

PROGRAM PN-III-P2-2.1-PED-2021: Creșterea competitivității economiei românești prin CDI

Proiect:

Colector solar adaptiv cu materiale cu schimbare de fază nano-optimizate/ nanoSUN

nanosUN



**PN-III-P2-2.1-PED-2021-1903
716PED din 24.06.2022**

Perioada de implementare a proiectului: 24.06.2022-23.06.2024

<http://cambi.utcb.ro/researchprojects/nanosun>

Etapa 2

01.01.2023-31.12.2023

Raportare științifică

Experimental characterization of the best types of materials (Caracterizarea experimentală a materialelor de tip PCM)- realizat

În vederea realizării studiului experimental s-a pornit de la concluzia primei etape că modalitatea optimă de integrare a PCM-urilor este în sfere din material plastic

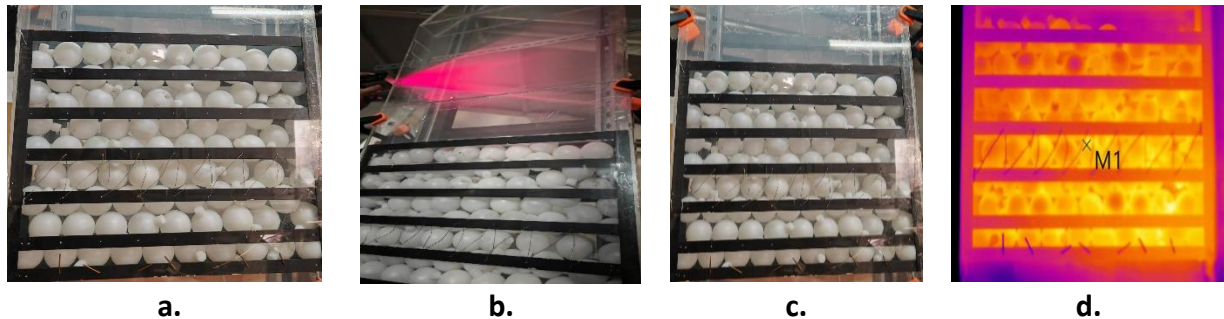


Figura 1: Investigarea curgerii și performanțelor termice ale masei de acumulare (a. Așezarea sferelor; b. Investigarea uniformității curgerii cu laser; c. Investigarea curgerii cu fum tehnic; d. Imagini termografice din timpul experimentelor)

Măsurările privind performanțele termice ale materialelor de tip PCM s-au realizat într-un calorimetru Mettler Toledo DSC 822 cell. Aparatul DSC a fost calibrat cu indiu (temperatură topire 156.6 °C; entalpie specifică topire 28.54 J/g) și zinc (temperatură topire 419.6 °C). Mostrele de parafină au fost cântărite în creuzete sigilate din aluminiu având capacitatea de 40 μl și scanate prin intermediul aparatului DSC, prin metoda dinamică (debit de aer 25 ml/min). Ca material de referință s-a utilizat un creuzet sigilat ermetic. Figura 3 prezintă rezultatele DSC pentru toate mostrele studiate până în prezent. RT18 și RT28 au prezentat diferențe mai mari între căldurile latente, celelalte tipuri de parafine au dat călduri latente similare.

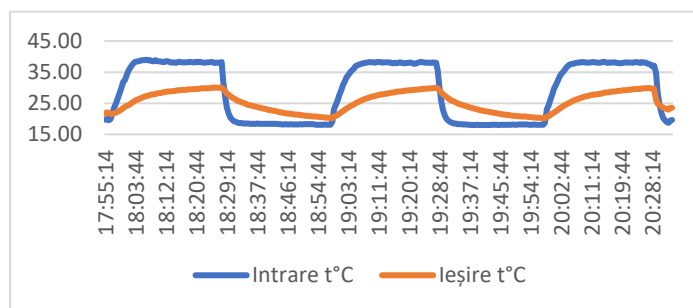
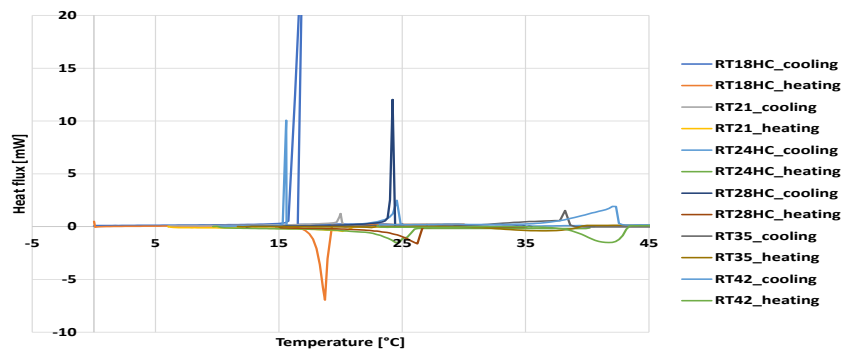


Figura 2: Cicluri de încărcare-descărcare cu energie termică (pentru RT31)

Figura 3: Rezultatele analizei la calorimetrul DSC



Sferele cu PCM se vor integra într-un colector solar care are principalele părți componente: admisia și evacuarea aerului, ventilator, placă metalică față perforată pentru admisia aerului, placă metalică spate de închidere și masa de acumulare

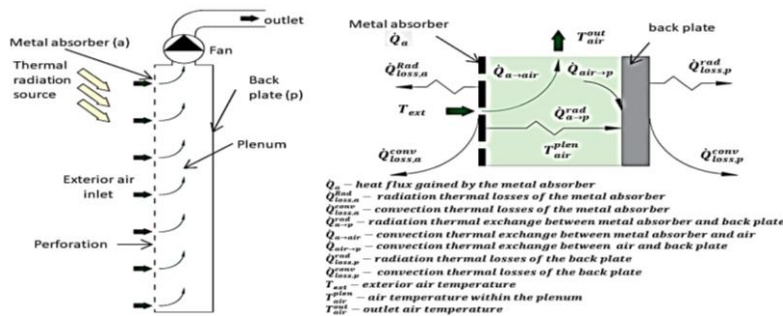


Figura 4: Model matematic utilizat în studiul parametric

Tabel 1 Configurația așezării de tip cascadă studiată și proprietățile PCM

Cascada 1					Cascada 2					
PCM	Temp. schimbare fază [°C]	Căldură specifică [J/kgK]	Căldură latentă [J/kg]	Conductiv. Termică [W/mK]	PCM	Temp. schimbare fază [°C]	Căldură specifică [J/kgK]	Căldură latentă [J/kg]	Conductiv. Termică [W/mK]	Zona
RT21	19-24	2000	135000	0.2	RT15	10-17	2000	125000	0.2	3
RT24	23-26	2000	170000	0.2	RT21	20-23	2000	160000	0.2	2
RT31	29-34	2000	135000	0.2	RT24	22-26	2000	200000	0.2	1

Tabel 2- Zile de studiu și date climatice

Sezonul rece	
<p>20 martie 2023 Zi cu intensitatea radiației solare cea mai mare, valoarea medie fiind 222.63 W/m² Perioadă studiu de la ora 05:00-17:00.</p>	
<p>6 octombrie 2023 Zi cu temperatura exterioră cea mai mare, text=26.27 °C. Perioadă studiu de la ora 05:00-17:00</p>	
Sezonul cald	
<p>13-14 august 2023 13 august este ziua cu temperatura cea mai ridicată. Perioadă studiu 13 august, ora 18:00 – 14 august, ora 04:00.</p>	

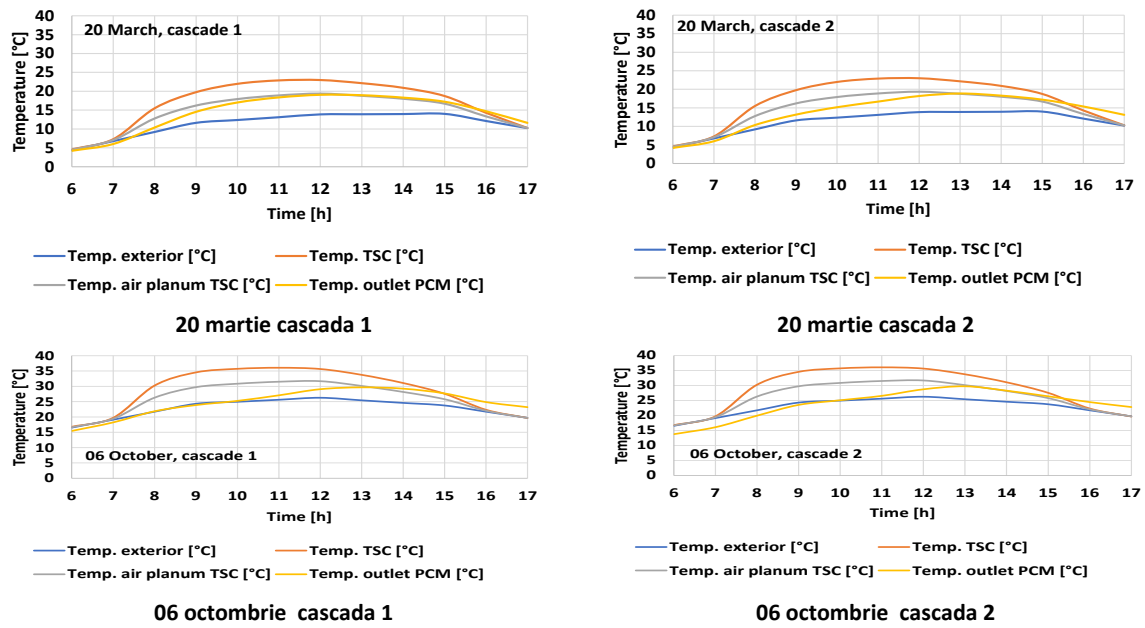


Figura 5. Variația temperaturilor caracteristice ale sistemului pe durata zilelor din sez.rece

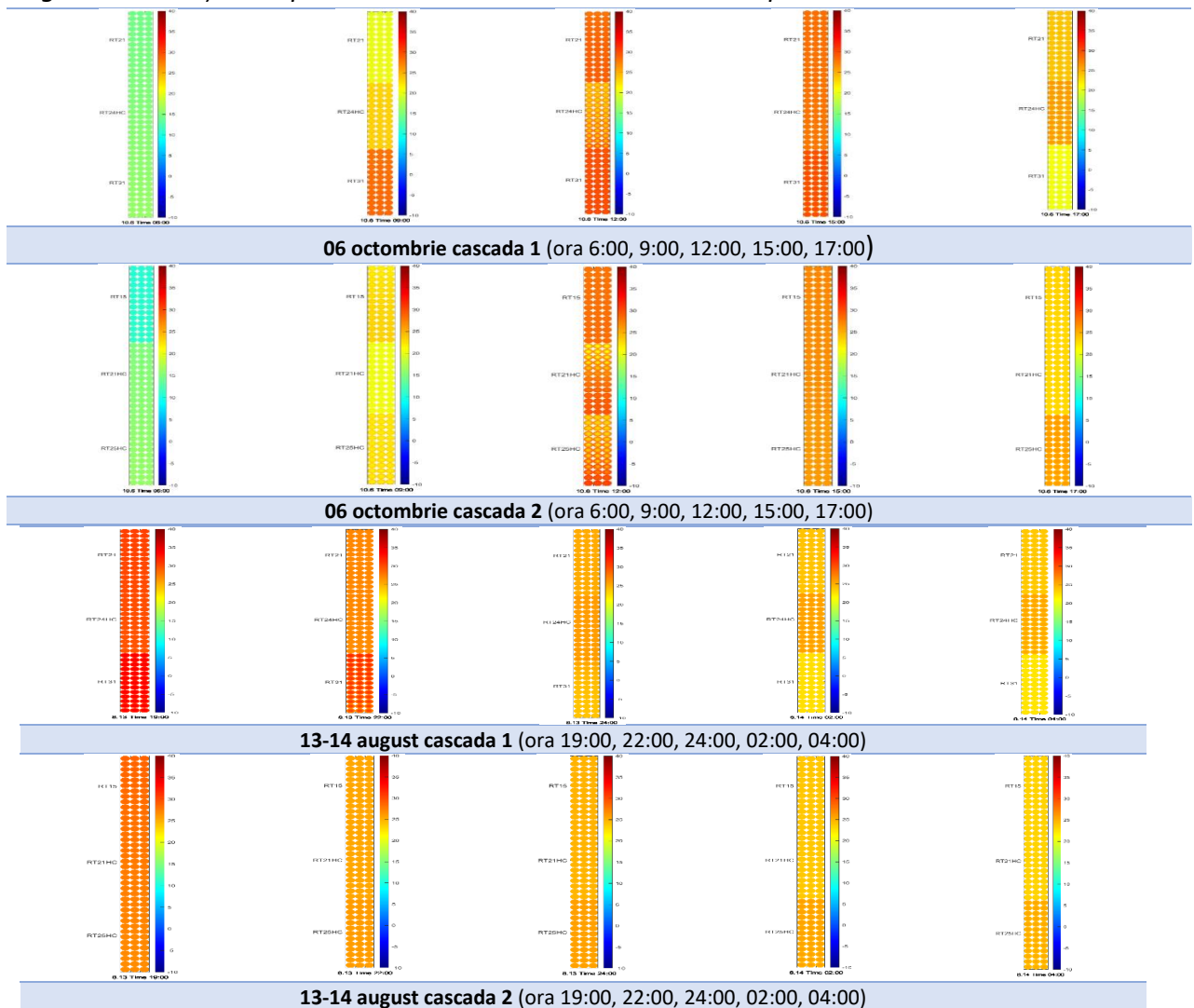


Figura 6. Modul în care se realizează acumularea de căldură în sferile cu PCM

Așezarea în cascadă ce va fi adoptată mai departe constă în distribuția PCM-urilor finale RT21, RT24, RT31, de jos în sus în structura colectorului solar, respectiv configurația 1 din cele două variante studiate.

Experimental validation of the selected PCM types in an integrated module solar building ventilated facade

În vederea integrării sferelor în configurația selectată și cu PCM-urile alese se va utiliza un modul ce simulează o fațadă ventilată, realizat din plexiglas pentru vizualizarea facilă a curgerii și pentru posibilitatea de a realiza investigații termografice.

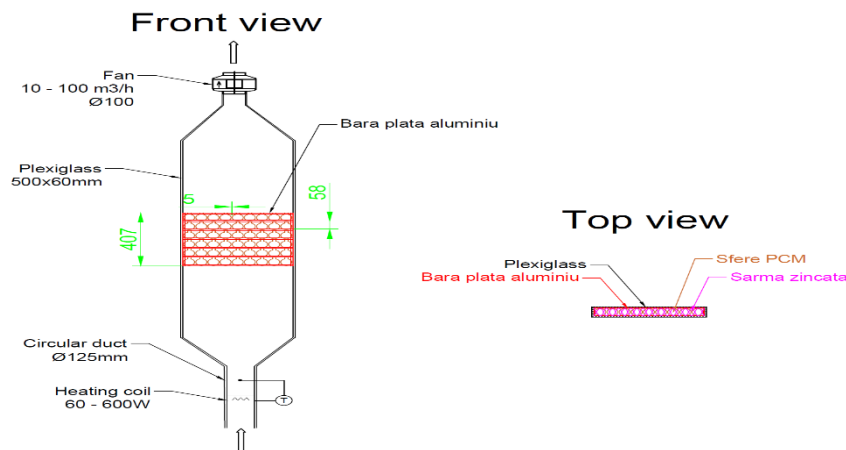


Figura 7. Stand experimental-schiță.

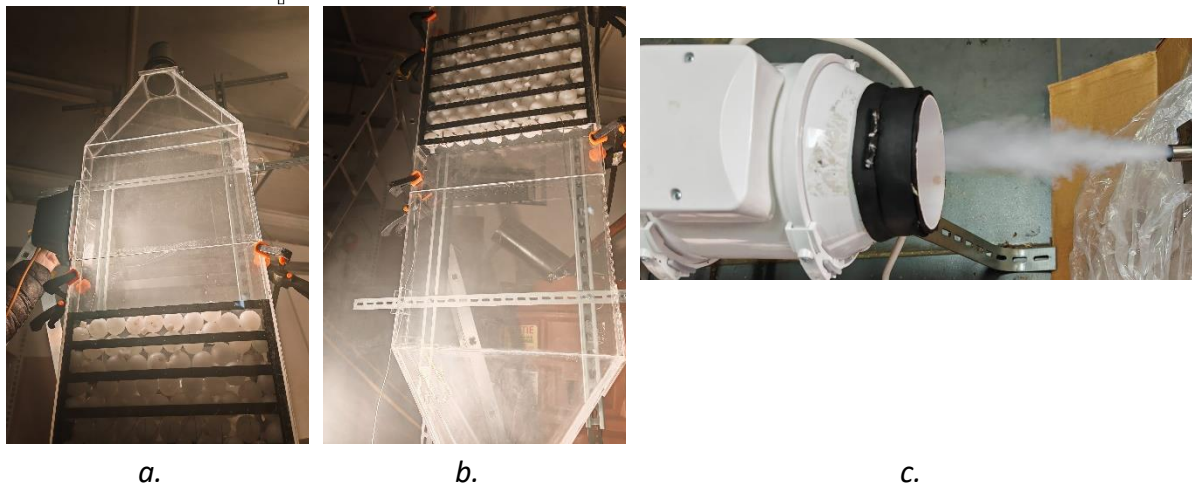


Figura 8. Stand a. Partea superioară; b. Partea inferioară; c. Ventilator și generator de fum.

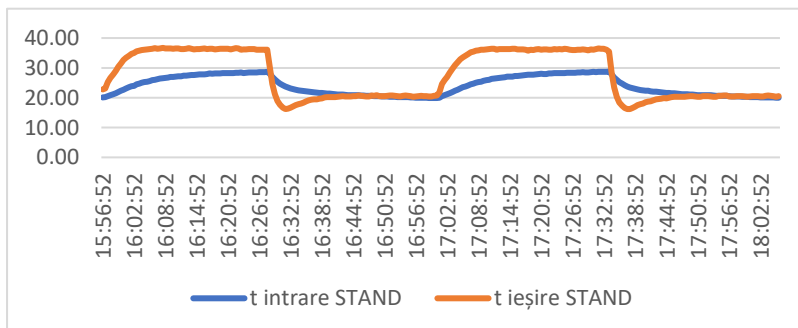


Figura 9. Variația temperaturii în zona de acumulare de căldură din Standul Experimental

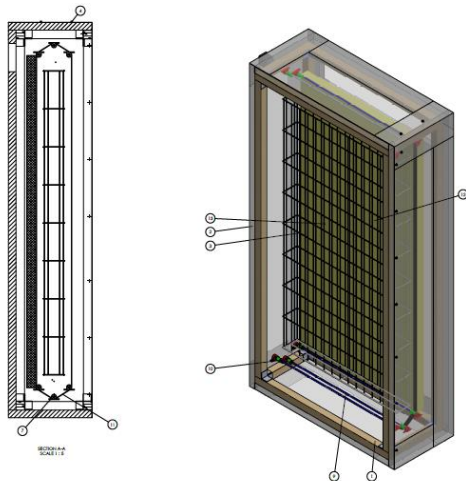


Figura 10. Stand experimental- schiță de proiect pentru etapa WP5.

Pentru standul experimental ce va fi realizat în cadrul WP6 se adoptă o așezare în cascadă a sferelor cu PCM, utilizând RT21, RT24 și RT31. Numărul sferelor se va alege în funcție de configurația finală a colectorului, o propunere în acest sens fiind prezentată în Figura 10 .

Finding the best candidates for the NePCMs

Nanomaterialele integrate în parafină sunt: Nanopulbere de oxid de aluminiu (Al_2O_3), nanopulbere de oxid de cupru (CuO), nanopulbere de oxid de grafenă și sulfat de cupru ($CuSO_4$). Pentru a îmbunătăți proprietățile termice ale oxidului de grafenă a fost vizată decorarea cu ioni de cupru. În acest sens, s-a utilizat *dispersarea nanopulberii de oxid de grafenă utilizând sonda de ultrasonare*.



Figura 11: Imagini digitale reprezentative pentru protocolul de decorare: A) Dispersarea GO în apă; B) Dispersia $Cu@GO_{20}$ înainte de spălare; C) Dispersia $Cu@GO_{20}$ după spălare; D) agitarea puternică a dispersiei GO după adăugarea de $CuSO_4$ în trei concentrații (20%, 10% și respectiv 5%)

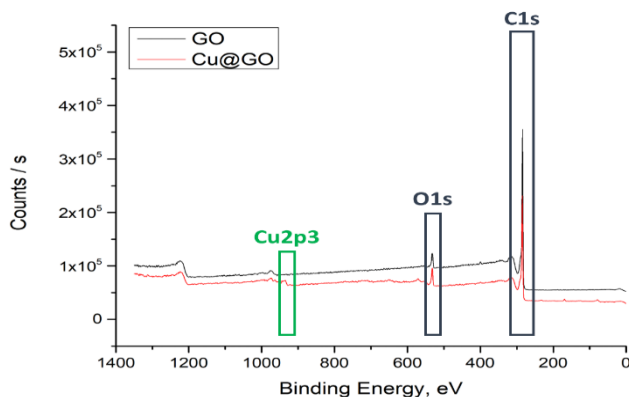


Figura 12: Spectrele XPS pentru GO și $Cu@GO$ obținute.



Figura 13: Imagini din procesul tehnologic de sinteză a compoziției R31GO_4

Investigarea DSC

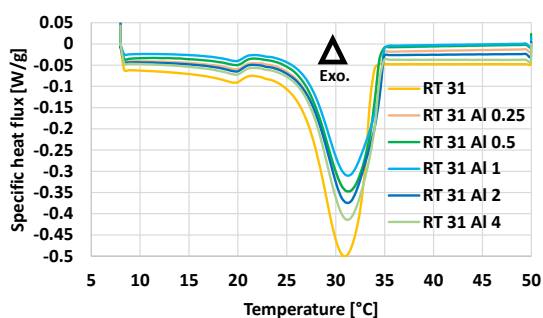


Fig. 20a. DSC RT31 - Al încălzire

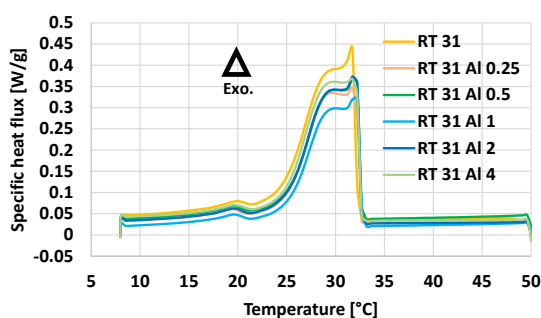


Fig. 20b. DSC RT31 - Al răcire

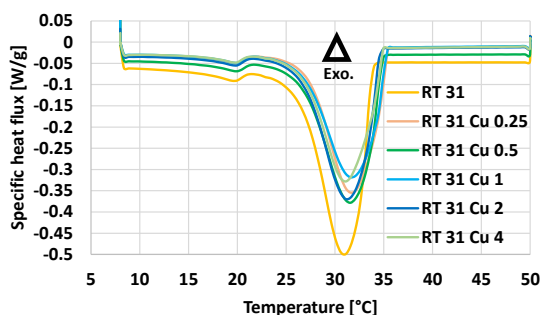


Fig. 21a. DSC RT31 - Cu încălzire

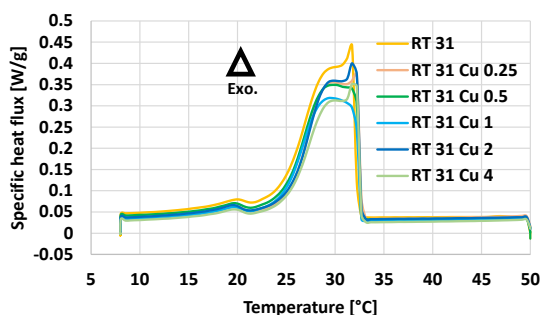


Fig. 21b. DSC RT31 - Cu răcire

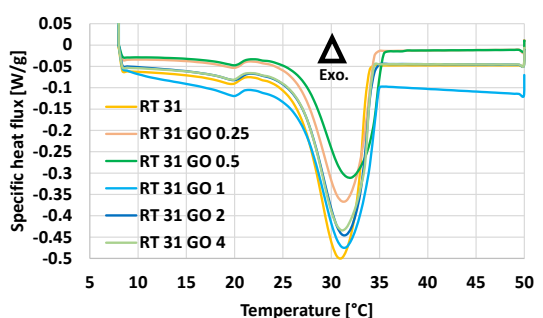


Fig. 14a. DSC RT31 - GO încălzire

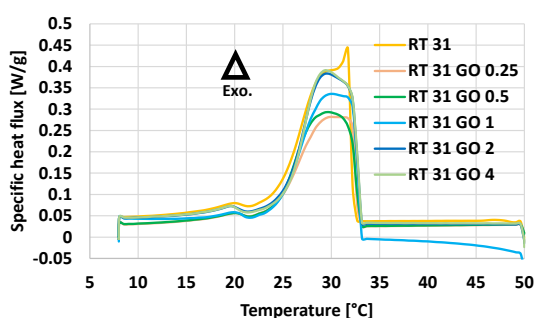


Fig. 14b. DSC RT31 - GO răcire

Suprafața situată între curba DSC și linia de bază reprezintă valoarea căldurii latente. Software-ul OriginPRO a fost folosit pentru a determina linia de bază a fiecărei curbe de flux și pentru a calcula valorile integrate. Pe baza rezultatelor experimentale se constată că valorile măsurate ale căldurii latente sunt în general mai mici decât valorile materialului pur.

În urma testării experimentale se trage concluzia generală că nu există diferențe semnificative în comportamentul amestecurilor nePCM în ceea ce privește performanțele la procente similare de masă în amestec. Astfel, din analiza datelor și considerând și aspectul economic se alege implementarea nanomaterialului Oxid de Aluminiu în procent de 0,5% masic în amestec.

Final characterization of the nePCMS (Caracterizare finală a soluției alese)- analizat la comun cu Iteration on requirements regarding the stability in time (Comportament și cerințe privind stabilitatea în timp a nePCM)- realizat

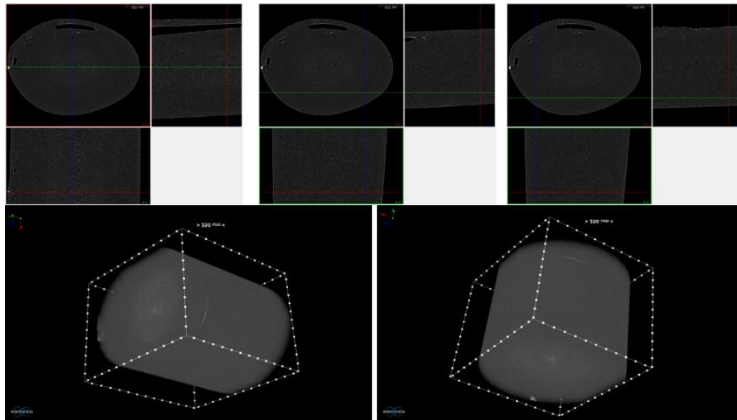


Figura 14: Imagini micro-CT înregistrate pentru proba R31Al-0.5 (rândul de sus: imagini ale obiectului 3D obținute în CTvox; rândul de jos: imagini ale celor trei planuri ortogonale obținute cu softul DataViewer, înregistrate în trei puncte diferite ale probei)

Conductivitatea termică este evaluată cu formula:

$$\lambda_{NePCM} = \frac{\lambda_{nano} + 2 \cdot \lambda_{PCM} - 2 \cdot \varphi \cdot (\lambda_{PCM} - \lambda_{nano})}{\lambda_{nano} + 2 \cdot \lambda_{PCM} + \varphi \cdot (\lambda_{PCM} - \lambda_{nano})} \cdot \lambda_{PCM} + 4,22035 \cdot 10^5 \cdot (100 \cdot \varphi)^{-1,07304} \cdot \varphi \cdot \rho_{PCM}$$

$$\cdot c_{p,PCM} \cdot \sqrt{\frac{\kappa \cdot T}{\rho_{nano} \cdot d_{nano}}} \cdot f(T, \varphi)$$

$$f(T, \varphi) = (2,8217 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi + 3,917 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{T}{T_0} - 3,0699 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi - 3,91123 \cdot 10^{-3}$$

Mărimi fizice: $\lambda_{nano} = 30 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; $\lambda_{PCM} = 0,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; $\varphi = 0,005$ fracția volumică de nano în PCM (exemplu pt 0,5% procent la care a crescut căldura latentă); $\rho_{PCM} = 880 \text{ kg}/\text{m}^3$

$c_{p,PCM} = 2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $\rho_{nano} = 1060 \text{ kg}/\text{m}^3$; $d_{nano} = 50 \cdot 10^{-9} \text{ m}$; $T_0 = 273,15 \text{ K}$; $\kappa = \text{cst Boltzmann} = 1,380649 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

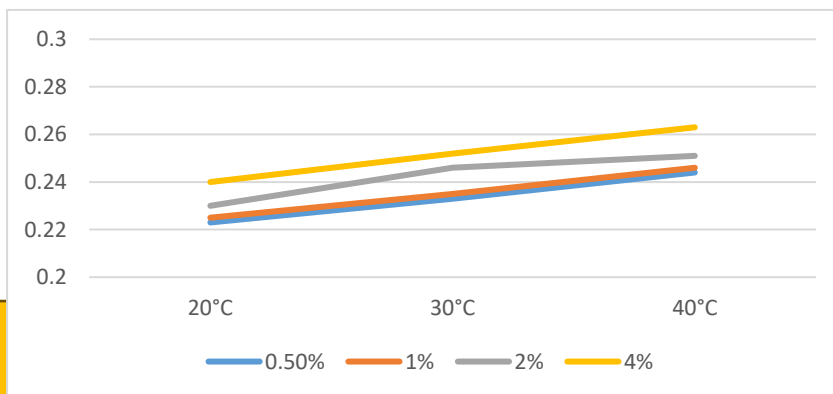


Figura 27: Variația conductivității termice la diferite procente de Oxid de Aluminiu în RT31

La finalizarea acestui WP, s-a luat decizia utilizării

nanomaterialului oxid de aluminiu în procent de 0,5% masic, în amestec cu cele 3 parafine selectate anterior.

Identification of advanced insulation solutions based on aerogel.

Densitatea materialelor folosite în construcția clădirilor sau a echipamentelor adiacente clădirilor este importantă atunci când se proiectează structuri pentru a asigura rezistența și stabilitatea lor.

1. Vată minerală Masa, $m = 18,4$ g; Volumul, $V = (10 \times 10 \times 1,96)$ cm³ = 196 cm³; **Densitatea, $\rho = 0,094$ g/cm³**
2. Compozit polimeric cu fibră de sticlă Masa, $m = 4,1$ g; Volumul, $V = (10 \times 10 \times 0,7)$ cm³ = 70 cm³; **Densitatea, $\rho = 0,0585$ g/cm³**
3. Pătura de aerogel Masa, $m = 6,6$ g; Volumul, $V = 10 \times 10 \times 0,7 = 70$ cm³; **Densitatea, $\rho = 0,094$ g/cm³**

Rezistența la tracțiune a unui material se referă la capacitatea sa de a rezista la forțe de tracțiune (întindere). Aceasta este măsurată prin determinarea tensiunii maxime la rupere a materialului.

1. Vată minerală Lungimea inițială, $L_i = 100$ mm; Lungimea finală, $L_f = 115$ mm; Secțiunea, $S = (40 \times 19)$ mm² = 760 mm²; Forța maximă = 2 daN; **Rezistența la tracțiune, $f_t = 0,026$ N/mm²; Alungirea, $\epsilon = 15\%$**
2. Compozit polimeric cu fibră de sticlă Lungimea inițială, $L_i = 100$ mm; Lungimea finală, $L_f = 160$ mm; Secțiunea, $S = (40 \times 7)$ mm² = 280 mm²; Forța maximă = 6 daN; **Rezistența la tracțiune, $f_t = 0,214$ N/mm²; Alungirea, $\epsilon = 60\%$**
3. Pătură de aerogel Lungimea inițială, $L_i = 100$ mm; Lungimea finală, $L_f = 120$ mm; Secțiunea, $S = (40 \times 7)$ mm² = 280 mm²; Forța maximă = 18 daN; **Rezistența la tracțiune, $f_t = 0,643$ N/mm²; Alungirea, $\epsilon = 20\%$**

Absorbția de apă reprezintă proprietatea materialelor poroase de a absorbi și reține apa, în porii deschiși.

Materialele au următoarele valori în privința absorbției de apă:

1. Vată minerală Masa materialului uscat, $m_1 = 6,7$ g; Masa materialului saturat cu apă, $m_2 = 42,7$ g; **Absorbția masică, $A_m = 537,3\%$**
2. Compozit polimeric cu fibră de sticlă Masa materialului uscat, $m_1 = 0,5$ g; Masa materialului saturat cu apă, $m_2 = 0,6$ g; **Absorbția masică, $A_m = 20\%$**

Aerogelul nu a prezentat absorbție a vaporilor de apă în timpul experimentelor.

Rezistența materialelor la solvenți se referă la capacitatea unui material de a rezista acțiunii substanțelor chimice solubile, numite solvenți, fără a suferi deteriorări semnificative sau schimbări ale proprietăților sale.

Testarea **conductivității termice** este o parte importantă a evaluării performanței termice a materialelor considerate posibili candidați la realizarea saltelei flexibile. Conductivitatea termică a fost măsurată folosind un echipament P.A.Hilton H111N pentru materialele luate în considerare pe epruvete de dimensiuni 30x30 mm.

Conductivitatea termică variază între **0,0323...0,0545 W/(mK)** pentru soluțiile analizate. Cu cât conductivitatea termică este mai mică, cum este cazul saltelei din aerogel, cu atât fluxul de căldură către zonele adiacente colectorului solar este mai mic. În acest sens, cea mai bună opțiune este reprezentată de pătura cu aerogel care are cea mai mică valoare, 0,0323 W/(m·K). Cea mai mare valoare a fost obținută pentru compozitul polimer din fibră de sticlă.

Astfel, cel mai eficient material de implementat în colectorul solar cu nePCM-uri și izolație dinamică (pe role) pentru a îmbunătăți eficiența energetică prin reducerea numărului de ore de funcționare și a costurilor de funcționare este pătura cu aerogel.

[2023 decembrie](#)