate temperaturi în roșu și cele mai scăzute temperaturi în albastru. După cum se poate observa din imaginile analizate, distribuția temperaturii este destul de diferită pentru cele trei materiale. Imaginile arată distribuția temperaturii pe suprafața absorbantă a unui panou solar de încălzire cu aer cald realizat din diferite materiale, și anume pâslă, aluminiu și cupru. Debitul de aer

este de 1,5 m/s pentru partea de sus a imaginilor și 2,24 m/s pentru partea de jos.

Pâsla este un material poros cu o conductivitate termică scăzută. Aceasta înseamnă că absoarbe bine căldura, dar nu o transferă foarte repede fluxului de aer din panou. Ca urmare, temperatura pe suprafața pâslei poate fi destul de ridicată, chiar și la debite scăzute de aer. În imaginile analizate, temperatura suprafeței de absorbție din pâslă ajunge până la 83,14°C la un debit de aer de 1,5 m/s. Alumiuniul este un metal cu o conductivitate termică ridicată. Acest lucru înseamnă că absoarbe bine căldura și o transferă foarte repede aerului existent prin panou. Ca urmare, temperatura suprafeței de alumiuniu este mai mică decât cea a suprafeței de absorbție din pâslă, chiar și la debite scăzute de aer.

Imaginile studiate arată și distribuția presiunii într-un panou solar de încălzire cu aer cald cu diferite configurații de intrări și ieșiri. Debitul de aer este de 1,5 m/s pentru imaginile aflate superior și 2,24 m/s pentru cele aflate inferior în imagini.

2.6 CONCLUZII

Media eficienței panoului, analizat cu ajutorul sistemului de monitorizare, a fost de 80,736%, 68,819%, 86,641% și 70,663% pentru lunile februarie, martie, aprilie respectiv mai. Media puterii termice utile a panoului solar de încălzire cu aer cald pentru toată perioada analizată este de 151,011 W pentru media radiației solare egală cu 265,337 W/m², media diferenței de temperatură cu valoarea de 6,693 K, debitul masic mediu al fluxului de aer egal cu 0,022 kg/s, rezultând un randament mediu de 0,797. Comparând necesarul de căldură calculat pentru camera studiată, egal cu 814,664 W, și puterea termică utilă medie a panoului de 151,011 W rezultă că panoul acoperă doar 18,54% din necesarul total al camerei, în condițiile perioadei analizate.

Configurațiile cu mai multe intrări și o ieșire au o distribuție a presiunii mai uniformă decât configurațiile cu o intrare și o ieșire. Configurațiile de intrare și ieșire prin partea superioară respectiv inferioară au o distribuție a presiunii similară cu configurațiile de intrare și ieșire aflate pe spatele panoului, dar scăderea de presiune din panou este mai mare. Distribuția presiunii în interiorul unui panou solar de încălzire cu aer cald este importantă deoarece diferențele ridicate de presiune pot provoca stres asupra materialelor panoului, ceea ce poate duce la reducerea perioadei de utilizare.

Capitolul III

CONTRIBUȚII PRIVIND NOI TIPURI DE SISTEME SOLARE DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Panourile solare de încălzire cu aer cald sunt sisteme moderne concepute pentru a valorifica energia solară în scopul producerii de căldură utilizabilă, având aplicații variate precum încălzirea spațiilor, uscarea materialelor și ventilația. Eficiența acestor sisteme este determinată de capacitatea lor de conversie a energiei solare în căldură, fiind influențată de factori precum materialele utilizate în construcția suprafeței absorbante, tipul de geam protector și nivelul de izolație, toate contribuind semnificativ la optimizarea performanței energetice.

Pentru a asigura performanță și fiabilitate optime, monitorizarea echipamentului este crucială. Monitorizarea regulată permite evaluarea eficienței sistemului, identificarea oricăror probleme potențiale și întreținerea la timp pentru a preveni defecțiunile.

Invenția „Sistem solar de încălzire pentru menținerea încărcării bateriilor” [81], [82], [83] presupune utilizarea unui panou solar hibrid (termic și fotovoltaic) integrat în plafonul unui autovehicul, care transformă radiația solară în energie termică și electrică.

Invenția „Sistem pentru aerisire și ventilație” descrie un sistem de aerisire și ventilație care poate schimba între funcțiile pe care le îndeplinește.

3.1 SISTEM SOLAR HIBRID CU AJUSTARE AUTOMATĂ

Invenția „Sistem solar hibrid cu ajustare automată” face referire la un sistem solar hibrid ce are capacitatea de ajustare automată, pentru conversia energiei captate de la soare în energie electrică și energie termică, în același timp cu schimbarea autonomă a formei. Acest lucru este posibil deoarece echipamentul folosește o acționare termomecanică. Sistemul solar hibrid cu reglaje automate, care respectă standardele industriei, introduce un captator pentru schimbul de energie solară care asigură producția selectivă de energie electrică și termică. Forma sa încorporată este adaptabilă într-o manieră automată pe baza temperaturii externe sau a anotimpului, folosind actuatori din aliaje cu memorie a formei, ceea ce facilitează schimbarea formei generale într-o manieră autonomă și expunerea diferită a echipamentului la soare, în funcție de schimbările temperaturii înconjurătoare.

Invenția prezentată aduce numeroase avantaje pentru producerea energiei electrice și a energiei termice, concomitent și în funcție de anotimp. O descriere detaliată a acestor beneficii face referire la:

- *Posibilități extinse de producere hibridă a energiei.* Sistemul introduce noi opțiuni pentru producerea hibridă a energiei electrice și/ sau termice prin construcția dinamică și ajustarea automată a regimului de funcționare.
- *Flexibilitate.* Sistemul, datorită formei sale constructive, are capacitatea de a acoperi diverse nevoi de alimentare cu energie termică și energie electrică.
- *Integrare eficientă.* Sistemul utilizează alternant panourile de producere a energiei electrice și termice.
- *Echilibru.* Datorită automatizării sistemul evită supraîncălzirea panourilor.
- *Eficiență îmbunătățită.* Utilizarea alternantă și în funcție de anotimp a energiei solare contribuie la creșterea duratei de viață și la scăderea costurilor de mentenanță.

3.2 ANALIZA PERFORMANȚEI TERMICE A UNUI PANOU SOLAR DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD CU SURSE SUPLIMENTARE DE CĂLDURĂ

Dezvoltarea unui panou solar de încălzire cu aer este strâns legată de prezența radiației solare, fără de care nu este posibilă obținerea energiei termice. Scopul unui panou solar de aer îmbunătățit cu o eficiență termică suplimentară este de a maximiza conversia energiei solare în energie termică utilizabilă, crescând astfel performanța generală și rentabilitatea sistemului. Astfel, panoul proiectat și construit are în componență, pe lângă suprafața de absorbție eficientă, două surse suplimentare de căldură dependente de radiația solară.

Panoul solar de încălzire cu aer cald, proiectat și construit, utilizează o suprafață de absorbție realizată din tablă vopsită în negru. Aceasta include găuri de admisie și pâslă, care contribuie la captarea și menținerea eficientă a radiației solare. Acest sistem permite o analiză detaliată a performanței panoului solar. Astfel, monitorizarea continuă și evaluarea periodică a panoului solar de încălzire cu aer cald sunt esențiale pentru asigurarea unei eficiențe maxime și pentru identificarea eventualelor îmbunătățiri necesare [69], [74].

Panoul solar de încălzire cu aer cald achiziționat, panoul solar de încălzire cu aer cald proiectat și construit pentru studiu și echipamentele sistemului de monitorizare precum și punctele de instalare a senzorilor sunt prezentate în Figura 3.1.

În perioada 24 august ÷ 14 septembrie 2024, datele prelucrate au fost colectate în localitatea Ipotești, județul Suceava. Panourile solare de încălzire cu aer cald au fost montate pe exteriorul unei structuri rezidențiale, pe un perete adiacent camerei ce se dorește a fi încălzită. Toate echipamentele de achiziție a datelor au fost amplasate în imediata apropiere a panoului, mai concret în interiorul camerei studiate. Camera este orientată în direcția est-sud-vest (ESW), adică zori, prânz și amurg, iar panoul solar este orientat în direcția punctului cardinal sud. Cantitatea de radiație solară colectată și transformată în energie termică este orientată în direcția sud-vest (SV). Deoarece sistemul realizat a achiziționat o cantitate mare de date de-a lungul întregii perioade examinate, cu o valoare pe minut, doar o parte din aceste informații au fost alese pentru studiu, în special datele înregistrate între orele 14:00 și 19:30. Intervalul selectat indică momentul în care energia solară a fost incidentă pe panourile solare de încălzire cu aer cald (SAHs). Ca urmare a locației, intervalele care sunt excluse și nu sunt analizate nu sunt relevante datorită lipsei radiației solare.

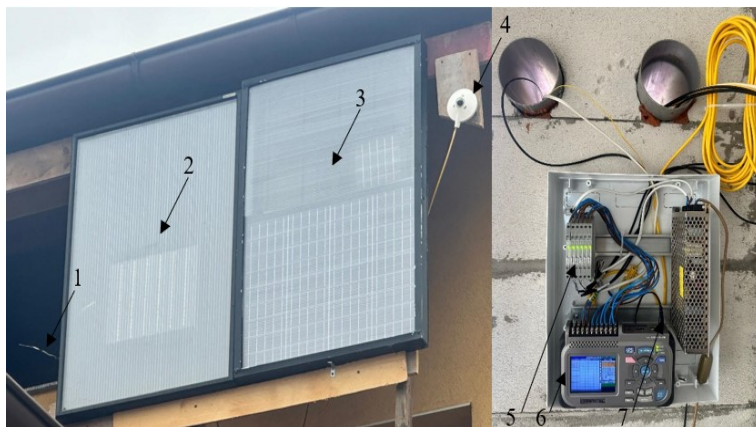


Fig. 3.1 Panourile, sistemul de monitorizare și punctele senzorilor instalați.

1 – senzor pentru temperatura atmosferică; 2 – senzor pentru temperatura aerului la ieșirea din panoul comercial; 3 – senzor pentru temperatura aerului la ieșirea din panoul proiectat și construit;

4 – senzor pentru iradianța solară; 5 – adaptoare pentru calibrarea senzorilor; 6 – echipament de achiziție a datelor primite de la senzori (GML200); 7 - sursă de alimentare de 24 V/6,5 A.

Conform graficelor realizate valoarea cea mai mare măsurată pentru temperatura aerului la ieșire a panoului achiziționat a fost de 55,08°C iar a panoului construit de 67,77°C pentru temperatura atmosferică egală cu 43,80°C și radiație solară de 884,60 W/m².

În urma colectării și analizei datelor, diferențele dintre valorile medii de temperatură atmosferică (T_{atm}), valorile medii ale temperaturii la ieșirea din panoul solar achiziționat (T_{out1}) și valorile medii ale temperaturii la ieșirea din panoul solar proiectat și construit (T_{out2}) au fost calculate pentru fiecare săptămână din perioada selectată.

Valoarea maximă medie zilnică pentru diferența dintre temperatura panoului achiziționat și temperatura atmosferică (ΔT_1) a fost de 11,595°C iar pentru diferența dintre temperatura panoului proiectat și construit și temperatura atmosferică (ΔT_2) a fost de 21,487°C pentru media zilnică maximă a radiației solare de 573,729 W/m² în ziua de 25 august. Valoarea medie zilnică pentru diferența dintre temperatura panoului proiectat și construit și temperatura panoului achiziționat (ΔT_3) a fost de maxim 10,718°C.

Randamentele termice (η) medii pentru fiecare zi din perioada studiată, considerând datele achiziționate, sunt expuse în graficele din Figura 3.2.

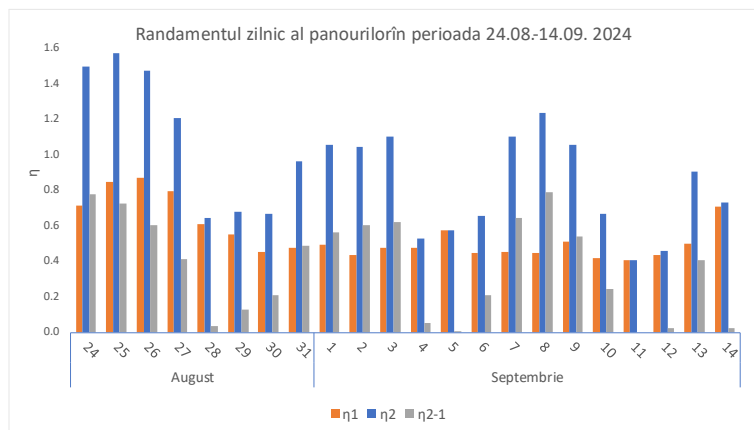


Fig. 3.2 Randamentul termic mediu zilnic al panourilor în perioada analizată.

Media randamentelor panourilor solare de încălzire cu aer cald pentru toată perioada analizată este de 0,505 pentru panoul achiziționat și 0,929 pentru panoul proiectat și construit; media radiației solare egală cu 331,014 W/m²; media diferenței de temperatură pentru panoul achiziționat cu valoarea de 5,445°C iar media diferenței de temperatură pentru panoul proiectat și construit egală cu 10,004°C; debitul masic mediu al fluxului de aer egal cu 0,022 kg/s; 119,466 W puterea termică utilă medie pentru panoul achiziționat și 219,499 W pentru panoul proiectat și construit.

3.3 MODELAREA ȘI SIMULAREA UNUI PANOU SOLAR DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD CU SURSE SUPLEMENTARE DE CĂLDURĂ

Panourile solare de încălzire cu aer cald reprezintă elementul esențial al unui sistem complex destinat valorificării energiei solare, fiind concepute pentru a capta radiația solară, a o converti în energie termică prin intermediul unei suprafețe absorbante și a transfera energia generată către un fluid care circulă în interiorul colectorului.

3.3.1. Modelarea și simularea panoului considerat

Analiza și optimizarea funcționării unui panou solar de încălzire cu aer cald sunt efectuate prin intermediul modelării și simulării digitale, folosind metoda dinamicii fluidelor computaționale (CFD). Această abordare permite examinarea detaliată a proceselor termodinamice și a comportamentului fluidului în interiorul sistemului, oferind o înțelegere profundă asupra eficienței și performanței acestuia. [24], [26], [27], [61], [62], [63]. Platforma ANSYS FLUENT este utilizat pentru a genera soluții numerice. Calculele s-au efectuat folosind metoda elementului finit.

Geometria panoului de tip SAH. Panoul solar de încălzire cu aer cald, având dimensiunile de $1020 \times 720 \times 55$ mm, integrează o suprafață absorbantă fabricată din păsă de culoare neagră, cu dimensiunile de $1000 \times 680 \times 3$ mm. Modelul sistemului include 54 de prize de intrare pentru aerul atmosferic, fiecare având o rază de 10 mm, alături de o priză de evacuare pentru aerul încălzit, cu o rază de 65 mm.

Rețeaua de discretizare a panoului SAH. Procesul de construire a unei rețele de discretizare este realizat utilizând modulul dedicat, integrat în sistemul de modelare. Pentru a crește precizia soluțiilor obținute, a fost optimizată structura rețelei prin crearea unei discretizări mai detaliate în proximitatea pereților suprafeței de absorbție. De asemenea, s-a realizat ajustarea dimensiunilor rețelei în anumite puncte cheie, pentru a se adapta nevoilor specifice ale simulării.

Descrierea matematică. Reprezentarea matematică a modelului se concretizează printr-un ansamblu de ecuații fundamentale, incluzând ecuațiile continuității, legea conservării impulsului și legea conservării energiei. Acestea descriu comportamentul fizic al sistemului și permit evaluarea interacțiunilor termodinamice și mecanice. Tot în acest pas s-au introdus materialele cu proprietățile acestora. Pentru simularea dinamicii mișcării aerului, se utilizează modelul de turbulență $k-\varepsilon$ bazat pe grupul de renormalizare SST (Shear Stress Transport), o metodă avansată care combină avantajele modelului $k-\varepsilon$ și $k-\omega$ pentru a oferi o predicție mai precisă a curgerii în stratul limită turbulent. Modelul SST este utilizat frecvent în simulările CFD pentru a trata zonele de separare a fluxului și pentru a îmbunătăți predicțiile în regimuri de curgere cu gradient de presiune ridicat. Această abordare asigură o precizie ridicată în analiza fenomenelor complexe ce implică mișcarea aerului. Pentru implementarea radiației s-a utilizat modelul DO (Discrete Ordinates), model utilizat pentru a rezolva ecuația de transfer radiativ (RTE) într-un număr finit de unghiuri solide discrete. Fiecare unghi solid este asociat cu o direcție vectorială fixă în sistemul global de coordonate carteziene. Acest model este frecvent utilizat în simulările CFD pentru a analiza

transferul de radiație în medii complexe. Avantajele acestui model includ capacitatea de a trata geometrii complexe și de a modela fenomene precum absorbția, emisia și împrăștierea radiației. Totuși, necesită resurse computaționale semnificative, mai ales pentru probleme tridimensionale [28], [75], [76], [77], [78], [79]. Pentru studiul actual radiația solară directă are valorile $695,4 \text{ W/m}^2$ respectiv 1400 W/m^2 , valoarea temperaturii de intrare a fost egală cu $40,98^\circ\text{C}$, iar masa fluxului de aer egală cu valoarea de $0,04212 \text{ kg/s}$.

3.3.2. Rezultate

Conturul liniilor fluxului de aer (*a*, *d*), conturul temperaturii (*b*, *e*) și conturul presiunii (*c*, *f*) în volum cu vedere frontală (*a*, *b*, *c*) și vedere din spate (*d*, *e*, *f*) pentru radiația solară egală cu $695,40 \text{ W/m}^2$ și debitul masic de aer cu valoarea de $0,04212 \text{ kg/s}$ sunt prezentate în Figura 3.3. Pentru radiația solară cu valoarea de 1400 W/m^2 și debitul masic de aer egal cu $0,04212 \text{ kg/s}$ conturul liniilor fluxului de aer (*a*, *d*), conturul temperaturii (*b*, *e*) și conturul presiunii (*c*, *f*) în volum cu vedere frontală (*a*, *b*, *c*) și vedere din spate (*d*, *e*, *f*) sunt prezentate în Figura 3.4. Pentru modelele analizate temperatura aerului la intrare este considerată temperatura atmosferică, egală cu $40,98^\circ\text{C}$, valoare măsurată în data de 26.08.2024 ora 15:11 în localitatea Ipotești, județul Suceava.

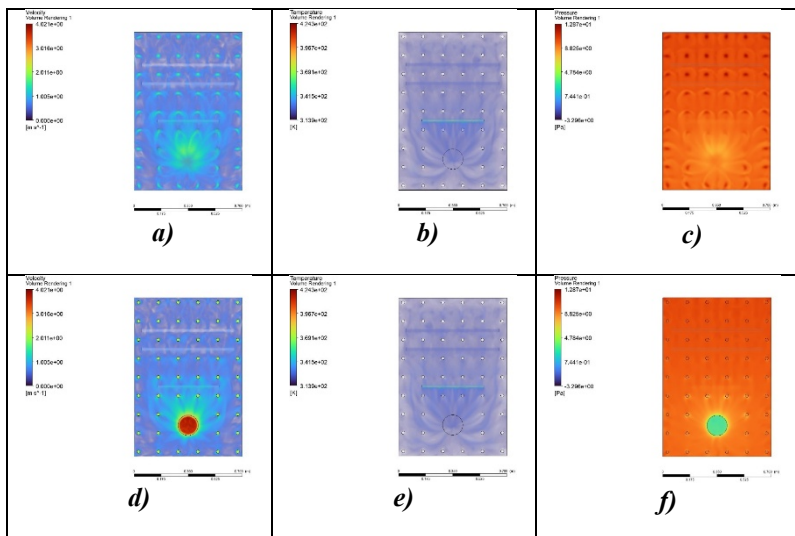


Fig. 3.3 Conturul liniilor fluxului de aer (*a*, *d*), conturul temperaturii (*b*, *e*) și conturul presiunii (*c*, *f*) în volum cu vedere frontală (*a*, *b*, *c*) și vedere din spate

(d, e, f) pentru radiația solară de $695,40 \text{ W/m}^2$ și debitul masic de aer egal cu $0,04212 \text{ kg/s}$.

Numărul Reynolds, ecuația 3 [80], pentru panoul solar de încălzire cu aer cald cu surse suplimentare de căldură determinat pentru priza de evacuare, în condițiile în care debitul masic de aer este egal cu $0,04212 \text{ kg/s}$ a avut aceeași valoare pentru iradiația de $695,40 \text{ W/m}^2$ cât și pentru iradiația de 1400 W/m^2 , a rezultat egal cu $29675,874$.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L_C}{\mu} \quad (3)$$

În ecuația (3) ρ reprezintă densitatea aerului cu valoarea de $1,225 \text{ kg/m}^3$, v este viteza medie a fluxului de aer în zona prizei de evacuare egal cu $3,3345 \text{ m/s}$, L_C este diametrul prizei de evacuare egal cu $0,13 \text{ m}$ iar μ este vâscozitatea aerului considerată $0,000017894 \text{ kg/ms}$. Coeficientul de frecare pentru rezistență și cadrul de aluminiu a avut valoarea de $0,0357$ respectiv $0,0221$ pentru ambele iradianțe considerate în studiu, de $695,40 \text{ W/m}^2$ și de 1400 W/m^2 .

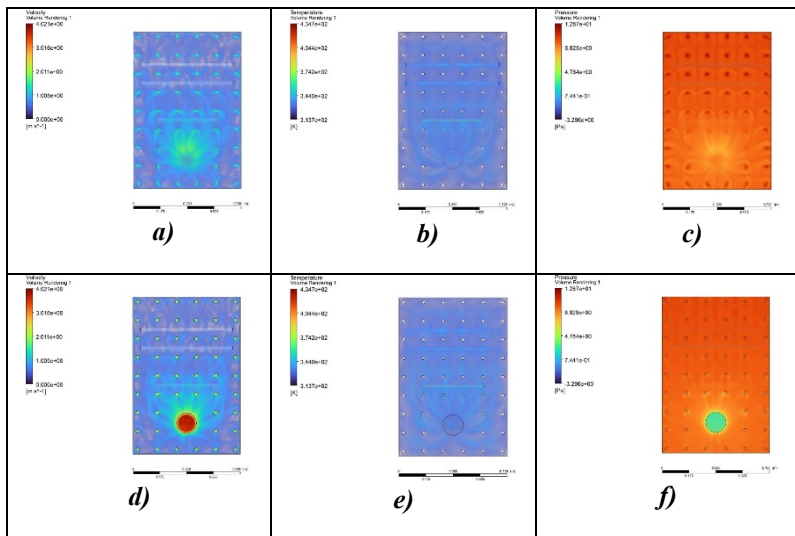


Fig. 3.4 Conturul liniilor fluxului de aer (a, d), conturul temperaturii (b, e) și conturul presiunii (c, f) în volum cu vedere frontală (a, b, c) și vedere din spate (d, e, f) pentru radiația solară de 1400 W/m^2 și debitul masic de aer egal cu $0,04212 \text{ kg/s}$.

Variațiile temperaturii în apropierea suprafeței de absorbție în zona prizei de evacuare în funcție de lățimea panoului solar de încălzire cu aer cald pentru iradiații solare egale cu $695,40$ și 1400 W/m^2 și debit masic de aer cu valoarea de $0,04212 \text{ kg/s}$ sunt reprezentate și se pot analiza în Figura 3.5.

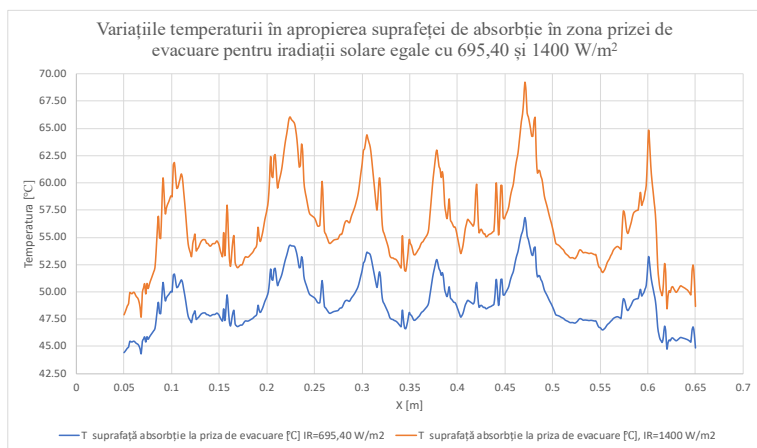


Fig. 3.5 Variațiile temperaturii în apropierea suprafeței de absorbție în zona prizei de evacuare în funcție de lățimea panoului solar pentru iradiații solare de $695,40$ și 1400 W/m^2 .

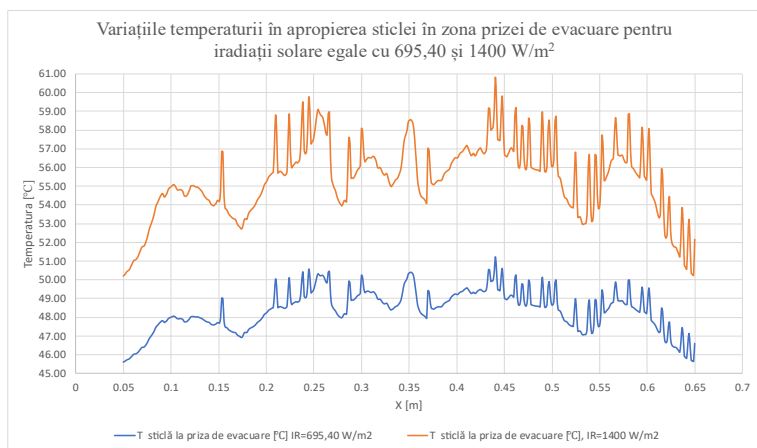


Fig. 3.6 Variațiile temperaturii în apropierea sticlei în zona prizei de evacuare în funcție de lățimea panoului solar pentru iradiații solare de $695,40$ și 1400 W/m^2 .

Variațiile temperaturii în apropierea sticlei în zona prizei de evacuare în funcție de lățimea panoului solar de încălzire cu aer cald pentru iradiații solare egale cu $695,40$ și 1400 W/m^2 și debitul masic de aer de $0,04212 \text{ kg/s}$ sunt reprezentate și se pot studia în Figura 3.24.

3.3.3. Discuții

În acest studiu rețeaua de discretizare, pentru a crește acuratețea simulării, a conținut un număr de aproximativ 2,15 milioane de elemente de discretizare și a fost realizată hibrid. Rețeaua de discretizare a fost realizată hibrid prin combinarea elementelor structurate cu cele nestructurate. Simulările, pentru radiațiile solare de $695,40 \text{ W/m}^2$ și 1400 W/m^2 , au fost realizate în două etape. Prima etapă a constat în rezolvarea ecuațiilor de impuls și de turbulență într-o stare staționară, pentru a obține complet domeniile de viteză respectiv de presiune din interiorul panoului solar de încălzire cu aer cald cu surse suplimentare de căldură.

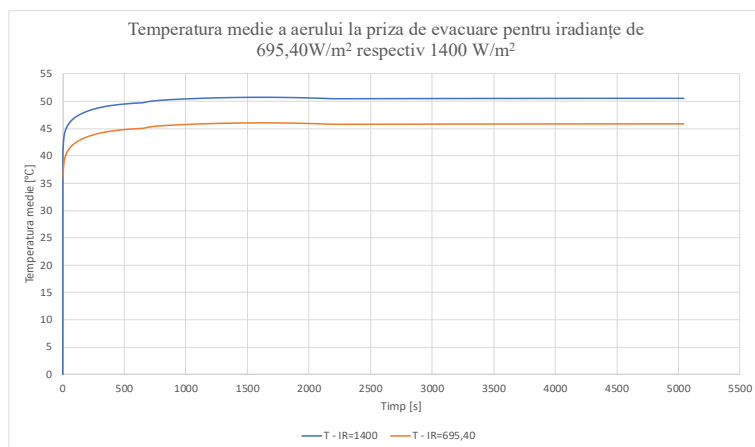


Fig. 3.7 Temperatură medie a aerului la priza de evacuare pentru iradianțe de $695,40 \text{ W/m}^2$ respectiv 1400 W/m^2 .

A doua etapă a inclus, de asemenea, rezolvarea energiei nestacionare și a ecuațiilor DO (Discrete Ordinates) pentru un timp de simulare de o oră. Din Figura 3.7 rezultă că temperaturile converg, pentru ambele iradianțe. Graficele prezentate în Figura 3.5 evidențiază variațiile temperaturii în apropierea suprafeței de absorbție în zona prizei de evacuare în funcție de lățimea panoului solar pentru iradiații solare de $695,40 \text{ W/m}^2$ și 1400 W/m^2 . Analizând graficele, se observă că temperatura este semnificativ mai ridicată pentru iradianța de 1400 W/m^2 ,

ceea ce sugerează o acumulare mai intensă a căldurii în suprafața de absorbție și în împrejurimi. Temperatura crește rapid în punctele inițiale și continuă să se majoreze progresiv până la atingerea valorilor maxime. În contrast, iradianța de $695,40 \text{ W/m}^2$ arată o creștere moderată a temperaturii, cu un gradient mai uniform care reflectă o distribuție termică mai echilibrată și controlată. Variațiile temperaturii în apropierea sticlei în zona prizei de evacuare în funcție de lățimea panoului solar sunt evidențiate în graficele prezentate în Figura 3.6. Analizând graficele, se observă că temperatura este semnificativ mai ridicată pentru iradianța de 1400 W/m^2 , față de iradianța de $695,40 \text{ W/m}^2$.

3.4 SISTEM SOLAR DE ÎNCĂLZIRE A BATERIILOR INTEGRAT ÎN PLAFONUL UNUI AUTOVEHICUL

Pentru a exploata energia solară în scopul încălzirii și încărcării bateriilor într-un sistem de stocare a energiei electrice, au fost dezvoltate mai multe soluții, CN101877364A, CN204368101U, CN108417909A [84], [85], [86]. Acestea constau într-un ansamblu de componente, dispozitive și echipamente care captează energia solară și o transformă în energie termică sau electrică. Scopul este de a menține o temperatură optimă și un nivel stabil de încărcare pentru elementele de stocare a energiei electrice, astfel încât să nu se descarce, degradeze sau distrugă la temperaturi ambientale scăzute [84], [85], [86].

În Figura 3.8 este reprezentată o vedere de ansamblu (de sus) a sistemului solar de încălzire pentru menținerea încărcării bateriilor unui autovehicul electric.

Soluțiile existente au dezavantajul de a fi complexe și de a utiliza surse de energie epuizabile. Acestea sunt compuse din ansambluri de componente, dispozitive și/sau echipamente care utilizează combinații neconvenabile între sisteme termice și/sau sisteme electrice. Din aceste motive, este necesară o strategie de control complexă, capabilă să gestioneze fluxul de energie termică și/sau energie electrică între toate elementele componente [84], [85], [86].

Invenția „Sistem solar de încălzire a bateriilor integrat în plafonul unui autovehicul” [81], [82], [83], menționată, utilizează o sursă de energie inepuizabilă (energia solară) pentru menținerea inteligentă a temperaturii și/sau nivelului de încărcare a bateriilor unui autovehicul. Sistemul transferă energie termică acumulată în aer cald, utilizat pentru încălzire și care produce energie electrică, utilizată pentru alimentare proprie și/sau pentru încărcare externă. Capacitatea de încălzire a

elementelor de stocare a energiei electrice este consolidată și eficientă, iar strategia de control de care dispune este favorabilă, prin aceea că în funcționare sistemul este acționat autonom și procesul este reglat automat. Această invenție utilizează un ansamblu specific de componente ce compun un sistem simplu și convenabil [81], [82], [83].

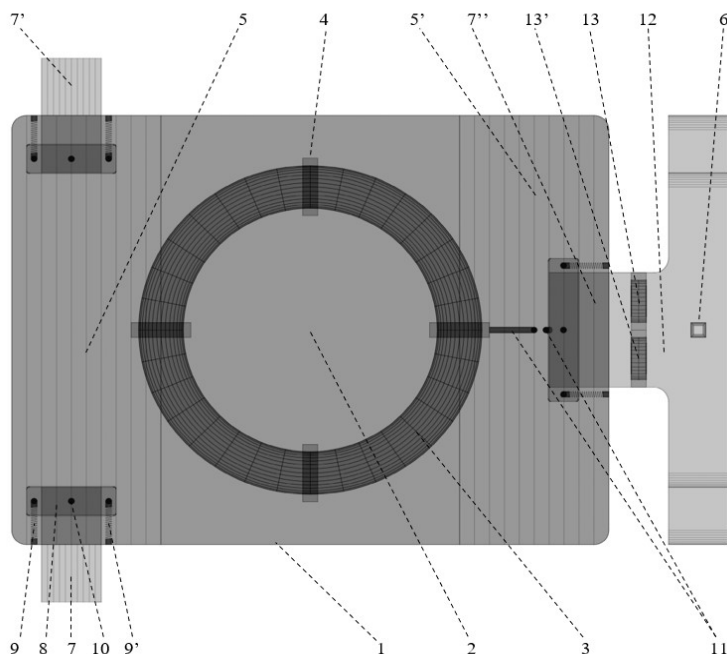


Fig. 3.8 Vedere de ansamblu a sistemului solar de încălzire pentru menținerea încărcării bateriilor.

1 – corp rectangular; 2 – panou transparent; 3 – acumulator termic cu lichid; 4 – suprafața de absorbție; 5, 5' – panouri solare; 6 – contact electric termostatat; 7, 7' – căi de admisie; 7'' – căi de evacuare; 8 – supapă mobilă; 9, 9' – arcuri de compresie; 10 – arcuri de acționare; 11 – contact electric; 12 – tubul de evacuare; 13, 13' – ventilatoare de evacuare; [81], [82], [83].

Invenția prezentată aduce numeroase avantaje pentru încălzirea și încărcarea bateriilor într-un autovehicul, în special în condiții de temperaturi scăzute. Iată o descriere detaliată a acestor beneficii [81], [82], [83]:

- *Posibilități extinse de încălzire și alimentare.* Sistemul introduce noi opțiuni pentru încălzirea cu aer cald și alimentarea cu energie electrică. Acesta menține adaptiv temperatura și nivelul de încărcare al elementelor de stocare a energiei electrice, care sunt vulnerabile la temperaturi scăzute.
- *Flexibilitate și compatibilitate.* Sistemul este simplu, flexibil și compatibil cu diverse nevoi de încălzire și alimentare electrică. Forma sa reprezintă un panou solar hibrid (termic și fotovoltaic) care furnizează atât energie termică, cât și electrică.

Aceste caracteristici fac din invenție o soluție promițătoare pentru viitorul mobilității durabile și eficiente [81], [82], [83].

3.5 SISTEM PENTRU AERISIRE ȘI VENTILARE

Invenția „Sistem pentru aerisire și ventilare” face referire la un echipament care poate schimba funcțiile de aerisire și ventilare pe care le realizează. Acest lucru se întâmplă pentru că are încorporate componente termo-mecanice, iar forma sa se modifică în funcție de temperatură. Invenția se concentrează în principal pe soluționarea problemelor tehnice prin combinarea elementelor de acționare termo-mecanice, care au o geometrie ce se schimbă și se adaptează în funcție de temperatură. Invenția se concentrează în principal pe soluționarea problemelor tehnice prin combinarea elementelor de acționare termo-mecanice, care au o formă variabilă și se adaptează în funcție de temperatură.

Sistemul de aerisire și ventilare rezolvă dezavantajele și problemele existente la variantele existente prin utilizarea unui disc sau elice cu pale realizate parțial dintr-un material metalic inteligent, care are proprietăți de memorie a formei în două direcții. Acest material își schimbă forma automat, în funcție de temperatura aerului blocat sau circulat. În plus, modelul discului sau elicei permite ajustarea unghiurilor de incidență și stabilizarea momentului unghiular.

Invenția aduce următoarele beneficii:

- *Posibilități extinse de aerisire și ventilare.* Sistemul deschide noi opțiuni pentru crearea clapetelor sau elicelor de ventilație, având o geometrie variabilă și utilizare hibridă;
- *Flexibilitate și compatibilitate.* Sistemul permite ajustarea formei pentru a controla blocarea, circulația și forțarea aerului, pentru a asigura o bună aerisire sau ventilare;

3.6 CONCLUZII

Utilizarea unui panou solar de încălzire cu aer cald, integrat cu elemente suplimentare de căldură, reprezintă o soluție sofisticată și versatilă pentru optimizarea proceselor de încălzire a spațiilor. Sistemul capitalizează pe capacitatea panourilor fotovoltaice de a genera energie electrică și pe funcționalitatea panoului de aer cald pentru transferul termic, creând astfel un ansamblu eficient și adaptabil la diverse nevoi.

Analiza termică evidențiată prin modelarea și simularea unui panou solar de încălzire cu aer cu surse suplimentare de căldură indică o convergență a valorilor temperaturii pentru ambele niveluri, studiate, de iradianță, reflectând o distribuție similară a căldurii în sistem. Examinarea detaliată a rezultatelor relevă faptul că, pentru o iradianță de $695,40 \text{ W/m}^2$, temperaturile medii înregistrate sunt de $45,85^\circ\text{C}$ pentru aerul evacuat. În ceea ce privește scenariul corespunzător iradianței de 1400 W/m^2 , graficele rezultate evidențiază temperaturi medii superioare, respectiv $50,52^\circ\text{C}$ pentru aerul de la priza de ieșire.

Brevetul „Sistem solar de încălzire pentru menținerea încărcării bateriilor” descrie un sistem inovator care îmbină utilizarea unui panou solar de încălzire cu aer cald pentru generarea aerului cald cu o structură optimizată ce menține funcționarea bateriilor la temperaturi adecvate. Aerul cald, produs prin absorbția energiei solare, este distribuit către o cameră special concepută în care sunt amplasate bateriile, cu scopul de a contracara efectele negative ale temperaturilor scăzute asupra eficienței acestora.

Varianta constructivă de ventilator cu utilizare în aerisire și ventilare eficientă se axează în principal pe rezolvarea problemelor tehnice prin îmbinarea elementelor de acționare termo-mecanice, care au forme variate și se ajustează în funcție de temperatură. Rectificând dezechilibrele care pot apărea la clapetele de aerisire sau la paletele de ventilare, această soluție poate fi utilizată atât pentru aerisire, cât și pentru ventilare. De asemenea, dispune de o structură flexibilă, care oferă trăsături utile ce contribuie la îmbunătățirea funcționalităților sale. Integrarea unui ventilator cu astfel de pale într-un panou solar de încălzire cu aer cald este o soluție tehnică, care poate optimiza eficiența sistemului.

Capitolul IV

CONCLUZII FINALE

În domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald, cele mai relevante direcții de cercetare din perioada analizată s-au concentrat pe optimizarea captării energiei solare și îmbunătățirea transferului termic prin integrarea unor suprafețe de absorbție inovatoare. Totodată, studiile au vizat implementarea și testarea unor multiple debite de aer pentru a determina impactul asupra eficienței sistemului, precum și explorarea unor metode avansate de experimentare, modelare și simulare. Energia, exergia și nanotehnologia, în ceea ce privește panourile solare de încălzire cu aer cald, sunt domenii ce oferă un potențial considerabil pentru îmbunătățirea performanțelor și optimizarea funcționării acestor sisteme. Pentru fiecare configurație analizată, variația parametrilor de funcționare joacă un rol esențial, influențând eficiențele termică, exergetică, energetică și efectivă. Optimizarea acestor sisteme vizează atingerea unei eficiențe termice maxime, iar pierderile minime de frecare contribuie la transferul optim de căldură. În general, eficiența termică a unui panou solar de încălzire cu aer cald crește odată cu intensificarea debitului de aer, însă acest fenomen este însoțit de creșterea pierderilor prin frecare, ceea ce poate limita performanța totală a panoului. Echipamentele de măsurare furnizează date esențiale privind comportamentul sistemelor solare în medii climatice variabile, oferind posibilitatea de a analiza eficiența funcționării și de a anticipa modul în care acestea vor reacționa în condiții diferite, facilitând astfel creșterea randamentului. În plus, temperaturile atmosferice mai ridicate pot afecta negativ performanța panourilor solare, deoarece reduc diferența de temperatură preluată de aerul din panou prin procesul de transfer termic, limitând astfel eficiența acestuia.

Analiza bibliometrică privind sistemele solare de încălzire cu aer cald oferă o perspectivă amplă asupra evoluției publicațiilor din acest domeniu, evidențiind tendințele care au marcat atenția cercetătorilor într-o anumită perioadă de timp. Această evaluare permite nu doar identificarea principalelor direcții de cercetare abordate, ci și o mai bună înțelegere a structurii fundamentale a cunoștințelor asociate acestor sisteme, contribuind la dezvoltarea unor abordări inovatoare pentru optimizarea performanțelor.

Sistemele de monitorizare a parametrilor climatici sunt esențiale pentru optimizarea eficienței panourilor solare de încălzire cu aer cald, oferind informații despre impactul temperaturii atmosferice, umidității, vântului și presiunii asupra performanței acestora. Graficele rezultate din studiile preliminare relevă faptul că temperatura aerului la ieșirea din panou este întotdeauna mai mare decât la intrare în prezența radiației solare, iar debitul de aer influențează capacitatea acestuia de a absorbi căldura, un debit de aer prin panou mai mic permițând un transfer mai eficient a energiei termice de la suprafața de absorbție către aer. Performanța unui panou solar de încălzire cu aer cald este direct dependentă de radiația solară și temperatura ambiantă, acestea determinând variațiile temperaturii de ieșire. Eficiența medie a sistemului variază în funcție de lunile analizate, iar puterea termică utilă generată acoperă doar o fracțiune din necesarul de căldură al camerei studiate. Media eficienței panoului, analizat cu ajutorul sistemului de monitorizare, a fost de 80,736%, 68,819%, 96,641% și 70,663% pentru lunile februarie, martie, aprilie respectiv mai. Media puterii termice utile a panoului solar de încălzire cu aer cald pentru toată perioada analizată este de 151,011 W pentru media radiației solare egală cu $265,337 \text{ W/m}^2$, media diferenței de temperatură cu valoarea de 6,693 K, debitul masic mediu al fluxului de aer egal cu 0,022 kg/s, rezultând un randament mediu de 0,797. Comparând necesarul de căldură calculat pentru camera studiată, egal cu 814,664 W, și puterea termică utilă medie a panoului de 151,011 W rezultă că panoul acoperă doar 18,54% din necesarul total al camerei, în condițiile perioadei analizate.

Analiza eficienței panoului, bazată pe datele de monitorizare, indică valori variabile în funcție de lunile analizate, cu o medie a randamentului de 0,797 și o putere termică utilă de 151,011 W. Acest rezultat arată că sistemul acoperă aproximativ 18,54% din necesarul total de încălzire al camerei studiate. În concluzie, acest sistem avansat, prin integrarea de tehnologii regenerabile, nu doar crește eficiența energetică, ci permite o gestionare inteligentă a fluxului termic, fiind ideal pentru aplicații rezidențiale, comerciale și industriale. Optimizarea relației dintre

radiația solară, temperatura și debitul de aer joacă un rol esențial în maximizarea eficienței acestui tip de echipament, oferind o soluție sustenabilă, durabilă și flexibilă pentru încălzirea spațiilor.

O soluție tehnologică avansată în domeniul gestionării energiei electrice pentru autovehicule este reprezentată de integrarea unui panou solar hibrid în plafonul acestora, având rolul de minimizare a descărcării, degradării și distrugerii sistemelor de stocare a energiei electrice. Această tehnologie nu doar protejează componentele de efectele temperaturilor scăzute, ci și transformă eficient radiația solară în energie termică și electrică, contribuind astfel la optimizarea proceselor de încălzire și îmbunătățirea durabilității bateriilor.

O configurație inovatoare de ventilator destinat aerisirii și ventilației eficiente se axează pe soluționarea provocărilor tehnice prin integrarea mecanismelor termo-mecanice capabile să se ajusteze automat în funcție de temperatură. Aceste sisteme adaptative rectifică dezechilibrele potențiale ale clapetelor de aerisire și paletelor de ventilare, îmbunătățind gestionarea fluxului de aer în diverse aplicații. Structura flexibilă a ventilatorului adaugă avantaje funcționale, sporind performanța generală a sistemului. Integrarea unui ventilator cu pale reglabile termic într-un panou solar de încălzire cu aer cald contribuie semnificativ la optimizarea eficienței termice.

4.1. CONTRIBUȚII PERSONALE ALE AUTORULUI

Contribuții teoretice:

- Realizarea unei analize bibliografice cu privire la stadiul actual al publicațiilor indexate WEB of Science din domeniul sistemelor de încălzire cu aer cald, ce a cuprins 1355 de articole științifice indexate;
- Realizarea unei clasificări a sistemelor solare de încălzire cu aer cald și identificarea celor mai utilizate modele;
- Analiza și clasificarea materialelor folosite în realizarea diverselor topuri de panouri solare pentru aer cald și a straturilor aplicate pe suprafețele de absorbție;
- Analiza și clasificarea diferitelor suprafețe de absorbție a radiației solare pentru panourile solare pentru producerea de aer cald utilizate în configurațiile analizate;

- Analiza și clasificarea fluxurilor de aer și a pasajelor de aer pentru panourile solare utilizate la producerea de aer cald utilizate;
- Analiza sistemelor hibride solare și a aplicațiilor acestora utilizate în scopuri industriale sau în zone locative;
- Analiza bibliometrică cu privire la domeniile de utilizare, configurații, locația centrelor de cercetare prolifiche, numărul lucrărilor științifice indexate pe ani, ponderea articolelor ce au ca subiect sistemele solare pentru aer cald, tendința în cercetare, rețelele de colaborare internațională;
- Descrierea metodelor de analiză și analiza de performanță a unui sistem solar de încălzire cu aer cald pentru o camera de locuit, definirea parametrilor energetici, exergetici și de performanță și a relațiilor de calcul a acestora, evaluarea necesarului de căldură;
- Modelarea și simularea unui panou solar pentru aer cald provenit din comerț folosind metoda elementului finit;
- Realizarea documentației tehnice pentru brevetarea unui sistem solar hibrid cu ajustare automată destinat încălzirii, ce are capacitatea de ajustare automată, pentru conversia energiei captate de la soare în energie electrică și energie termică;
- Realizarea documentației tehnice pentru brevetarea unui sistem solar de încălzire pentru menținerea încălzirii bateriilor într-un sistem solar electric cu stocare a energiei;
- Realizarea documentației tehnice pentru brevetarea unui sistem pentru aerisire și ventilare;
- Modelarea și simularea unui panoului solar cu surse suplimentare de căldură proiectat și realizat, folosind metoda elementului finit.

Contribuții practice și experimentale:

- Evaluarea necesarului de căldură în cazul utilizării unui solar de încălzire cu aer cald pentru o camera de locuit utilizând dimensiunile incintei, materialele folosite în construcția acesteia, prin analiza rezistenței termice, coeficienții specifici de transfer termic, parametrii climatici, coeficienții de pierderi și de cuplaj termic;
- Proiectarea, realizarea și testarea unui sistem de monitorizare și achiziție a datelor pentru un panou cu aer cald folosind un sistem de achiziții de date de la National Instruments și un instrument virtual realizat în LabVIEW;
- Proiectarea, realizarea și testarea unui sistem de monitorizare și achiziție a datelor pentru un panou cu aer cald folosind un sistem

datalogger, ținând cont de o serie de parametri: mediu, fiabilitate, întreținere, siguranță, costuri;

- Analiza datelor achiziționate pentru un sistem de încălzire cu aer cald pentru o cameră rezidențială și a performanțelor înregistrate, compararea acestora cu datele obținute în urma modelării și simulării panoului solar folosit utilizând metoda elementului finit;
- Proiectarea, realizarea punerea în funcțiune și testarea unui sistem solar cu surse suplimentare de căldură;
- Analiza datelor achiziționate pentru un sistem de încălzire solar cu surse suplimentare de căldură și a performanțelor înregistrate, compararea acestora cu datele obținute în urma modelării și simulării panoului solar folosit utilizând metoda elementului finit.

4.2. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE VIITOARE

Cercetarea în domeniul sistemelor solare de încălzire cu aer cald continuă să evolueze, iar viitoarele direcții de studiu pot contribui semnificativ la îmbunătățirea eficienței și aplicabilității acestor tehnologii. Integrarea nanotehnologiei în sistemele solare de încălzire cu aer cald (SAH) reprezintă o direcție promițătoare de cercetare, cu potențial de îmbunătățire semnificativă a eficienței și performanței acestor sisteme, considerând următoarele aspecte cheie:

- *Nanomateriale pentru suprafețele de absorbție.* Utilizarea materialelor nanostructurate, cum ar fi nanoparticulele de oxid de cupru sau dioxid de titan, poate crește capacitatea de absorbție a radiației solare și îmbunătăți transferul de căldură;
- *Nanofluide pentru îmbunătățirea fluxului de aer.* Introducerea nanofluidelor în sistemele de circulație a aerului poate optimiza transferul termic și reduce pierderile de energie.

Considerarea unor posibile alternative la parafină care pot fi utilizate ca materiale cu schimbare de fază (PCM) în sistemele solare de încălzire cu aer cald precum:

- *Săruri hidratate.* Acest tip de PCM prezintă o capacitate mare de stocare a energiei termice și o conductivitate termică mai bună decât parafina. Ele pot fi utilizate pentru îmbunătățirea eficienței panourilor solare și pentru stabilizarea temperaturii în sistemele de încălzire;

- *Eutectice organice și anorganice.* Aceste materiale combină mai multe componente pentru a obține puncte de topire specifice și proprietăți termice optimizate. Ele pot fi testate în aplicații de stocare a energiei pentru a reduce pierderile de căldură și a îmbunătăți performanța panourilor solare de încălzire cu aer cald.

ACTIVITATE ȘTIINȚIFICĂ

- [1]. **V.C. Ifrim**, “Studiul impactului sistemelor solare asupra mediului,” *2022 Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master, PhD students*, Chisinau, Moldova, 2022, vol. 1, pp. 66-70, ISBN 978-9975-45-828-3, <http://repository.utm.md/handle/5014/20736>.
- [2]. **V.C. Ifrim** and O.V. Grosu, “Review of thermal performance enhancement of Solar Air Heater using baffles on absorber plate,” *2022 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, 2022, pp. 28-35, <https://doi.org/10.1109/DAS54948.2022.9786129>.
- [3]. **V.C. Ifrim** and T. Pop, “Review of thermal performance enhancement of Solar Air Heater using shapes on absorber plate,” *2022 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, 2022, pp. 19-27, <https://doi.org/10.1109/DAS54948.2022.9786124>.
- [4]. **V.C. Ifrim**, L.D. Milici and C. Bejenar, “Review on solar air heater hybrid systems thermal performances,” *2022 1st International Conference on Electromagnetic Fields, Signals and BioMedical Engineering*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2022, Sibiu, Romania, vol. 1254, 012013, <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1254/1/012013>.
- [5]. **V.C. Ifrim**, C. Bejenar, L.D. Milici and P. Atănăsoae, “LabVIEW-based solar air heater monitoring system,” *2022 International Conference Annual Session of Scientific Papers*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2022, Oradea, Romania, vol. 1256, 012036, <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1256/1/012036>.
- [6]. **V.C. Ifrim**, L.D. Milici, P. Atănăsoae, D. Irimia and R.D. Pentiuc, “Future Research Tendencies and Possibilities of Using Cogeneration Applications of Solar Air Heaters: A Bibliometric Analysis,” *Energies*, 2022, vol. 15, issue 19, 7114, <https://doi.org/10.3390/en15197114>.
- [7]. **V.C. Ifrim**, C. Buzduga, T. Pop and C. Bejenar, “Analytical Performance Investigation of a Commercial Solar Air Heater,” *2022 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*, 2022, pp. 107-112, <https://doi.org/10.1109/EPE56121.2022.9959741>.

- [8]. **V.C. Ifrim**, T. Pop and C. Bejenar, “Review of solar air heaters embedded with phase-change materials (PCM) for better performances,” *2022 17th International Conference of Constructive Design and Technological Optimization in Machine Building*, JESR, Vol. 29, No. 2, pp. 37-46, 2023, Bacau, Romania, <https://jesr.ub.ro/1/article/view/381/>, <http://doi.org/10.29081/jesr.v29i2.004>.
- [9]. **V.C. Ifrim** and T. Pop, “Better efficiencies of solar air heaters achieved with different airflows - a brief review -,” *2022 17th International Conference of Constructive Design and Technological Optimization in Machine Building*, 2022, Bacau, Romania, <https://jesr.ub.ro/1/article/view/395>, <https://doi.org/10.29081/jesr.v29i3.004>.
- [10]. **V.C. Ifrim**, L.D. Milici, T. Pop and C. Ungureanu, “Electric Discharges and Dielectric Barrier Influence on Electric Field Distribution in Solar Air Heater Systems,” *2023 14th International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*, Craiova, Romania, 2023, pp. 1-11, <https://doi.org/10.1109/SIELMEN59038.2023.10290743>.
- [11]. **V.C. Ifrim**, C. Bejenar, C. Ungureanu, L. D. Milici și P. Atănăsoae, “Sistem solar hibrid cu ajustare automată”, în Cerere de brevet de invenție nr. A 2024 00649, Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci (OSIM), București, România, 2024.
- [12]. **V.C. Ifrim**, C. Bejenar, M. Paval and Z. Israeli, “Solution for Hybrid System in Improving the Energy Efficiency of Photovoltaic Panels”, în The Scientific Bulletin Addendum, nr. 9, ed. Academia Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu”, Sibiu, România, 2024, ISSN: 2501-3157.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. SINGH, V.P.; JAIN, S.; KARN, A.; KUMAR, A.; DWIVEDI, G.; MEENA, C.S.; DUTT, N.; GHOSH, A.; *Recent Developments and Advancements in Solar Air Heaters: A Detailed Review*, Sustainability, Vol. 14, Issue 19, Pp. 12149, 2022, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12149>.
- [2]. PUSHK K. K.; RAHUL B.; *Review Study on Solar Air Heater*, Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST), Vol. 3, Issue 3, Pp. 127-138, 2019, <https://ajast.net/data/uploads/10114.pdf>.
- [3]. DENZER, A.; *The Solar House: Pioneering Sustainable Design*, Solar House. History. 2013, accesat la date de 22.05.2024, <http://solarhousehistory.com/>.
- [4]. EKKA, J.; POONAM, P.; MUTHUKUMAR, K.B.; KANAUJIYA, D.K.; PAKSHIRAJAN, K.; *Performance studies on mixed-mode forced convection solar cabinet dryer under different air mass flow rates for drying of cluster fig*, Solar Energy, Vol. 229, Pp. 39-51, ISSN 0038-092X, 2021, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.086>.
- [5]. SOMWANSHI, A.; SARKAR, N.; *Thermal performance of a dual-purpose collector-cum-storage type air-water heater*, Applied Thermal Engineering, Vol. 171, Pp. 115094, 2020, <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115094>.
- [6]. KARIM, M. A.; PEREZ, E.; AMIN, Z. M.; *Mathematical modelling of counter flow v-groove solar air collector*, Renewable Energy, Vol. 67, Pp. 192-201, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.027>.
- [7]. MOSHERY, R.; CHAI, T.Y.; SOPIAN, K.; FUDHOLI, A.; AL-WAELI, A.H.A.; *Thermal performance of jet-impingement solar air heater with transverse ribs absorber plate*, Solar Energy, Vol. 214, Pp. 355-366, 2021, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2020.11.059>.
- [8]. SRIVASTAVA, R.K.; RAI, A.K.; *A Review on Solar Air Heater Technology*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, Vol. 8, Pp. 1122-1131, Issue 7, ISSN: 0976-6340, 2017. https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_8_ISSUE_7/IJMET_08_07_122.pdf.

- [9]. IFRIM, V.C.; BUZDUGA, C.; POP, T. and BEJENAR, C.; Analytical Performance Investigation of a Commercial Solar Air Heater, 2022 *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*, 2022, pp. 107-112, <https://doi.org/10.1109/EPE56121.2022.9959741>.
- [10]. U.S. DEPARTMENT of ENERGY; *The History of Solar*, Energy Efficiency and Renewable Energy, accesat la data de 14.05.2024, https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf.
- [11]. BUTTI, K.; PERLIN, J. A.; *Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology*, Solar Cooking Archive, Solar Cookers International (Sacramento, California), accesat la data de 17.05.2024, <http://www.solarcooking.org/saussure.htm>.
- [12]. THERMAL ENGINEERING; *8 Types of Solar Air Heaters for Eco-Friendly Heatin*, accesat la data de 24.05.2024, <https://www.thermal-engineering.org/8-types-of-solar-air-heaters-for-eco-friendly-heating/>.
- [13]. HETER GUIDE; *Pros and Cons of Solar Air Heaters*, accesat la data de 23.05.2024, <https://heaterguides.com/pros-and-cons-of-solar-air-heaters/>.
- [14]. MOR, S.; KHAN, M.U.; KUMAR, N.; SIKARWAR, B.S.; SACHDEVA, G.; *Recent Advances in Performance-Enhancing Parameters of Solar Air-Heater: A Review*, Interdisciplinary Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Pp. 43-57, ISBN: 978-981-15-9956-9, 2021, https://doi.org/10.1007/978-981-15-9956-9_5.
- [15]. ANAND, K.P.; *Technological Innovations in Solar Heater Materials and Manufacturing*, United international journal for research & technology (UIJRT), Vol. 4, Issue 11, ISSN: 2582-6832, 2023, <https://uijrt.com/articles/v4/i11/UIJRTV4I110003.pdf>.
- [16]. KUMAR, R.; VERMA, S.K.; THAKUR, A.K.; SHARMA, A.; ALAM, T.; YADAV, A.S.; *Performance Evaluation of Solar Air Heater Absorber Plate with Nanoparticles Coating*, Renewable Energy: Accelerating the Energy Transition. Energy Systems in Electrical Engineering. Springer, Pp. 73-91, 2023, https://doi.org/10.1007/978-981-99-6116-0_5.
- [17]. KUMAR, B.V.; MANIKANDAN, G.; KANNA, P.R.; TALER, D.; TALER, J.; NOWAK-Ocłoń, M.; MZYK, K.; TOH, H.T.; *A Performance Evaluation of a Solar Air Heater Using Different Shaped Ribs Mounted on the Absorber Plate—A Review*, Energies 2018, 11, 3104, <https://doi.org/10.3390/en11113104>.
- [18]. KABEEL, A.E.; HAMED, Mofreh H.; OMARA, Z.M.; KANDEAL, A.W.; *Solar air heaters: Design configurations, improvement methods and*

- applications – A detailed review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 70, 2017, Pp. 1189-1206, ISSN: 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.021>.
- [19]. SHARMA, Ashutosh; CHAUHAN, Ranchan; KALLIOĞLU, Ali Mehmet; CHINNASAMY, Veerakumar; SINGH, Tej; *A review of phase change materials (PCMs) for thermal storage in solar air heating systems*, Materials Today: Proceedings, Volume 44, Part 6, 2021, Pages 4357-4363, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.560>.
- [20]. ARUNKUMAR, H.S.; KARANTH, K. Vasudeva; KUMAR, Shiva; *Review on the design modifications of a solar air heater for improvement in the thermal performance*, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 39, 2020, 100685, ISSN 2213-1388, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100685>.
- [21]. MINISTRY, of agriculture, food and rural affairs; *Solar Air Heating Systems*, Engineering, accesat la data de 19.02.2022, http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/sol_air.htm#:~:text=Solar%20air%20heating%20technologies%20use,through%20buildings%20to%20provide%20heat.
- [22]. GHOLAMI, A.; AJABSHIRCHI, Y.; RANJBAR, S.F.; *Thermo-economic optimization of solar air heaters with arcuate-shaped obstacles*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 138, 1395–1403 (2019), <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08273-x>.
- [23]. BIÇER, Ayşe; DEVECIOĞLU, G. Atilla; ORUÇ, Vedat; TUNCER, Zafer; *Experimental investigation of a solar air heater with copper wool on the absorber plate*, 2020, International Journal of Green Energy, 17:15, 979-989, <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1818245>.
- [24]. RAJ, A K.; SRINIVAS, M.; JAYARAJ, S.; *Transient CFD Analysis of Macro-Encapsulated Latent Heat Thermal Energy Storage Containers Incorporated within Solar Air Heater*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 156, 2020, 119896, ISSN 0017-9310, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119896>.
- [25]. ABUŞKA, M.; KAYAPUNAR, A.; *Experimental and numerical investigation of thermal performance in solar air heater with conical surface*, Heat Mass Transfer, 57, 1791–1806 (2021), <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03054-5>.
- [26]. SINGH, Ajeet Pratap; SINGH, O.P.; *Performance enhancement of a curved solar air heater using CFD*, Solar Energy, Volume 174, 2018, Pages 556-569, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.053>.

-
- [27]. DESISA, D.G.; SHEKATA, G.D.; *Performance Analysis of Flat-Plate and V-groove Solar Air Heater Through CFD Simulation*, 2020, International Journal of Renewable Energy Development, 9(3), 369-381, <https://doi.org/10.14710/ijred.2020.30091>.
- [28]. GUPTA, B; KUMAR, A.; KUSHWAHA, R.; SHUKLA, A. P.; *Experimental and CFD Analysis of Solar Air Heater with Rectangular Shaped Hollow Bodies*, 2nd International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA), 2018, pp. 69-73, <https://doi.org/10.1109/ICGEA.2018.8356303>.
- [29]. KHOSRAVI, M.; KHOSHVAGHT-Aliabadi, M.; MORTAZAVI, S.; *Hydrothermal Performance Augmentation of a Rectangular Channel Via Novel Designs of Transverse Turbulators: An Insight into Performance Improvement of Solar Air Heaters*, Experimental Techniques, 2021, <https://doi.org/10.1007/s40799-021-00523-8>.
- [30]. BHATTACHARYYA, Suvanjan; CHATTOPADHYAY, Himadri; GUIN, Anindya; BENIM, Ali Cemal; *Investigation of Inclined Turbulators for Heat Transfer Enhancement in a Solar Air Heater*, 2019, Heat Transfer Engineering, 40:17-18, 1451-1460, <https://doi.org/10.1080/01457632.2018.1474593>.
- [31]. JEDSADARATANACHAI, W.; BOONLOI, A.; *3D numerical analysis on mechanisms of flow and heat transfer in a square channel with right triangular wavy surfaces*, Thermophysics and Aeromechanics, 25, 387-404, 2018, <https://doi.org/10.1134/S0869864318030071>.
- [32]. SINGH, Satyender; SINGH, Ankit; CHANDER, Subhash; *Thermal performance of a fully developed serpentine wavy channel solar air heater*, Journal of Energy Storage, Volume 25, 2019, 100896, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100896>.
- [33]. FARAHANI, Somayeh Davoodabadi; SHADI, Milad; *Optimization-decision making of roughened solar air heaters with impingement jets based on 3E analysis*, International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 129, 2021, 105742, ISSN 0735-1933, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105742>.
- [34]. MAITHANI, Rajesh; SHARMA, Sachin; KUMAR, Anil; *Thermo-hydraulic and exergy analysis of inclined impinging jets on absorber plate of solar air heater*, Renewable Energy, Volume 179, 2021, Pages 84-95, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.013>.
- [35]. CHOI, H.U.; CHOI, K.H.; *Performance Evaluation of PV/T Air Collector Having a Single-Pass Double-Flow Air Channel and Non-Uniform*

- Cross-Section Transverse Rib*, Energies 2020, 13, 2203,
<https://doi.org/10.3390/en13092203>.
- [36]. AHMED, Farah Ejaz; LALIA, Boor Singh; HASHAIKEH, Raed; HILAL, Nidal; *Alternative heating techniques in membrane distillation: A review*, Desalination, Volume 496, 2020, 114713, ISSN 0011-9164,
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114713>.
- [37]. SOOMRO, S.H.; SANTOSH, R.; BAK, C.U.; KIM, W.S.; KIM, Y.D.; *Humidification-Dehumidification Desalination System Powered by Simultaneous Air-Water Solar Heater*, Sustainability 2021, 13, 13491,
<https://doi.org/10.3390/su132313491>.
- [38]. WIKIPEDIA; *Bibliometrics*, accesat la data de 30.01.2022,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Bibliometrics>.
- [39]. UNIVERSITY OF LEEDS; *Responsible Research Metrics*, Research Metrics, accesat la data de 30.01.2022,
https://library.leeds.ac.uk/info/1406/researcher_support/17/research_metrics.
- [40]. UNIVERSITY OF LEEDS; *Bibliometric Measures*, Research Metrics, accesat la data de 30.01.2022,
https://library.leeds.ac.uk/info/1406/researcher_support/17/research_metrics/2.
- [41]. MAHMUDUL, H.M.; RASUL, M.G.; AKBAR, D.; NARAYANAN, R.; MOFIJUR, M.; *A comprehensive review of the recent development and challenges of a solar-assisted biodigester system*, Science of The Total Environment, Volume 753, 2021, 141920, ISSN 0048-9697,
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141920>.
- [42]. ZHANG, Wei; LAI, Wenzhen and CAO, Rui; *Energy-Related Small Molecule Activation Reactions: Oxygen Reduction and Hydrogen and Oxygen Evolution Reactions Catalyzed by Porphyrin- and Corrole-Based Systems*, Chemical Reviews 2017 117 (4), 3717-3797,
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00299>.
- [43]. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.019>.
- [44]. COWANA, J. Alexander; DURRANTA, R. James; *Long-lived charge separated states in nanostructured semiconductor photoelectrodes for the production of solar fuels*, Chemical Society Reviews, 2013,42, 2281-2293,
<https://doi.org/10.1039/C2CS35305A>.
- [45]. ATIKA, Qazi; FAYAZ, Hussain; NASRUDIN, ABD. Rahim; GLENN, Hardaker; DANIYAL, Alghazzawi; KHALED, Shaban; KHALID, Haruna; *Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions*, in IEEE Access, vol. 7, pp. 63837-63851, 2019, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402>.

- [46]. HUGHES, D. Michael; WANG, Shu-Yi; BORCA-Tasciuc, Diana-Andra; KAMINSKI, A. Deborah; *Analysis of ultra-thin crystalline silicon solar cells coupled to a luminescent solar concentrator*, Solar Energy, Volume 122, 2015, Pages 667-677, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.09.029>.
- [47]. LI, Ting Ting; XU, Guo Qiang; QUAN, Yong Kai; *A Review on Hybrid Solar Power System Technology*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 281, Pp. 554-562, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.281.554>.
- [48]. SINGH, G.K.; *Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review*, Energy, Volume 53, 2013, Pages 1-13, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057>.
- [49]. WESELEK, A.; EHMANN, A.; ZIKELI, S.; LEWANDOWSKI, I.; SCHINDELE, S.; HÖGY, P.; *Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review*, Agronomy for Sustainable Development, 39, 35 (2019), <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>.
- [50]. THAMYRES, Machado David; PALOMA, Maria Silva Rocha Rizol; MACHADO, Marcela Aparecida Guerreiro; BUCCIERI, Gilberto Paschoal; *Future research tendencies for solar energy management using a bibliometric analysis, 2000–2019*, Heliyon, Vol. 6, Issue 7, 2020, e04452, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04452>.
- [51]. JAIN, S. K.; AGRAWAL, G. D.; MISRA, R.; VERMA, P.; RATHORE, S.; JAMUWA, D. K.; *Performance Investigation of a Triangular Solar Air Heater Duct Having Broken Inclined Roughness Using Computational Fluid Dynamics*, ASME. Journal of Solar Energy Engineering, Dec. 2019; 141(6): 061008, <https://doi.org/10.1115/1.4043751>.
- [52]. PARTHASARATHY, Prakash; PAMBUDI, Nugroho Agung; *Performance study of a solar chimney air heater*, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 14, 2019, 100437, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100437>.
- [53]. AZAIZIA, Zaineb; KOOLI, Sami; HAMDİ, İlhem; ELKHAL, Wissem; GUIZANI, Amen Allah; *Experimental study of a new mixed mode solar greenhouse drying system with and without thermal energy storage for pepper*, Renewable Energy, Vol. 145, 2020, Pp. 1972-1984, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.055>.
- [54]. ABUŞKA, Mesut; ŞEVIK, Seyfi; KAYAPUNAR, Arif; *A comparative investigation of the effect of honeycomb core on the latent heat storage with PCM in solar air heater*, Applied Thermal Engineering,

- Volume 148, 2019, Pages 684-693, ISSN 1359-4311,
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.056>.
- [55]. SADEGHZADEH, M; AHMADI, MH; KAHANI, M; SAKHAEINIA, H; CHAJI, H; CHEN, L; *Smart modeling by using artificial intelligent techniques on thermal performance of flat-plate solar collector using nanofluid*, Energy Science and Engineering, 2019; 7: 1649- 1658,
<https://doi.org/10.1002/ese3.381>.
- [56]. RAJ, A.K.; KUNAL, G.; SRINIVAS, M.; JAYARAJ, S.; *A cost-effective method to improve the performance of solar air heaters using discrete macro-encapsulated PCM capsules for drying applications*, Applied Thermal Engineering, Volume 146, 2019, Pages 910-920, ISSN 1359-4311,
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.055>.
- [57]. OLFIAN, H; SHESHPOLI, AZ; AJAROSTAGHI, SSM; *Numerical evaluation of the thermal performance of a solar air heater equipped with two different types of baffles*, Heat Transfer, 2020; Vol. 49, Pp. 1149–1169,
<https://doi.org/10.1002/htj.21656>.
- [58]. SÖZEN, Adnan; ŞIRIN, Ceylin; KHANLARI, Ataollah; TUNCER, Azim Doğuş; GÜRBÜZ, Emine Yağız; *Thermal performance enhancement of tube-type alternative indirect solar dryer with iron mesh modification*, Solar Energy, Volume 207, 2020, Pages 1269-1281, ISSN 0038-092X,
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.072>.
- [59]. MENNI, Y.; GHAZVINI, M.; AMEUR, H.; et al.; *Combination of baffling technique and high-thermal conductivity fluids to enhance the overall performances of solar channels*, Engineering with Computers, 2020,
<https://doi.org/10.1007/s00366-020-01165-x>.
- [60]. GHRITLAHRE, Harish Kumar; SAHU, Piyush Kumar; CHAND, Subhash; *Thermal performance and heat transfer analysis of arc shaped roughened solar air heater – An experimental study*, Solar Energy, Volume 199, 2020, Pages 173-182, ISSN 0038-092X,
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.068>.
- [61]. YADAV, S.; SAINI, R.P.; *Thermo-Hydraulic CFD Analysis of Impinging Jet Solar Air Heater with Different Jet Geometries*, Recent Trends in Thermal Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore, ISBN 978-981-16-3131-3, https://doi.org/10.1007/978-981-16-3132-0_19.
- [62]. HALDAR, Ankur; VARSHNEY, L.; VERMA, Prashant; *Effect of roughness parameters on performance of solar air heater having artificial wavy roughness using CFD*, Renewable Energy, Volume 184, 2022, Pages 266-279, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.088>.

- [63]. NIDHUL, Kottayat; YADAV, Ajay Kumar; ANISH, S.; ARUNACHALA, U.C.; *Thermo-hydraulic and exergetic performance of a cost-effective solar air heater: CFD and experimental study*, Renewable Energy, Volume 184, 2022, Pages 627-641, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.111>.
- [64]. Metodologia Mc 001/2006, privind calculul consumurilor de energie al clădirilor.
- [65]. Ord. 157/2007, Modificarea și completarea reglementării tehnice „Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor”.
- [66]. C 107/3/2005 Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor.
- [67]. C 107/5/2005 Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție în contact cu solul.
- [68]. ZAHARIA, L.; *Sisteme de măsurare computerizată pentru achiziția de date*, Iași, 2005, <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/Zaharia-SMCAD-curs.pdf>.
- [69]. IGNATOVA, V.; *How monitoring and control maximize photovoltaic benefits*, Power Distribution and Management, Schneider Electric, May 27, 2020, <https://blog.se.com/power-management-metering-monitoring-power-quality/2020/05/27/how-monitoring-and-control-maximize-photovoltaic-benefits/>.
- [70]. METONE, Instruments; *Renewable Energy*, https://www.researchgate.net/publication/307567968_Effect_of_Relative_humidity_on_Photovoltaic_panels'_Output_and_Solar_IlluminanceIntensity.
- [71]. TRACKSO; *Weather Monitoring System for Solar PV Plants*, <https://trackso.in/weather-monitoring-system-solar-power-plants/>.
- [72]. SOLARVENTI, International; Product SV7 Air, accesat la data de 30.05.2022, <https://www.solarventi.com/product/sv7-air-up-to-50m%C2%B2/>.
- [73]. IFRIM, V.C.; BEJENAR, C.; MILICI, L.D. and ATĂNĂSOAE, P., *LabVIEW-based solar air heater monitoring system*, 2022 International Conference Annual Session of Scientific Papers, 2022, Oradea, Romania.
- [74]. SOLYNTA, Energy; *Top Seven Benefits of Solar Monitoring Systems*, Powering Nigeria with the sun accessed on 12.12.2023 <https://solyntaenergy.com/2018/01/06/top-five-benefits-of-solar-monitoring-systems/>.
- [75]. KOMOLAFE, C.A.; OLUWALEYE, I.O.; AWOGBEMI, O.; OSUEKE, C.O.; *Experimental investigation and thermal analysis of solar air heater having rectangular rib roughness on the absorber plate*, Case

- Studies in Thermal Engineering, ISSN 2214-157X, Vol. 14, P. 100442, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100442>.
- [76]. ZUHAL, O.; KARWA, R.; SRIVASTAVA, V.; *Thermal Performance of Solar Air Heater Having Absorber Plate with V-Down Discrete Rib Roughness for Space-Heating Applications*, Journal of Renewable Energy, P. 151578, 2013, <https://doi.org/10.1155/2013/151578>.
- [77]. KHAMITKAR, S.; HEBBAL, O.D.; *Performance Analysis of Solar Air Heater Using CFD*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181, Vol. 2, Issue 8, 2013, <https://www.ijert.org/performance-analysis-of-solar-air-heater-using-cfd>.
- [78]. GRECU, I.S.; *Contributions on the Boundary Layer Flow Numerical Modelling in Turbulent Regime*, Teză de Doctorat, Universitatea Politehnica din București (UPB), 2023, <https://upb.ro/ontributions-on-the-boundary-layer-flow-numerical-modelling-in-turbulent-regime-contributii-la-modelarea-numerica-a-curgerii-in-stratul-limita-in-regim-turbulent-grecu-ionut-stelian-30-03-2023/>.
- [79]. WIKIPEDIA; *Discrete ordinates method*, accesat la data de 05.05.2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_ordinates_method.
- [80]. WIKIPEDIA; *Reynolds equation*, accesat la data de 05.05.2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds_equation.
- [81]. MILICI, L.D.; BEJENAR, C.; NIȚAN, I.; DIMIAN, M.; ABU-BANDORA, M.; ALISAVETEI, I.; IFRIM, V.C.; UNGUREANU, C.; *Sistem solar de încălzire pentru menținerea încărcării bateriilor*, în Patent Application No. RO138187A2, Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci (OSIM), București, România, 2022.
- [82]. MILICI, L.D.; BEJENAR, C.; NIȚAN, I.; DIMIAN, M.; ABU-BANDORA, M.; ALISAVETEI, I.; IFRIM V.C.; UNGUREANU, C.; *Solar heating system for the maintaining of batteries charge*, în Patent Application No. EP 23464006.8, European Patent Office (EPO), München, Germany, 2023.
- [83]. BEJENAR, C.; ABU-BANDORA, M.; IFRIM, V.C.; ALISAVETEI, I.; *Solar Heating System for the Maintaining of Batterie Charge*, în The Scientific Bulletin Addendum, nr. 8, ed. Academia Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu”, Sibiu, România, ISSN 2501-3157, 2023, <https://cadetinova.ro/index.php/ro/catalog-inova-23>.
- [84]. TARNOWSKY, STEVEN A.; MAJOR, GREGORY A.; POULOS, STEPHEN G.; *The Solar Powered Ventilation System and The Method for Operation Thereof That Are Used for Vehicle*, în Patent Application No.

- CN101877364A, GM Global Technology Operations LLC, 2009, China,
<https://patents.google.com/patent/CN101877364A/en?q=CN101877364A>.
- [85]. LI, DONGKE; *Be Provided with The Electronlmobil of Anti-Frozen Structure*, in Patent Application No. CN204368101U, Tianjin Kang Nengche Industry Co Ltd, 2014, China,
<https://patents.google.com/patent/CN204368101U/en?q=CN204368101U>.
- [86]. YI, BINGXI; LU, YI; LIANG, HONGWEI; CHEN, BAOGUO; CONG, CHANGJIE; WANG, CHIWEI, *A Kind of Lithium-Ion-Power Cell Lightweight Low-Temperature Heating System*, in Patent Application No. CN108417909A, Tianjin EV Energies Co Ltd, 2018, China,
<https://patents.google.com/patent/CN108417909A/en?q=CN108417909A>.
- [87]. LINK, MANFRED; STEHLE, PIERRE; LINK, GUNTER; SCHRECK, CHRISTIAN; *Air Vent*, in Patent Application No. US10712043B2, Grammer Interior Components GmbH, 2017, USA,
<https://patents.google.com/patent/US10712043B2/en?q=US10712043B2>.
- [88]. GUIDO, ROSATI; MATTIA, MERLIN; *Variable Geometry Fan and Method for Manufacturing the Blades Thereof*, in Patent Application No. US8092188B2, Rosati Fratelli Srl, 2008, USA,
<https://patents.google.com/patent/US8092188B2/en?q=US8092188B2>.