

Sistem modular solar hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producere simultană de energie electrică și apă caldă de consum

Contract nr: 440PED / 2020

Cod proiect: PN-III-P2-2.1-PED-2019-3112

Acronim proiect: HMSS

Rezultate Etapa 3 / 2022 — 01/01/2022 – 02/11/2022

În această etapă s-a urmărit parcurgerea etapei experimentale și validarea rezultatelor obținute pe cale experimentală prin intermediul simulărilor numerice de tip CFD a sistemelor modulare hibride cu producere simultană de energie electrică și apă caldă de consum.

Finalitatea acestei etape a constat în realizarea unui *Raport de cercetare privind validarea numerică a principiului de funcționare sistemului modular hibrid propus, realizarea unui Raport de cercetare privind posibilitățile de integrare a prototipului propus în clădiri noi, clădiri existente sau în încăperi separate (distincte), realizarea unei Tehnologii moderne validată în laborator privind valorificarea energiei solare de pe fațadele înșorite ale clădirilor și realizarea Sistemului modular hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producere simultană de energie electrică și apă caldă de consum.*

Această etapă a prevăzut și *Diseminarea rezultatelor cercetării prin publicarea de 1 sau 2 articole științifice la reviste de specialitate cu factor de impact situate în zona Roșie și participarea la Conferințe Naționale sau Internaționale.*

Obiectivele și activitățile asociate Etapa: 3 / 2022 — 01/01/2022 – 02/11/2022

Etapa / Denumirea Activității	Rezultate estimative verificabile ale activității	Data de finalizare a etapei	Stadiu
Etapa 3 - Validarea modelului experimental, alegerea soluțiilor adecvate din punct de vedere tehnic și economic și elaborarea unei tehnologii moderne validată în laborator privind valorificarea energiei solare de pe fațadele înșorite ale clădirilor	1.Raport de cercetare privind validarea numerică a principiului de funcționare sistemului modular hibrid propus 2.Raport de cercetare privind posibilitățile de integrare a prototipului propus în clădiri noi, clădiri existente sau în încăperi separate (distincte)	2/11/2022	Finalizat
Act 3.1 - Validarea modelului experimental prin simulare numerică	3.Tehnologie modernă validată în laborator privind valorificarea energiei solare de pe fațadele înșorite ale clădirilor		
Act 3.2 - Alegerea soluțiilor adecvate din punct de vedere tehnic și economic în vederea execuției și implementării pentru diferite tipuri de clădiri	4. Sistemul modular hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producere simultană de energie electrică și apă caldă de consum		
Act 3.3 - Elaborarea unei tehnologii moderne validată în laborator privind valorificarea energiei solare de pe fațadele înșorite ale clădirilor	5. Publicarea de 1 sau 2 articole științifice la reviste de specialitate cu factor de impact situate în zona Roșie		

<p>Act 3.4 - Diseminarea rezultatelor cercetării prin publicarea de 1 sau 2 articole științifice la reviste de specialitate cu factor de impact situate în zona Roșic și participare la Conferințe Naționale sau Internaționale</p>			
--	--	--	--

Proiectul de cercetare a pornit de la demonstratorul experimental din laborator pentru un SISTEM DE LIVRARE, DEPOZITARE, ȘI CONVERSIE A ENERGIEI SOLARE PENTRU CLĂDIRI PASIVE – CSDS SOLAR dezvoltat în contractul nr. 265CI/2018, PN-III-P2-2.1-CI-2018-1523 (TRL 3) și se concretizează într-un nou sistem modular hibrid și o nouă tehnologie fezabilă privind valorificarea energiei solare pe fațadele înșorite ale clădirilor validate în condiții de laborator (TRL 4).

Originalitatea acestei cercetări adusă prin realizarea Sistemului solar modular hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producerea simultană de energie electrică și apă caldă menajeră este dezvoltarea unei noi tehnologii pentru un sistem modular mobil, capabil să producă simultan sau separat energie electrică și / sau apă caldă folosind energia solară, prin utilizarea atât a sistemelor de răcire pasivă cu tuburi termice cât și a sistemelor de răcire activă pe baza de apă.

Sistemul produce energie electrică cu randament ridicat prin răcirea panourilor fotovoltaice iar agentul de răcire este utilizat pentru producerea de apă caldă de consum (vara) sau pentru producerea de apă caldă pentru consum și încălzirea clădirilor (iarna). Acesta este un procedeu inovator care crește performanța energetică a panourilor fotovoltaice cât și contribuie la reducerea costurilor energetice pentru prepararea de apă caldă, totodată îmbunătățind performanța energetică a clădirilor din care fac parte.

Sistemele de răcire au fost realizat în cinci tipuri constructive diferite:

- Trei sisteme de răcire activă cu apă: a) sistem de răcire tip distribuitor-colector registru; b) sistem de răcire tip serpentină; c) sistem de răcire cu serpentine multiple (Figura 1).
- Două sisteme de răcire pasivă cu tuburi termice: a) cu tuburi termice înguste, b) cu tuburi termice late (Figura 2).

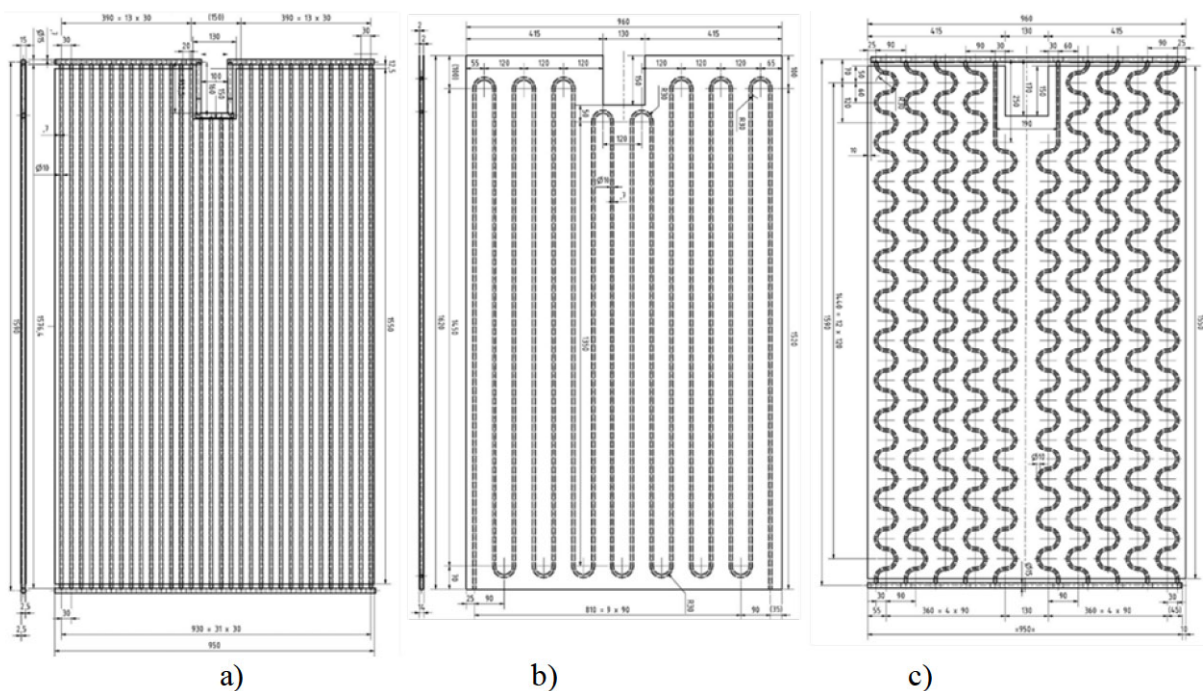


Figura 1. Plăcile de recuperare a căldurii: a) sistem de răcire tip distribuitor-colector registru; b) sistem de răcire tip serpentină; c) sistem de răcire cu serpentine multiple.

Prima variantă constructivă a sistemului de răcire cu apă constă într-un registru prin care circulă agent termic apă rece. Diametrul distribuitorului și al colectorului este de 15 mm iar diametrul conductelor verticale este de 10 mm. Detaliile constructive ale acestei variante sunt prezentate în figura 1-a. Al doilea sistem de răcire cu apă este tot o placă de tip distribuitor-colector însă agentul termic apă rece va circula printr-un sistem de serpentine cu diametrul de 10 mm. Detaliile constructive ale acestei variante sunt prezentate în figura 1-b. În cea de a treia variantă constructivă a sistemului de răcire cu apă, agentul termic de răcire va circula printr-un sistem de serpentine multiple cu diametrul de 10 mm. Diametrul distribuitorului și al colectorului este tot de 15 mm. Detaliile constructive ale acestei variante sunt prezentate în figura 1-c.

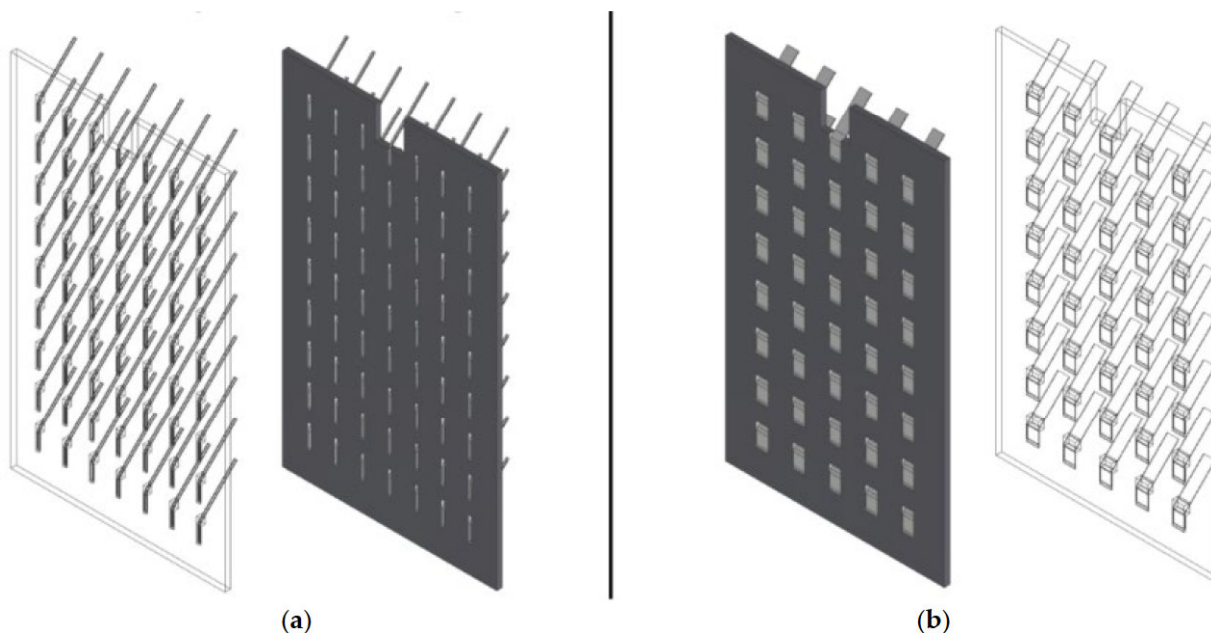


Figura 2. Plăcile de îmbunătățire a transferului termic: a) cu tuburi termice înguste, b) cu tuburi termice late

Sistemul de răcire pasivă cu tuburi termice se realizează în 2 variante constructive și este format dintr-o placă de îmbunătățire a transferului termic în care sunt integrate tuburile termice de tip îngust sau lat, ce va fi aplicată în contact intim cu primul sistem de răcire cu apă, și care va avea rolul de răcire a panoului fotovoltaic.

În cadrul programului experimental au fost analizate în aceleași condiții și două panouri fotovoltaice hibride existente produse de Sunerg și Piccell, utilizând simulatorul solar, pentru compararea și testarea propriului sistem de răcire și abilitatea acestora de a produce apă caldă.

Schema generală a standului experimental ce cuprinde atât sistemele electrice cât și pe cele termice a fost realizată folosind software-ul Microsoft Visio (Figura 3), pornind de la panoul fotovoltaic, la care s-au adăugat elementele sistemului fotovoltaic de producție a energiei electrice împreună cu echipamentele de măsură și placa recuperatoare de căldură proiectată în programul Autodesk Inventor Professional împreună cu echipamentele adiacente funcționării sistemului termic și înregistrării parametrilor experimentali.

Schema completă a standului experimental, detaliile constructive ale acestuia și asamblarea finală din laborator a Sistemului modular solar hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producere simultană de energie electrică și apă caldă de consum sunt prezentate în figura 4.

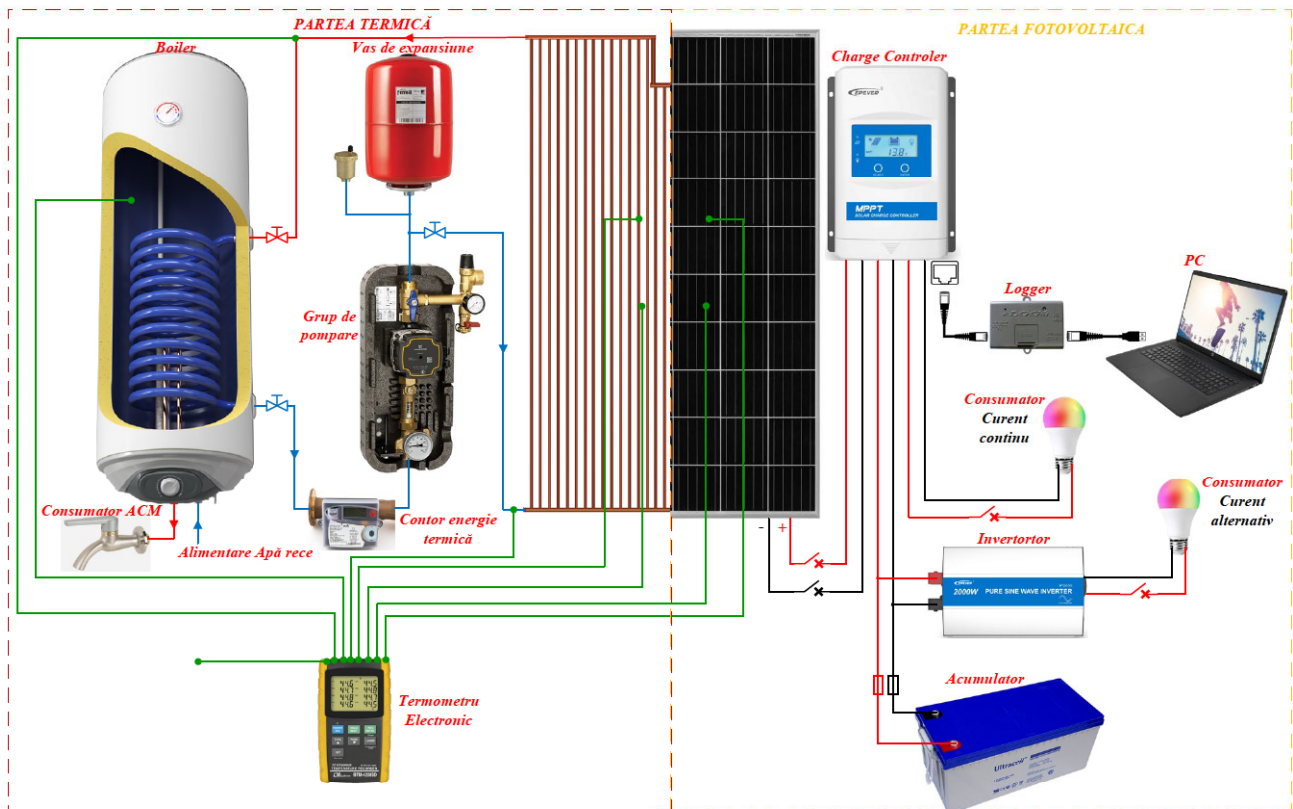


Figura 3. Schema generală a standului experimental

Pe parcursul desfășurării etapei experimentale s-au folosit o serie de echipamente și aparate de măsură pentru a determina, înregistra, urmări și controla diverși parametri:

1. Aparatura de măsurare și înregistrare a temperaturii:

- Termometru electronic cu 12 canale Lutron BTM4208SD
- Sondă de temperatură, termocuplu tip k, pentru măsurarea temperaturii de suprafață
- Sondă de temperatură, termocuplu tip k, pentru măsurarea temperaturii de imersiune

2. Debitmetru pentru instalații solare reglabil TacoSetter Inline 130

3. Contor de energie termică ACTARIS CF 55

4. Grup de pompare pentru instalații solare ER-SG-HE

5. Vas de expansiune vertical Ferroli VEF 12

6. Boiler termoelectric cu o serpentină ELDOM WV08039SR

7. Controller Solar MPPT XTRA2210N-XDS2

8. Invertor off-grid undă sinusoidală pură

9. Acumulator solar VRLA Ultracell 200Ah

10. Epever eLOG-01 Logger



Figura 4. Sistem modular solar hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producere simultană de energie electrică și apă caldă de consum

Impactul rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.

Cercetările experimentale și simulările numerice efectuate asupra panourilor fotovoltaice relevă faptul că în timpul funcționării panourile se pot încălzi excesiv, fapt ce are un efect advers substanțial asupra eficienței de producție a energiei electrice, confirmând dezideratul inițial.

Răcirea pasivă folosind tuburi termice înguste atât pe cale experimentală cât și pe calea simulărilor numerice determină o reducere substanțială a temperaturii medii a celulelor fotovoltaice cu valori cuprinse între 12 și 20 °C, acest lucru fiind realizat într-un mod pasiv, în condiții de laborator, unde factori externi cum ar fi vântul, care ar fi sporit transferul de căldură, nu au fost prezenți. Prin aplicarea tuburilor termice pe partea posterioară a panoului, eficiența electrică a celulelor a fost îmbunătățită cu valori cuprinse între 4.5% și 7.1%.

Răcirea pasivă folosind tuburi termice late atât pe cale experimentală cât și pe calea simulărilor numerice determină o reducere substanțială a temperaturii medii a celulelor fotovoltaice cu valori cuprinse între 14 și 18 °C, acest lucru fiind realizat într-un mod pasiv, în condiții de laborator, unde factori externi cum ar fi vântul, care ar fi sporit transferul de căldură, nu au fost prezenți. Prin aplicarea tuburilor termice pe partea posterioară a panoului, eficiența electrică a celulelor a fost îmbunătățită cu valori cuprinse între 5.2% și 6.6%.

Tuburile termice late s-au dovedit a fi mai eficiente în disiparea căldurii fapt datorat suprafeței mai mari de schimb de căldură și structurii acestora, având secțiuni dreptunghiulară în comparație cu secțiunea aproape ovală a tuburilor înguste, aderența la suprafața panoului sau la suprafața plăcii recuperatoare de căldură fiind substanțial îmbunătățită. De asemenea variațiile mai mici între valorile minime și maxime cât și rezultatele experimentale împreună cu imaginile realizate cu ajutorul camerei cu termoviziune relevă o mai bună distribuție și uniformitate a temperaturii pe panou, fapt ce contribuie și la reducerea uzurii în timp a modulului.

Răcirea cu serpentină atât pe cale experimentală cât și pe calea simulărilor numerice determină o reducere substanțială a temperaturii medii a celulelor fotovoltaice cu valori cuprinse între 24 și 31 °C. Prin răcire eficiența electrică a celulelor a fost îmbunătățită cu valori cuprinse între 7.4% și 11.5%, de asemenea prin intermediul sistemului de răcire/recuperare a căldurii, temperatura apei din boiler după 3 ore de funcționare atinge valori cuprinse între 36 și 39.8 °C, ceea ce se traduce într-o eficiență termică a sistemului cuprinsă între 62% și 80%. Distribuția temperaturii pe suprafața panoului relevă faptul că temperatura este mai ridicată pe partea alimentării cu agentul de răcire, diferențele de temperatură fiind ridicate între intrarea și ieșirea agentului de răcire.

Răcirea cu distribuitor-colector tip registru atât pe cale experimentală cât și pe calea simulărilor numerice determină o reducere substanțială a temperaturii medii a celulelor fotovoltaice cu valori cuprinse între 25.5 și 31.4 °C. Prin răcire eficiența electrică a celulelor a fost îmbunătățită cu valori cuprinse între 6.8% și 11.6%, de asemenea prin intermediul sistemului de răcire/recuperare a căldurii, temperatura apei din boiler după 3 ore de funcționare atinge valori cuprinse între 35.4 și 38 °C, ceea ce se traduce într-o eficiență termică a sistemului cuprinsă între 62.5% și 82.7%. În termeni de gradient al temperaturii, se poate observa faptul că distribuitorul și colectorul joacă un rol substanțial în reducerea diferențelor mari între diferite părți ale panoului fapt ce contribuie și la reducerea uzurii în timp a modulului și previne degradarea prematură a acestuia.

Răcirea cu distribuitor-colector tip serpentine multiple atât pe cale experimentală cât și pe calea simulărilor numerice determină o reducere substanțială a temperaturii medii a celulelor fotovoltaice cu valori cuprinse între 17.4 și 21.3 °C. Prin răcire eficiența electrică a celulelor a fost îmbunătățită cu valori cuprinse între 6.4% și 7.9%, de asemenea prin intermediul sistemului de răcire/recuperare a căldurii, temperatura apei din boiler după 3 ore de funcționare atinge valori cuprinse între 34.1 și 37.5 °C, ceea ce se traduce într-o eficiență termică a sistemului cuprinsă între 39% și 56.8%. În ceea ce privește distribuția termică pe suprafața panoului, distribuția este mai uniformă în acest caz prin comparație cu cazul serpentinei singure, însă rezultatele indică temperaturi mai mari ale celulelor, ceea ce se traduce în necesitatea unui debit mai mare de agent termic pentru a învinge rezistențele hidraulice, rezultând într-un consum mai mare de energie electrică al pompei comparativ cu sistemele precedente.

Cercetările experimentale relevă faptul că eficiența panourilor fotovoltaice este substanțial îmbunătățită prin răcire, fapt ce poate fi observat și în Figura 5.

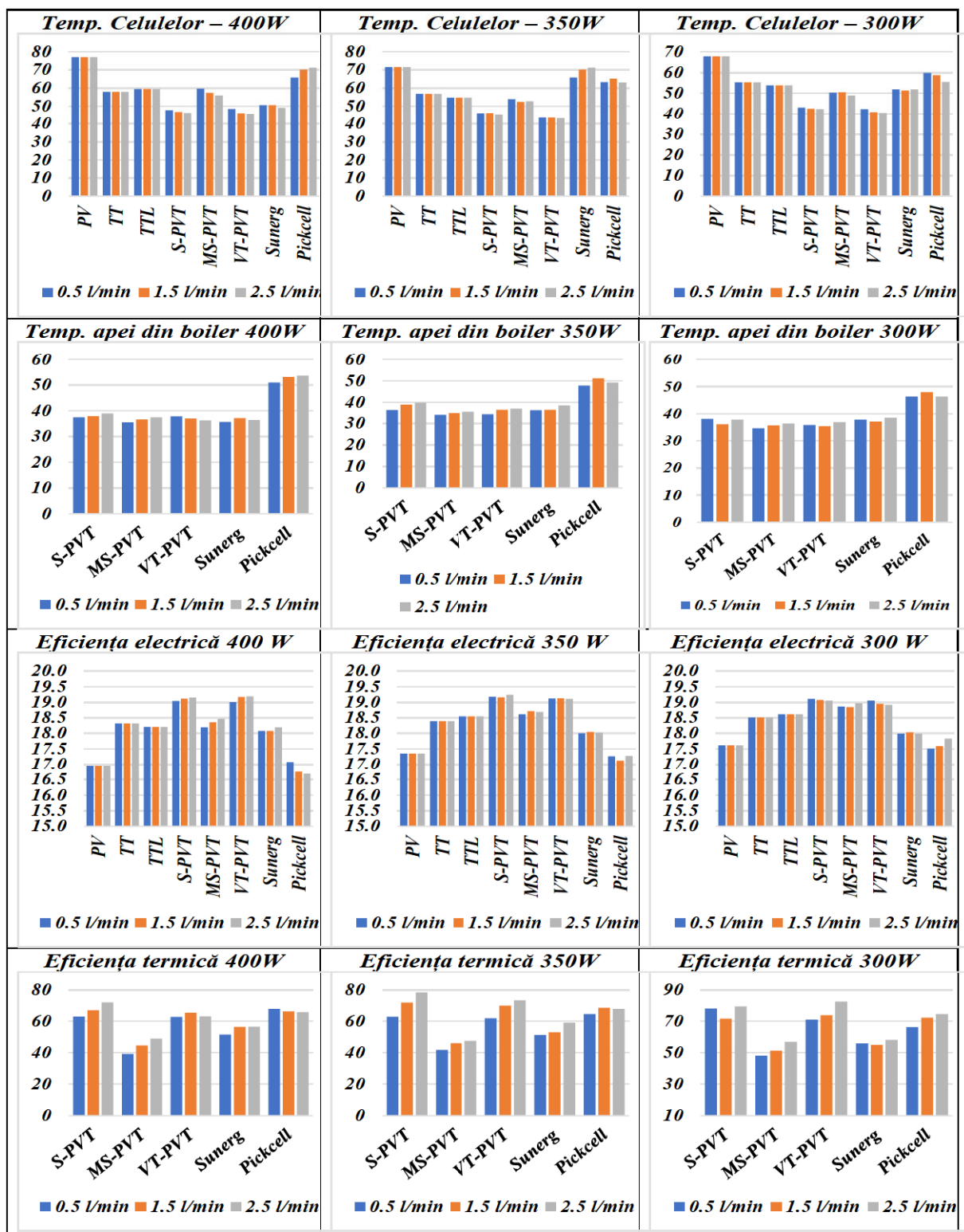


Figura 5. Eficiența panourilor fotovoltaice

Sistemele cu tuburi termice reușesc să reducă temperatura de funcționare a panourilor fotovoltaice prin convecție liberă în aer cu mai mult de 15 °C, acest fapt în condiții minime de circulație a aerului, în condiții reale de funcționare aceste rezultate sunt substanțial îmbunătățite.

Dintre cele 3 sisteme de răcire cu fluid, cel mai eficient din punct de vedere a performanțelor energetice cât și termice s-a dovedit a fi sistemul de răcire tip registru, eficiența maximă totală a acestuia în unele cazuri fiind peste 90%, depășind performanțele sistemelor din comerț.

Temperatura apei rezultate în urma răcirii cu aceste tipuri de sisteme s-a dovedit a fi mai mică decât temperatura apei produsă de sistemele folosite drept standard de comparație deoarece acele sisteme sunt izolate și etanșate profesional, în timp ce sistemele testate au fost fără izolație.

Prin designul modular fiecare dintre aceste sisteme de răcire poate fi aplicat pe multiple tipuri de panouri fotovoltaice de dimensiuni similare sau poate fi adaptat cu ușurință pentru panouri cu alte dimensiuni.

De asemenea prin designul modular aceste sisteme pot fi aplicate cu ușurință în clădiri noi, prin amplasarea pe acoperiș sau terasă, dar de asemenea pot fi integrate în elementele portante ale clădirii în faza de construcție drept panouri fotovoltaice termice integrate în clădire (BIPVT- “building integrated photovoltaic termic”).

Aplicabilitatea acestor module nu este limitată doar la clădirile noi ci se extinde și la clădirile construite, aceste sisteme putând fi amplasate pe acoperiș/terasă precum panourile fotovoltaice sau solar-termice, numai ca principalul avantaj al panourilor care produc simultan energie electrică și apă caldă este faptul că pe aceeași unitate de suprafață disponibilă aportul energetic este crescut deoarece un singur modul produce simultan atât energie electrică cât și termică.

Aceste module hibride cu producție simultană de energie electrică și termică, prin eficientizarea producției electrice și stocarea energiei termice recuperate, contribuie la satisfacerea standardului european nearly Zero Energy Building (nZEB) și în combinație cu utilizarea materialelor puțin poluante și izolației adecvate contribuie la atingerea standardului zero carbon building (ZCB), standard ce presupune nu numai ca 100% din energie să provină din surse proprii regenerabile, ci construcția să fie un producător de energie astfel încât să contrabalanseze emisiile de carbon și energia folosită pentru producția materiilor prime ce intră în componența construcției.

Caracterul modular al componentelor sistemelor de răcire se traduce în posibilitatea de omologare rapidă și intrarea rapidă în producție a sistemelor de concepție originală, aceste sisteme de răcire putând fi aplicate pe diferite tipuri de panouri fotovoltaice.

Rezultatele cercetărilor au fost diseminate și recunoscute pe plan național și internațional prin :

1) Participarea și publicarea unui articol la o Conferința Internațională, INTER-ENG 2021 Interdisciplinarity in Engineering, 7 - 8 October 2021, U.M.F.S.T. Târgu Mureș Romania, unde a fost prezentat articolul științific cu titlul „*Enhancing the energy efficiency of photovoltaic cells through water cooling*”,

Articolul a fost publicat într-un volum dedicat *Springer Nature - Lecture Notes in Networks and Systems (ISSN: 2367-3370)*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-93817-8_54

2) Participarea și publicarea unui articol la conferința tehnico-științifică națională cu participare internațională „*INSTALAȚII PENTRU CONSTRUCȚII ȘI ECONOMIA DE ENERGIE, Ediția a-XXXI-a*”, 1-2 Iulie 2021, Iași, România, cu titlul „*STUDIUL PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA EFICIENȚEI ENERGETICE A UNUI PANOU FOTOVOLTAIC*”, autori Marius Brănoaea, Andrei Burlacu, Marina Verdeș, Robert Ștefan Vizitiu, Marius Costel Balan

3) Participarea și publicarea unui articol științific la o *Conferința Internațională, CLIMA 2022 – the 14th REHVA HVAC World Congress*, ce a avut loc la Rotterdam, Olanda, în perioada 22-25 mai 2022, conform Ordinului Rectorului Universității Tehnice ”Gheorghe Asachi” din Iași, Numarul 1135 din 19 Aprilie 2022.

În cadrul Conferinței a fost prezentată lucrarea științifică *HYBRID PHOTOVOLTAIC-THERMIC SYSTEM WITH ENHANCED CELL ENERGY EFFICIENCY*, Autori: Marius Brănoaea, Andrei Burlacu, Marina Verdeș, Vasiliță Ciocan, Marius Costel Balan, Robert Ștefan Vizitiu.

Articolul a fost publicat într-un volum dedicat: <https://doi.org/10.34641/clima.2022.321>

4) participarea și publicarea unui articol la *Conferința tehnico-științifică națională cu participare internațională „INSTALAȚII PENTRU CONSTRUCȚII ȘI ECONOMIA DE ENERGIE, Ediția a-XXXII-a*”, 7-8 Iulie 2022, IAȘI, ROMÂNIA, cu titlul *SISTEME FOTOVOLTAIC-TERMICE HIBRIDE CU EFICIENȚA ENERGETICĂ RIDICATA*, Autori: Marius Branoaea, Andrei Burlacu, Marina Verdeș, Vasilița Ciocan, Marius Costel Balan, Robert Ștefan Vizitiu, Ștefanica Eliza Vizitiu

5) Publicarea unui articol științific la *Revista MATERIALS – MDPI, Volume 15, Issue 20, cu factor de impact 3.748, clasificată Q1, în zona Roșie, "INNOVATIVE PASSIVE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SYSTEM FOR IMPROVING THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS"*, Autori: Andrei Burlacu, Gavril Sosoi, Chérifa Abid, Marinela Barbuta, Marina Verdeș, Robert Ștefan Vizitiu, Marius Branoaea. <https://doi.org/10.3390/ma15207224>

Director Proiect,

Prof.univ.dr.ing. Andrei Burlacu