



UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
ACADEMIA OAMENILOR DE ȘTIINȚA DIN ROMANIA



COMPETIȚIA DE PROIECTE DE CERCETARE A ACADEMIEI
OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA DESTINATĂ TINERILOR
CERCETĂTORI „AOȘR-TEAMS-III” EDIȚIA 2024-2025 –
„TRANSFORMAREA DIGITALĂ ÎN ȘTIINȚE”

***INVESTIGAREA PERFORMANȚELOR UNUI SISTEM DE
POMPĂ DE CĂLDURĂ CUPLATĂ LA SOL CU
REGENERARE ÎN DIFERITE CONFIGURAȚII ȘI MODURI
DE FUNCȚIONARE***

RAPORT 2

Domeniul științific: ȘTIINȚE INGINEREȘTI

Echipa:
As. dr. ing. Alexandru DORCA
drd. dr. ing. Matei MIRZA

- 3 Decembrie 2024 -



OBIECTIVE

Obiectivele specifice care stau la baza îndeplinirii obiectivului general propus a fi realizat prin intermediul proiectului sunt:

- **O1** - Analiza lucrărilor din literatură de specialitate ce au la bază regenerarea și stocarea energiei în sol, precum și studierea metodei diferențelor finite Crank-Nicolson necesare la rezolvarea modelului de transfer termic tranzitoriu.
- **O2** – Dezvoltarea și îmbunătățirea standului experimental realizat în cadrul tezei de doctorat prin suplimentarea cu un rezervor de acumulare a agentului termic și panouri PVT.
- **O3** - Elaborarea unui model de simulare numerică a transferului căldurii în schimbătorul din sol în regim tranzitoriu.
- **O4** – Analiza rezultatelor obținute prin testare experimentală și simulare numerică precum și a celor obținute cu modelul de transfer termic tranzitoriu în schimbătorul din sol.
- **O5** – Diseminarea rezultatelor în cadrul conferințelor și publicațiilor științifice de largă circulație internațională.

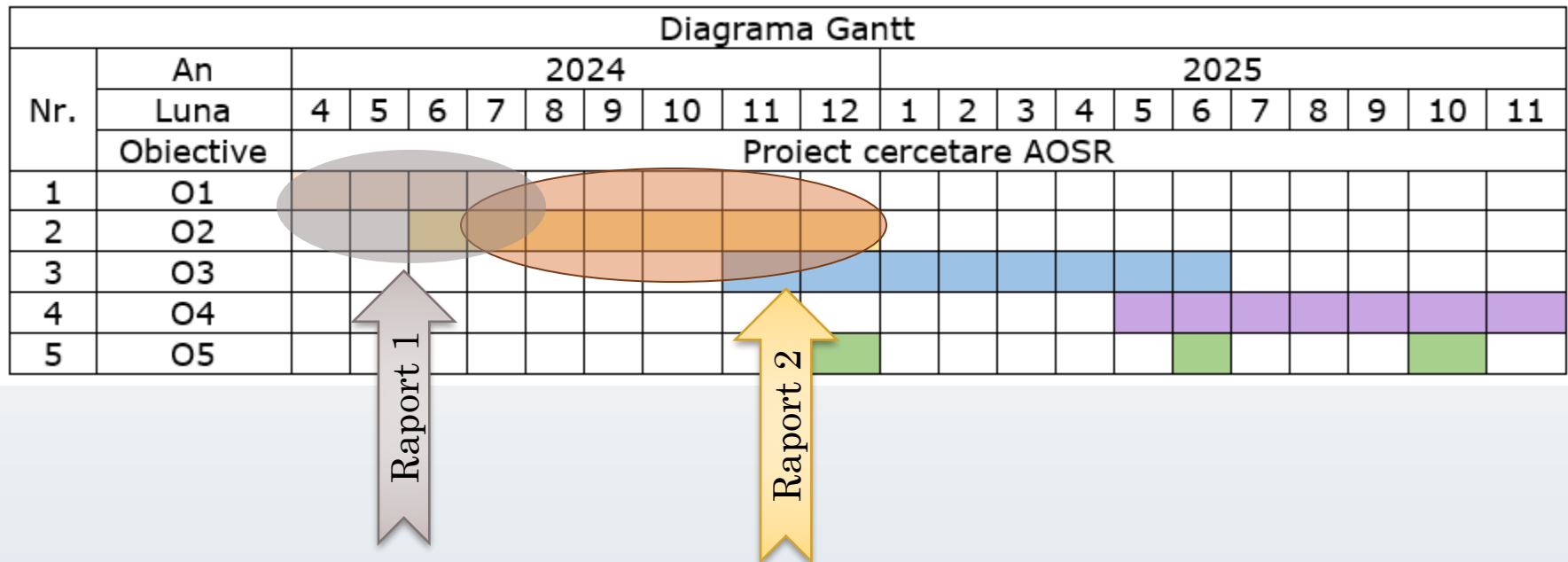
Raport 1

Raport 2



DIAGRAMA GANTT

Reprezintă o propunere a etapelor de implementare a proiectului până la finalizarea activităților





METODOLOGIA

În proiect vor fi desfășurate activități grupate în 4 pachete de lucru, care se vor realiza pe parcursul a 20 de luni:

Raport 2

- Managementul proiectului, realizat pe toată durata sa.
- Dezvoltarea standului experimental, care presupune proiectarea, construcția și testarea instalației.
- Realizarea măsurătorilor, efectuarea simulărilor numerice ale performanțelor sistemului de PC cuplată la sol (PCCS) și validarea acestora, precum și dezvoltarea modelului matematic de transfer termic tranzitoriu în schimbător împreună cu validarea experimentală a acestuia.
- Stadiul final, colectarea rezultatelor, interpretarea și discutarea acestora și diseminarea prin conferințe și reviste cotate în baza de date Web of Science.

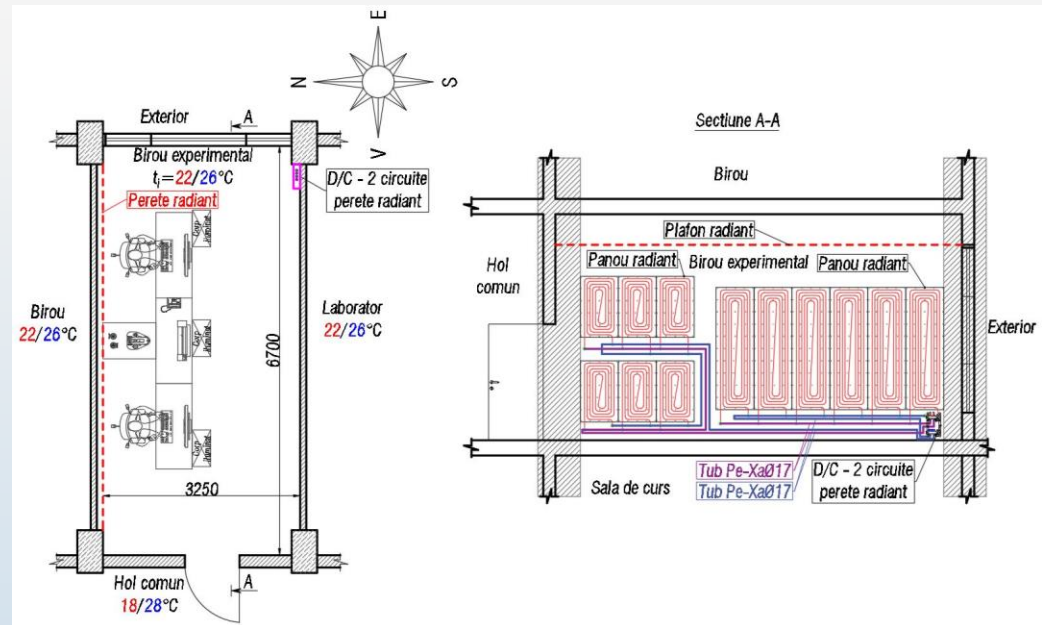


DEZVOLTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL

Continuarea și dezvoltarea cercetărilor pe standul realizat în cadrul tezei de doctorat intitulată "Asigurarea eficienței energetice a sistemelor termice și a confortului în clădiri civile utilizând pompa de căldură cuplată la sol", conduse în laboratorul experimental amplasat în clădirea Facultății de Construcții din Timișoara.

Spațiul biroului experimental are aria de 21,80 m² și înălțimea de 3,20 m. Anvelopa (pereții exteriori) este construită din beton celular autoclavizat (250 mm), tencuială din mortar de ciment (30 mm) și cărămidă aparentă (50 mm). Puterea termică de încălzire este de 1200 W, iar puterea termică de răcire este de 969 W.

Fig. Schema sistemului de încălzire
cu perete radiant



Agentul termic pentru încălzire, răcire și producere ACC se asigură de la o PC sol-apă, WPC 05-cool, cu compresor ermetic de tip scroll, având capacitatea de încălzire de 5,8 kW și de răcire de 3,8 kW. Circuitul frigorific al PC este încărcat cu agent frigorific R410A.

Agentul termic este livrat către 4 circuite diferite de încălzire/răcire (pardosea radiantă, perete radiant, plafon radiant și radiatoare de medie temperatură).

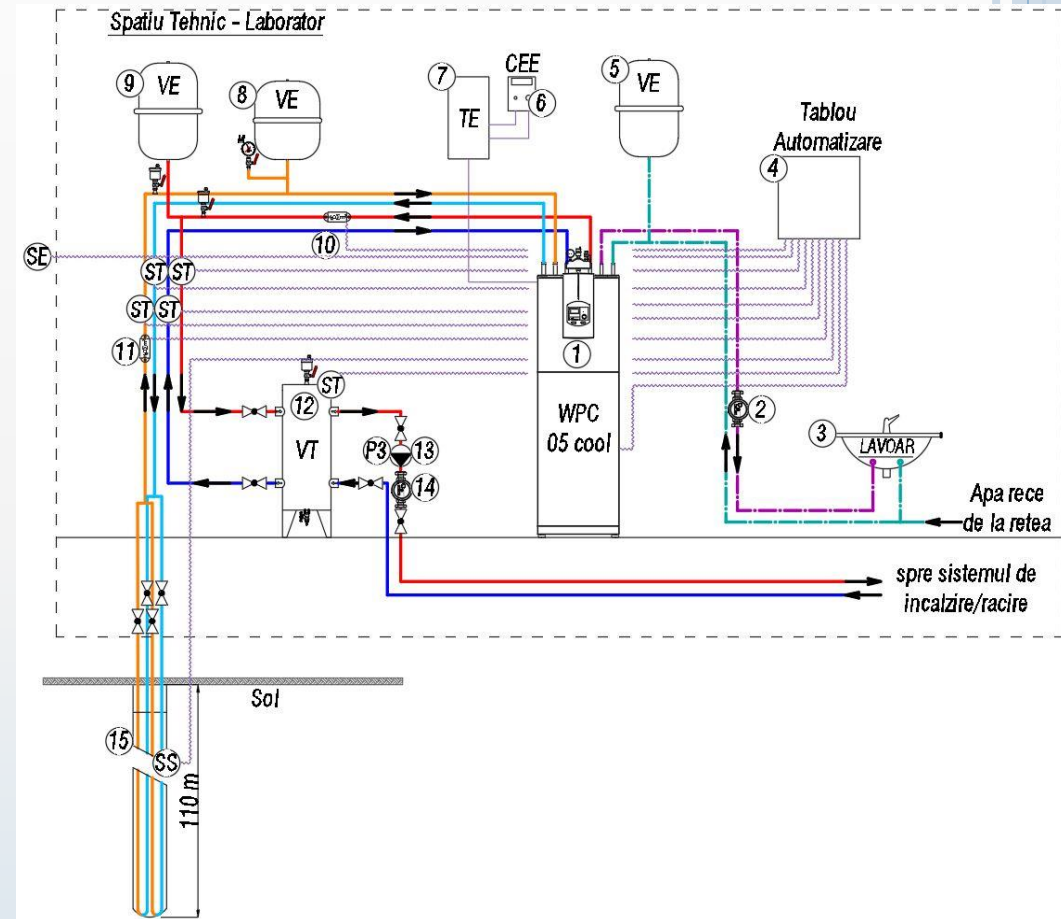


Fig. Schema instalației experimentale de pompa de căldură cuplata la sol folosită în cadrul tezei de doctorat



DEZVOLTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL

În această lucrare se preferă să se injecteze energia termică provenită de la o rezistență electrică a unui boiler electric, acționată cu electricitate produsă de 6 panouri solare fotovoltaice (PV), în SCS (sonda din sol) vertical al PCCS conectată la circuitul de încălzire al biroului experimental, înainte de a extrage căldura din puțul forat. Aceasta permite PCCS să poată face față dezechilibrului termic al solului în cazul unei puteri de răcire mai mică în comparație cu puterea de încălzire. S-a decis să se folosească panouri PV (deși sunt mai puțin eficiente decât colectoarele solare termice) deoarece produc energie electrică foarte utilă, și nu energie termică, ceea ce este relativ mai simplu de realizat.

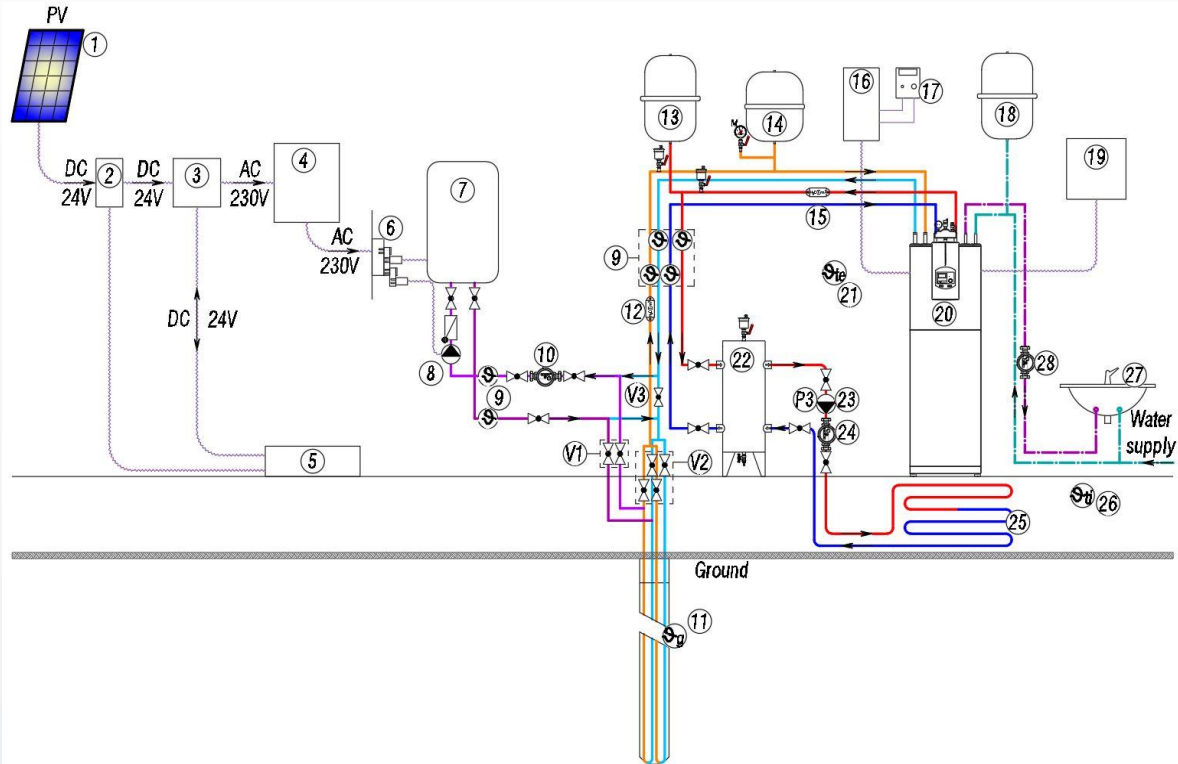


Fig. Schema instalației geotermale cu sistem vertical GCHP combinat cu panouri fotovoltaice

DEZVOLTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL

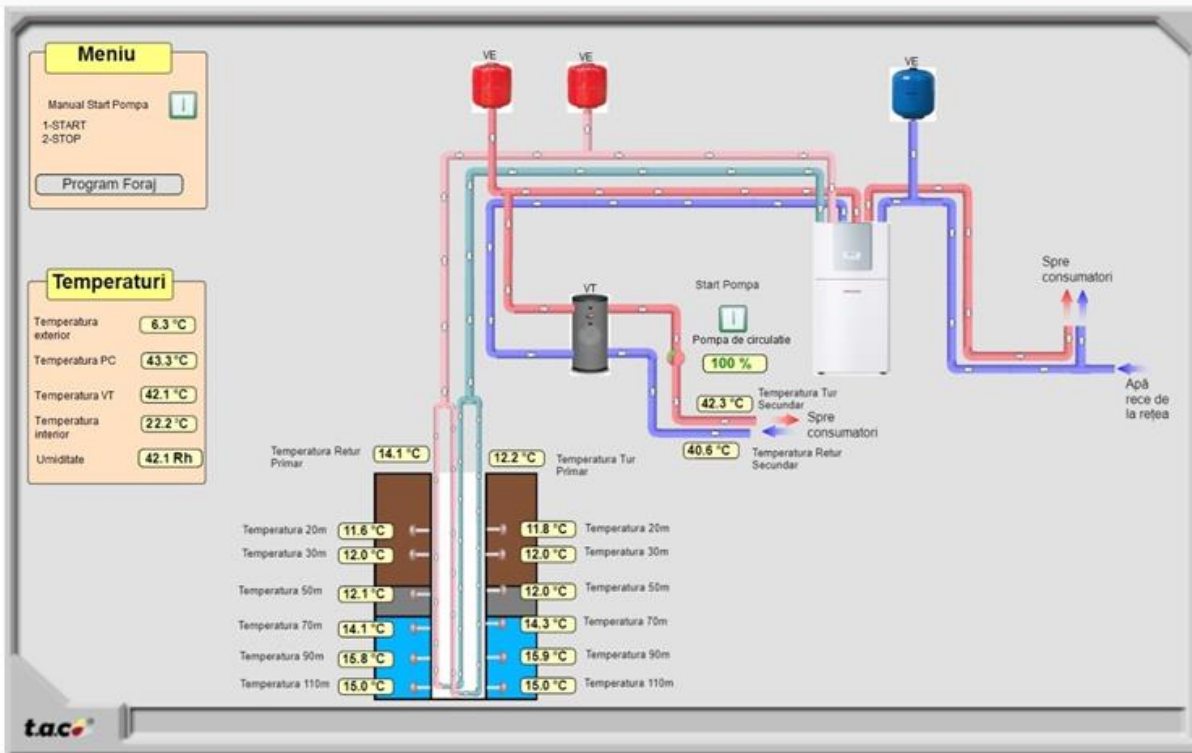


Fig. Interfața sistemului de achiziție a datelor

Sistemul de achiziție de date al PCCS consta din:

- temperatura aerului interior și exterior
- temperatura punctului de roua
- temperatura de tur/retur pe circuitul secundar
- temperatura sursei de caldura (temperatura la intrarea și ieșirea din sonda verticala)
- temperatura solului pe întreaga adâncime a sondei verticale
- umiditatea relativa a aerului
- parametrii de funcționare principali ai componentelor sistemului.



REZULTATE INTERMEDIARE

S-au efectuat investigații experimentale și simulări numerice Polysun privind performanțele unui sistem hibrid PCCS cu panouri solare PVT integrate, având schema funcțională din Fig.

În sistemul hibrid PCCS-PV/T panourile PV/T sunt utilizate ca sursă suplimentară de căldură cu SCS.

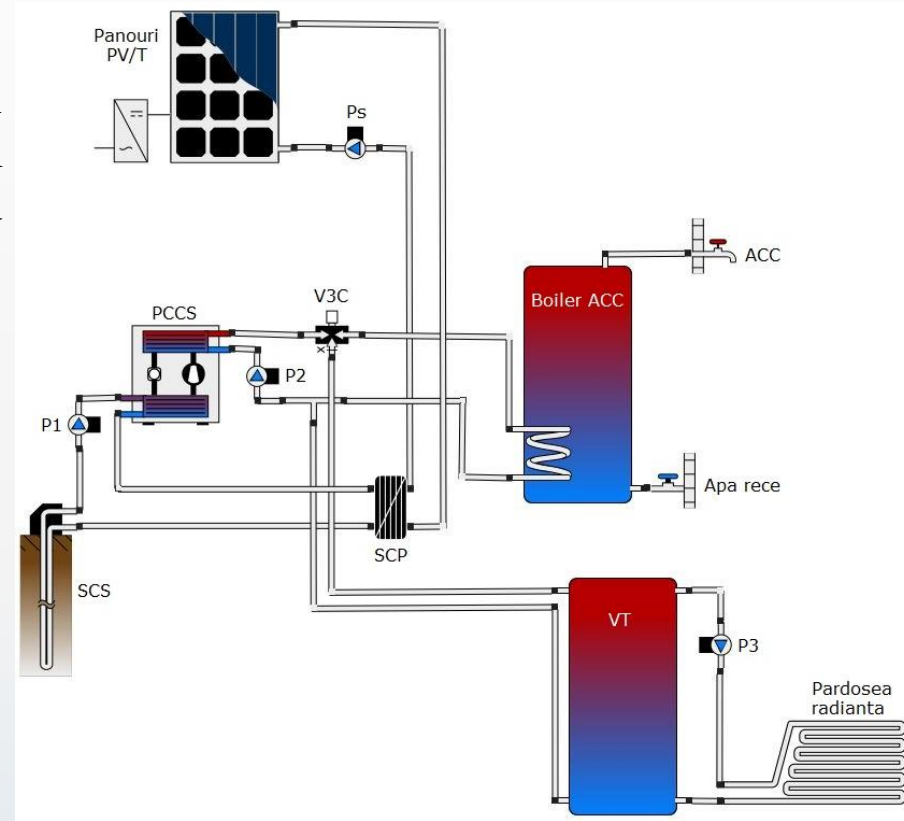
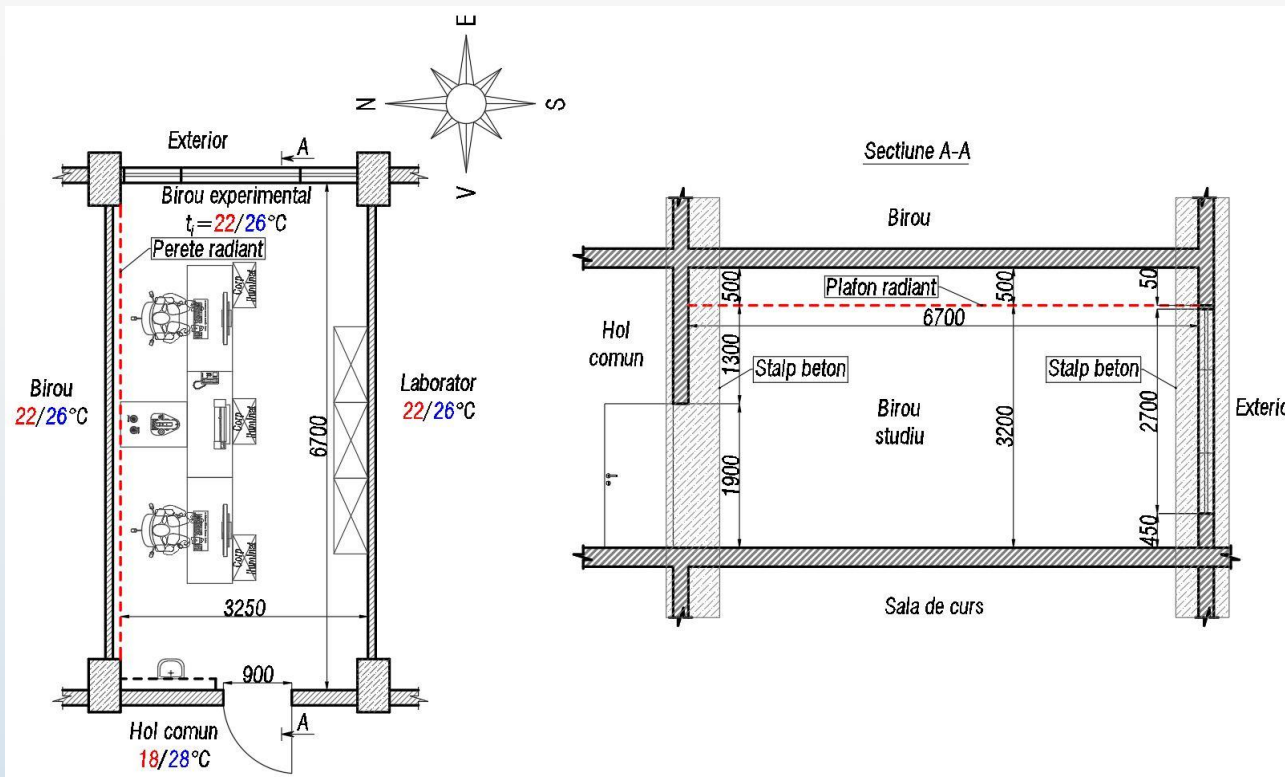


Fig. Configurația sistemului hibrid pompa de căldură cuplata la sol cu panouri fotovoltaice termice integrate

REZULTATE INTERMEDIARE

Suprafața încălzită a biroului experimental este de $21,8 \text{ m}^2$, iar necesarul de energie termică de $2,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{an})$ pentru încălzire și de $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{an})$ pentru producerea ACC. Temperatura setată a aerului interior este de $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Circuitul solar cuprinde 3 panouri PV/T cu suprafața de $4,8 \text{ m}^2$ și puterea nominală totală de $0,68 \text{ kW}$.





REZULTATE INTERMEDIARE

Programul Polysun a fost utilizat la simularea, pe perioada lunii Octombrie 2024, a energiei termice necesare satisfacerii cerințelor de încălzire și ACC pentru biroul experimental și energiei electrice generate de panourile PV/T, care compensează energia electrică utilizată de PC.

Performanțele PCCS interconectate cu panouri PV/T obținute prin simulare și monitorizare în modul de încălzire-ACC

Valoare	E_T (kWh)	$E_{el,pv}$ (kWh)	E_{PC} (kWh)	FPS_{PC} (-)	Reducerea emisiei de CO ₂ (kg)
Simulată	209	54	49	4,26	14,65
Măsurată	214	57	50	4,28	14,95
Eroarea relativă e_r (%)	2,4	5,6	2,0	0,5	2,0

Rezultatele arată că valorile simulate precum energia termică utilă (E_T), energia electrică produsă de panourile PV/T ($E_{el,pv}$), energia electrică consumată de PC (E_{PC}), factorul de performanță sezonier al PC (FPS_{PC}) și reducerea emisiei de CO₂ sunt mai mici doar cu 0,5–5,6% față de cele măsurate, astfel încât modelul de simulare numerică este validat experimental.



REZULTATE INTERMEDIARE

- Din rezultatele experimentale preparate până în momentul de față se poate observa o creștere a coeficientului de performanță (COP) al sistemului în configurația cu sonda tub U dublu față de cea cu tub U simplu înainte de injecția căldurii și după injecția căldurii în sol.
- S-a urmărit reducerea emisiilor de CO_2 în configurația cu tub U dublu față de cea cu tub U simplu înainte de injecția căldurii și după injecția căldurii.
- Energia termică produsă de panourile PVT poate furniza sursă de căldură de temperatură scăzută pentru PC în scopul îmbunătățirii performanței de încălzire.
- Consumul de energie electrică al PC și al pompelor de circulație poate fi acoperit cu electricitate regenerabilă generată de panourile PVT.

ELABORAREA MODELULUI MATEMATIC

Performanța schimbătoarelor de căldură din sol (SCS) cu diferite configurații a devenit un subiect foarte important în multe studii de cercetare, deoarece afectează direct proiectarea și eficiența generală a sistemului de PCCS. Prin urmare, în ultimul deceniu, au fost efectuate tot mai multe studii de cercetare, care s-au concentrat pe investigarea performanței termice a SCS cu tub U simplu și dublu.

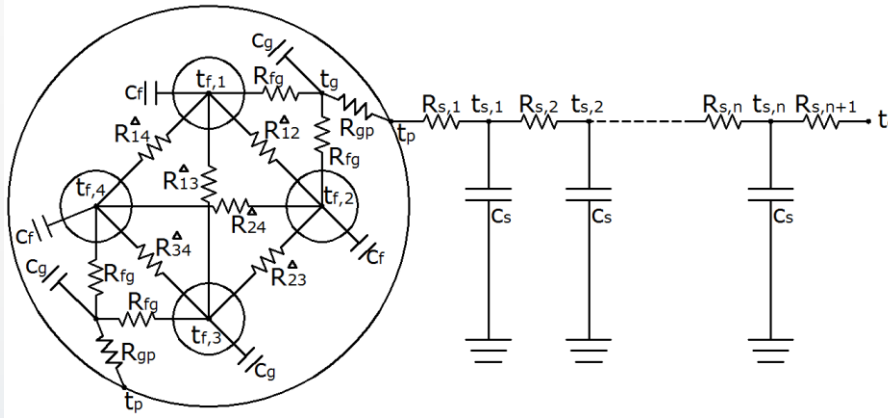


Fig. Analogia electrică a circuitului termic corespunzător sondei cu tub U dublu

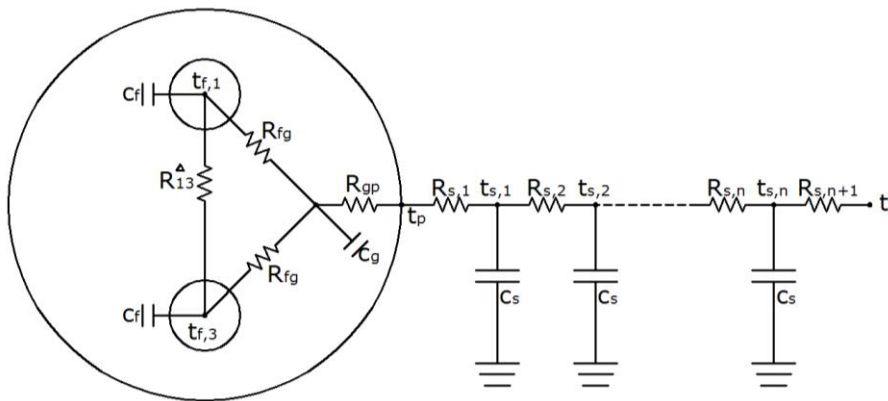
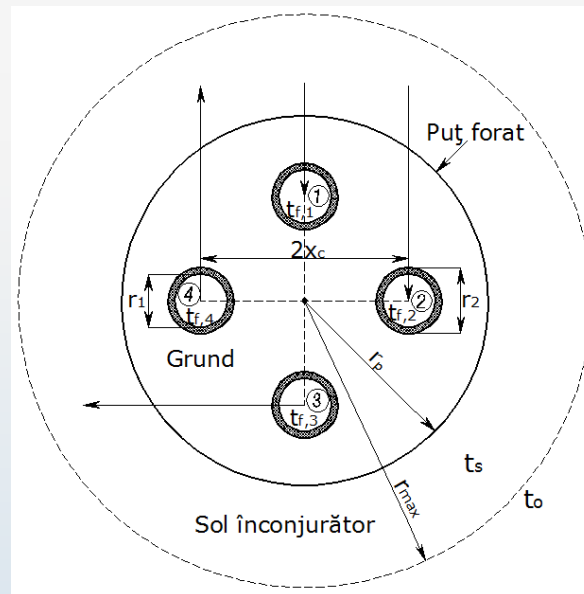


Fig. Analogia electrică a circuitului termic corespunzător sondei cu tub U simplu

ELABORAREA MODELULUI MATEMATIC

În figura se ilustrează vederea în secțiune a configurației sondei cu tub U dublu și parametrii geometrici ai puțului forat. Tuburile sunt considerate plasate simetric în foraj cu două circuite independente 1-3 și 2-4, adoptate pe baza rezultatelor studiului realizat de Zeng ș.a., conform cărora această configurație are cea mai scăzută rezistență termică în comparație cu alte configurații ale sondei cu tub U dublu.



Parametrii geometrici ai puțului forat și configurația SCS cu tub U dublu



ELABORAREA MODELULUI MATEMATIC

Pentru a formula modelul numeric au fost utilizate unele ipoteze simplificatoare:

- 1) Proprietățile termice și fizice ale solului sunt constante.
- 2) Grundul și solul din jurul forajului sunt omogene.
- 3) Efectul debitului de apă subterană se neglijează.
- 4) Rezistența de contact între tubul U și grund și între pereții puțului și sol se neglijează.
- 5) Temperatura solului neperturbat este presupusă constantă.
- 6) Rezistența termică convectivă a fluidului și rezistențele de conducție ale grosimii peretelui tubului s-au considerat a fi egale în ambele tuburi U.
- 7) Pentru ambele tuburi U, temperatura fluidului din ultimul nod al tubului descendent (retur) este egală cu temperatura fluidului care intră în tubul ascendent (tur).

– pentru nodul de fluid i din tubul de tur 1:

$$\frac{dt_{f1}}{d\tau} = \frac{m_f}{M_f} (t_{f1,i-1} - t_{f1,i}) + \frac{t_{f2,i} - t_{f1,i}}{M_f c_f R_{12}^\Delta / \Delta z} + \frac{t_{f3,i} - t_{f1,i}}{M_f c_f R_{13}^\Delta / \Delta z} + \frac{t_{f4,i} - t_{f1,i}}{M_f c_f R_{14}^\Delta / \Delta z} + \frac{t_{g,i} - t_{f1,i}}{M_f c_f R_{fg} / \Delta z}$$

– pentru nodul de fluid i din tubul de tur 2:

$$\frac{dt_{f2}}{d\tau} = \frac{m_f}{M_f} (t_{f2,i-1} - t_{f2,i}) + \frac{t_{f1,i} - t_{f2,i}}{M_f c_f R_{12}^\Delta / \Delta z} + \frac{t_{f3,i} - t_{f2,i}}{M_f c_f R_{23}^\Delta / \Delta z} + \frac{t_{f4,i} - t_{f2,i}}{M_f c_f R_{24}^\Delta / \Delta z} + \frac{t_{g,i} - t_{f2,i}}{M_f c_f R_{fg} / \Delta z}$$



CONCLUZIE

Având în vedere rezultatele obținute până în acest moment, consider că acest subiect pe tematica abordată este de mare interes, iar această cercetare consider că va avea un grad ridicat de originalitate, cu contribuții deosebite în regenerarea solului și îmbunătățirea eficienței energetice a sistemului PCCS.

