

## **Proiect ROMANA-„Alocarea optimală a resurselor prin structurarea de sisteme adaptive folosind metode de analiză neliniară”, contract nr. PCE 236/2021**

### **ETAPA 1-2021- Colectarea de date, evaluare termodinamică și analiza multiscalară preliminară**

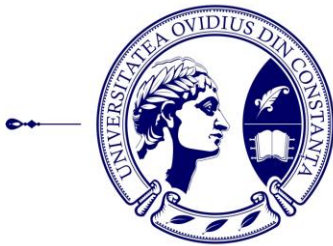
#### **Livrabil 5: Diagrama exergetică pentru fiecare sector economic al României (nivel 1)**

La paragraful 1.1. a fost prezentat modelul care a fost conceput pentru analiza eficienței energetice la nivel macroeconomic, iar în figura 2 se prezintă graficul conexiunilor dintre cele 7 sectoare considerate. Fiecare din aceste sectoare au la rândul lor o structură ierarhică care începe de la nivel de entități individuale, sectoare distribuite geografic începând de la scara unui oraș, al unui județ și, respectiv scara la nivelul economiei naționale. În cadrul activităților de la A1.3. a fost dezvoltată o abordare multiscalară începând de la o entitate individuală, respectiv un punct termic convertit într-o centrală pentru producerea energiei termice pentru un cartier.

Astfel, exploatarea potențialului de energie solară disponibil pentru aplicațiile de termoficare este o problemă care prezintă mai multe provocări. Intermitența radiației solare necesită o sursă de rezervă pentru a compensa variabilitatea energiei de intrare și nevoia de potrivire cu curba cererii de energie termică. Soluțiile implică în mod evident utilizarea surselor de rezervă bazate pe biomasă, biogaz, pompe de căldură, surse care utilizează energie eoliană, geotermală sau căldură reziduală [25].

Se așteaptă ca obiectivele UE de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> pentru lanțurile de aprovizionare cu energie să contribuie la înlocuirea centralelor convenționale și a sistemului centralizat pe bază de combustibil fosil cu surse de energie regenerabilă, iar acestea să fie implementate în toate statele membre ale UE. Acest lucru poate duce la o eventuală creștere a complexității structurale a rețelelor de termoficare.

În cadrul livrabilului a fost ales un proiect pilot în municipiul Constanța, România, proiectat cu scopul de a transforma o stație de încălzire existentă a rețelei de termoficare într-o centrală de energie termică semi-independentă cu panouri solare. Prin amplasarea panourilor solare termice într-o zonă rezidențială a orașului, mai ales când orașul Constanța se află pe malul mării, trebuie avut în vedere faptul că există o tendință crescută de depunere de praf. Pentru a evita această depunere și deteriorarea ulterioară a suprafețelor active ale panourilor, ar trebui concepute soluții suplimentare care să mărească complexitatea sistemelor. Pentru a rezolva această problemă, a fost dezvoltată o vopsea antistatică de înaltă performanță care integrează nanoparticule într-un strat de suprafață convențional. A fost elaborată o metodologie specifică pentru evaluarea cantităților și compoziției depunerilor.



MINISTERUL EDUCAȚIEI  
UNIVERSITATEA OVIDIUS DIN CONSTANȚA

Bd. Mamaia nr. 124, 900527 Constanța, România - Tel./Fax: +4 0241 606.407, +4 0241 606.467  
E-mail: [rectorat@univ-ovidius.ro](mailto:rectorat@univ-ovidius.ro) - Web page: [www.univ-ovidius.ro](http://www.univ-ovidius.ro)

În scopul prezentului studiu, a fost implementată o metodologie de analiză a valorii pentru selectarea sursei de rezervă, iar rezultatul procesului de decizie multicriterială a fost utilizarea unui set de 2 unități de cazane pe peleți din biomasă de 500 kW. Configurarea acestor cazane pe peleți pentru a funcționa ca sursă de rezervă de energie termică pentru a suplimenta ieșirile de la panourile solare a necesitat dezvoltarea unui filtru catalitic de ultimă generație pentru a minimiza emisiile. Pentru a modela performanțele centralei de termoficare, a fost dezvoltat un model termodinamic bazat pe cerere și ofertă. Folosind acest model, parametrii de proiectare a procesului au fost optimizați pentru un cost minim al energiei finale (termice) și un impact minim asupra mediului.

Situată pe litoralul Mării Negre, cu o populație de aproximativ 320.000 de locuitori, Constanța este al doilea oraș ca mărime din România după capitala București și găzduiește cel mai mare port de la Marea Neagră. Orașul are o rețea de termoficare cu o putere totală instalată de 845 MWt din care 813 MWt sunt amplasate în stații de reîncălzire care primesc agentul primar de la o centrală termică mare și distribuie căldura printr-o rețea secundară către utilizatorii finali rezidențiali. Diferența de putere instalată de 32 MWt, constă în cazane mici și medii pe gaz situate în zone îndepărtate sau clădiri care sunt situate departe de rețeaua de conducte a încălzirii centralizate [25].

Unul dintre punctele termice este denumit PT31 și este situat în cartierul "Faleză Nord". După cum se poate observa în Fig.5, punctul termic furnizează apă caldă pentru uz menajer și apă caldă pentru încălzirea spațiilor, folosind o rețea secundară foarte mare de conducte conectate la locuințele din blocuri. Stația produce fluxurile de apă caldă pe baza fluxului de energie termică primară de la Centrala Termică a orașului. În octombrie 2018, aproximativ 100 de locuințe ale utilizatorilor finali erau încă conectate la rețeaua secundară de distribuție. Utilizarea lunară a energiei termice în rețeaua secundară asociată PT31 este prezentată în Tabelul 2 pentru primele 10 luni ale anului 2018.

Explicația acestei situații este că rețeaua secundară a fost dezvoltată în anii 1970 pentru a deservi toate blocurile de apartamente desenate în figura 5, dar, din 2011, multe dintre locuințe au trecut la centrale individuale pe gaz natural.



**Figura nr. 5.** Centrala pilot PT31 și rețeaua de distribuție a energiei termice [25]

Luna	Energie termică (MW <sub>t</sub> <sub>h</sub> )
Ianuarie	141
Februarie	159
Martie	160
Aprilie	77
Mai	13
Iunie	11
Iulie	10
August	13
Septembrie	9

**Tabelul 2.** Energia termică vândută utilizatorilor finali între ianuarie și septembrie 2018

Clădirea care găzduiește în prezent subsistemul PT31 este o structură simplă din beton cu un acoperiș plat, așa cum se arată în fig. 6a.

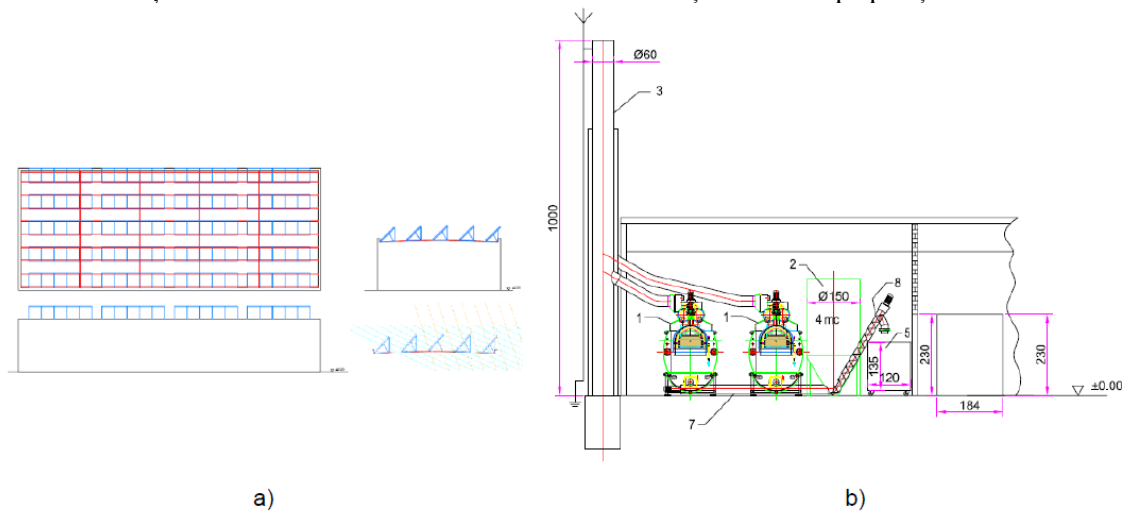
Scopul proiectului a fost definirea unui concept de centrală pilot care utilizează energia solară prin instalarea de panouri solare termice pe acoperișul clădirii ca sursă alternativă de energie termică, fără modificări structurale suplimentare. O astfel de alegere este desigur „durabilă”, dar evident insuficientă pentru a asigura cantitatea și calitatea energiei termice utilizatorilor finali în conformitate cu prevederile legale pentru distribuția energiei termice în România.

Pentru dezvoltarea conceptului de centrală pilot, au fost lansate mai multe campanii pentru evaluarea caracteristicilor referitoare la cererea de energie termică: rezultatul acestor campanii a fost o serie de diagrame de consum final de energie pentru structura de clienți existentă, identificând statisticile zilnice, curba cererii atât pentru sezonul de vară, cât și pentru cel de iarnă. Au fost luate în considerare și variațiile anuale datorate condițiilor meteorologice.

Instalația solară termică a fost dimensionată prin corelarea necesarului de energie termică și a suprafeței disponibile pe acoperișul clădirii PT31 și este compusă din 100 de panouri solare termice, dispuse în grupuri conectate în serie de câte 5 panouri fiecare, iar seriile sunt conectate în paralel pentru a obține o secțiune de 25 de panouri. Secțiunile sunt alimentate de 4 stații de recirculare glicol/apă. Energia termică este stocată în rezervoare de stocare cu o capacitate totală de 10 m<sup>3</sup> fiecare. Figura 7 afișează o variabilitate evaluată statistic a disponibilității energiei solare, pe baza colectărilor de date din 2010 până în 2020 (în detaliu, datele pentru ultimii doi ani). A fost utilizată o metodologie de analiză a valorii pentru a selecta cea mai convenabilă sursă de rezervă care ar putea echilibra curbele cererii și ofertei de energie. Au fost luate în considerare patru alternative: biomasă, biogaz, pompe de căldură alimentate cu energie eoliană și căldură reziduală.



Analiza valorii s-a bazat pe metodologia FAST (Function Analysis System Technique). După identificarea criteriilor de evaluare, au fost construite scheme de ultimă generație pentru fiecare dintre sistemele de rezervă enumerate mai sus. Alegerea celei mai convenabile soluții s-a făcut folosind o metodologie multicriterială și rezultatul a fost utilizarea unui set de 2 unități de cazane pe peleți din biomasă de 500 kW.



**Figura nr. 6.** Conceptul general al centralei pilot PT31: a) dispunerea schematica a panourilor solare termice, b) poziționarea cazanelor pe peleți ca sursă de energie de rezervă [25]

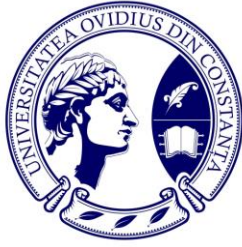
Conceptul de funcționare a centralei pilot a fost dezvoltat astfel:

- în timpul sezonului de vară, panourile solar-termice acoperă întreaga cerere de energie (care constă numai din apă caldă menajeră);
- vârful zilnic de dimineață și de seară sunt acoperite de sistemul de acumulare a apei calde;
- în afara sezonului estival, cea mai mare parte a energiei termice necesare încălzirii este asigurată de cazanele pe peleți, iar panourile solare acționează ca un aport suplimentar doar în timpul zilei pentru a facilita acumularea energiei termice.

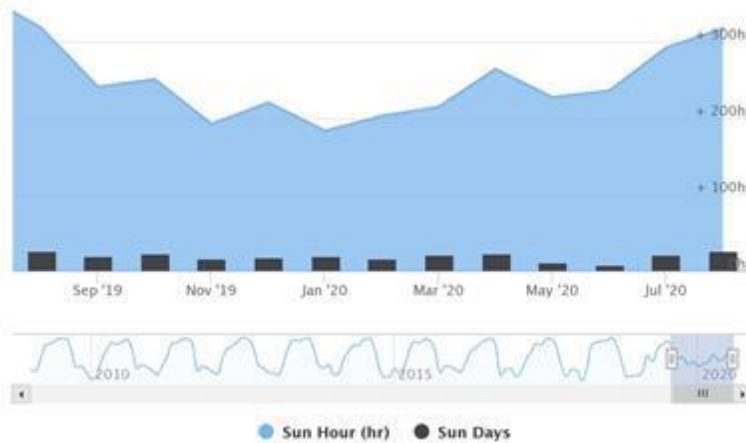
Cazanele pe peleți au o putere nominală de 525 kWt fiecare, cu un randament de ardere de 98% pentru peleții obișnuiți din lemn. Cazanele sunt complet automate, integrând tehnologii digitale de ultimă generație pentru monitorizarea parametrilor și ajustarea dinamică la condițiile de funcționare.

Instalația pilot este un sistem care integrează următoarele subsisteme:

- Subsistemele de transfer de căldură pentru prepararea apei calde pentru încălzire și a apei calde menajere;
- Sistemul de distribuție a energiei termice către utilizatorii finali pe baza rețelei de conducte secundare;
- Instalație de energie solară termică;
- Cazanele pe peleți care utilizează biomasă reziduală ca unitate de rezervă pentru echilibrarea ofertei cu cererea;



- Alimentarea cu energie termică de la Centrala de Cogenerare a orașului folosind conducta de distribuție a energiei primare ca a doua rezervă pentru situații de urgență;
- Unitate de monitorizare a condițiilor meteorologice, precum temperatura aerului și viteza vântului pentru corelarea alimentării cu energie cu condițiile meteorologice și un instrument de prognoză preliminară pentru alimentarea cu energie termică;
- Sistem de achiziție de date, automatizare și control care integrează senzorii, manometrele și actuatoarele operate de la distanță care sunt structurate ca dispozitive IoT care funcționează independent pentru monitorizarea diferiților parametri și cuplate prin Digital Twin la Laboratorul Universității Ovidius de Digitalizare în Inginerie Energetică, dar, de asemenea, cuplată și la Sistem SCADA al companiei de termoficare;



**Figura nr. 7.** Variația lunară a orelor și zilelor soarelui în Constanța

Modelul termodinamic al centralei pilot a fost conceput pe baza structurării componentelor punctului termic în module și a aplicării legilor de conservare. Ecuațiile de conservare a energiei și a masei au fost scrise urmând terminologia de referință:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum(\dot{m}h)_i - \sum(\dot{m}h)_e$$

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = 0$$

Pentru conservarea exergiei, s-a folosit aceeași referință:

$$\dot{E}x_d = \dot{E}x_Q - \dot{E}x_W + \sum(\dot{m}ex)_i - \sum(\dot{m}ex)_e$$

Pentru calculul exergiei s-au folosit următoarele ecuații:

$$\dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_0}{T_i}\right) \dot{Q}_1$$

$$\dot{E}x_W = \dot{W}$$

$$ex = ex_{ph} + ex_{ch}$$

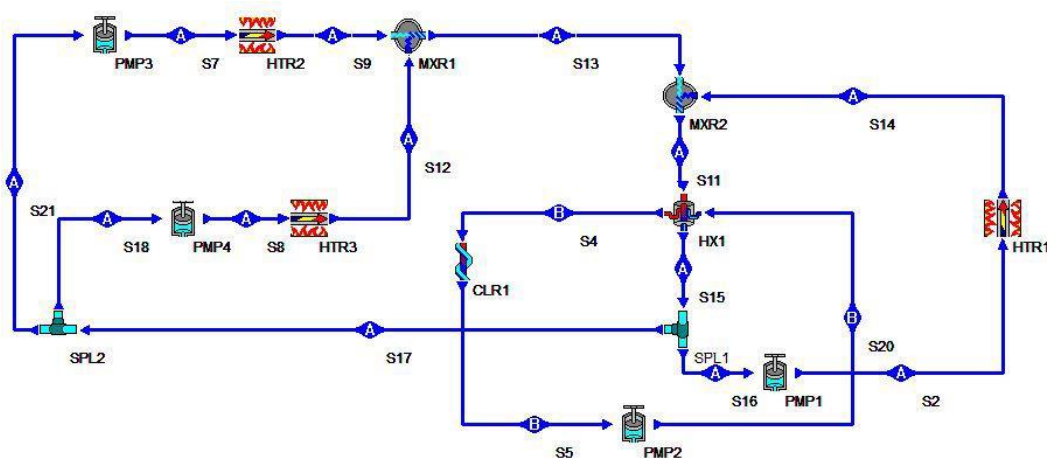
$$ex_{ph} = (h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0)$$



Mediul de referință este caracterizat de o temperatură de 25 °C și o presiune de 101 kPa.

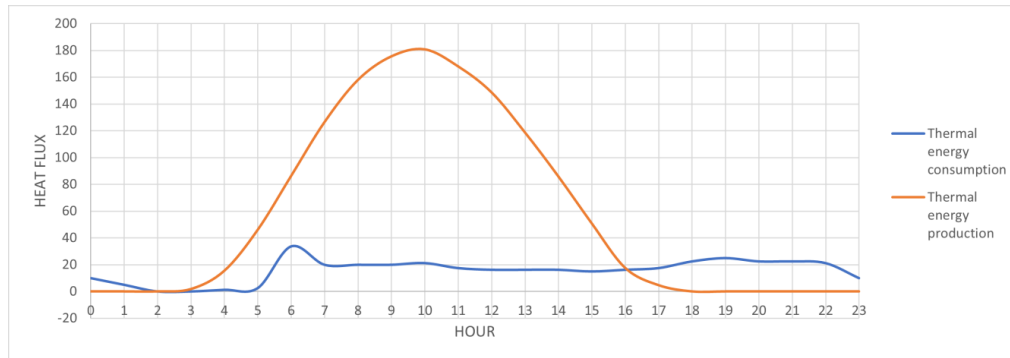
Modelul este integrat pe o platformă digitală dezvoltată intern, care este structurată ca o bază de date personalizată, unde există secțiuni pentru coduri care sunt utilizate pentru modelarea diferitelor tipuri de sisteme energetice, interfețe de utilizator de preprocesare și postprocesare și secțiuni pentru colectarea datelor, prelucrarea datelor, arhivarea și extragerea datelor. Codurile software sunt utilizate în faza de optimizare a proiectării și optimizare off-design în funcție de nevoi.

Modelele sunt, de asemenea, utilizate în aplicația Digital Twin pentru asistență optimă în funcționare a centralei. Datele de intrare pentru model au fost utilizate de la furnizori specializați precum World Weather Online, după cum se poate observa în fig. 7, dar și măsurarea experimentală efectuată pe parcursul implementării proiectului [25].



**Figura nr. 8.** Modelul de intrare – ieșire echivalent al centralei pilot PT31 [25]

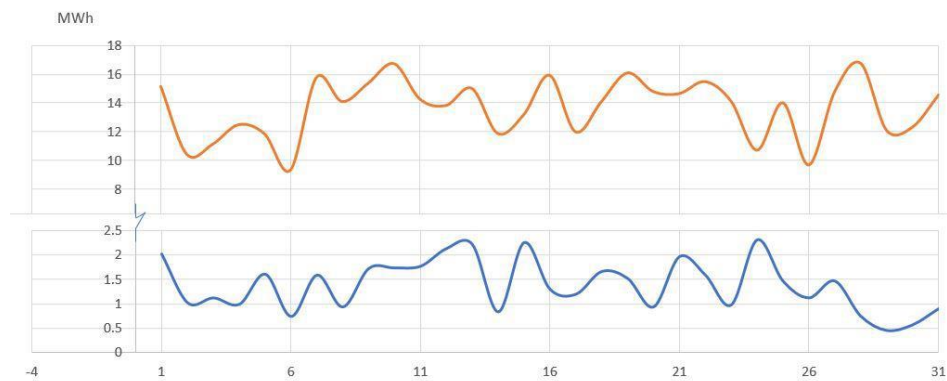
În figura 8 este prezentat modelul de intrare-ieșire care a fost utilizat pentru dimensionarea componentelor instalației. Cantitatea totală de panouri solare a fost considerată HTR1. Aceasta include un număr de 100 de panouri solare termice, fiecare panou având o suprafață activă de 2,05 m<sup>2</sup>. Cazanele de rezervă au fost incluse ca HTR2 și HTR3, cu o putere nominală de energie termică de 500 kW fiecare. Consumul de energie termică a fost inclus ca radiator CLR1. Stările de referință ale fluidelor de lucru sunt denumite de la S1 la S21. Unitatile de pompare de la PMP1 la PMP4 asigură circulația fluidelor de lucru. Mixerele sunt reprezentate ca MXR1 și MXR2, iar splitterele ca SPL1 și SPL2. Cu HX1 este reprezentat schimbătorul de căldură dintre surse și ieșirea către consumatori. Modelul a fost utilizat pentru evaluarea fluxurilor de energie termică de intrare de la panourile solare și a energiei de rezervă necesare de la cazane. Eficiența generală a centralei pilot după conversia la surse regenerabile de energie este estimată la 92% și a fost posibilă folosind panouri solare termice și cazane pe peleti. Pentru sezonul estival au fost considerate valorile mediate ale radiației solare din ultimii 10 ani pentru luna iulie.



**Figura nr.9.** Curbele comparative de distribuție orară a consumului și producției de energie termică în sezonul estival [25]

În figura 9 sunt reprezentate diagramele distribuției zilnice a producției și consumului de energie termică. Producția se bazează pe puterile totale ale panourilor solare, iar consumul este pentru prepararea apei calde pentru uz casnic.

După cum se poate observa în figura 9, există un decalaj mare între producția de 43,21 MWh și consumul de 10 MWh. Motivul acestui decalaj este numărul foarte mic de locuințe care sunt cuplate la rețeaua de termoficare. Din cauza acestei situații, o cantitate de 33,21 MWh de energie termică trebuie să fie disipată din lipsa consumatorilor și în același timp, sute de locuințe situate chiar lângă punctul termic, folosesc centrale individuale pe gaz pentru furnizarea apei calde menajere.



**Figura nr. 10.** Distribuția zilnică a consumului de energie termică (linia portocalie) și producția de energie termică din panouri solare termice (linia albastră) în luna ianuarie [25]

În sezonul de iarnă, având în vedere luna ianuarie, consumul total de energie termică pentru încălzire și prepararea apei calde menajere este în intervalul 141 MWh, iar producția de energie termică din panourile solare este estimată la 6,1 MWh. Diferența trebuie să fie asigurată de boilerele pe peleți. Activitățile de modelare și simulare au oferit posibilitatea dimensionării preliminare a componentelor centralei pilot -și stabilirii conexiunilor și comenzilor acestora- în așa fel încât să fie posibilă o funcționare continuă bazată



MINISTERUL EDUCAȚIEI  
UNIVERSITATEA OVIDIUS DIN CONSTANȚA

Bd. Mamaia nr. 124, 900527 Constanța, România - Tel./Fax: +4 0241 606.407, +4 0241 606.467  
E-mail: [rectorat@univ-ovidius.ro](mailto:rectorat@univ-ovidius.ro) - Web page: [www.univ-ovidius.ro](http://www.univ-ovidius.ro)

doar pe solar și biomasă. Evident, acest lucru permite o reducere spectaculoasă a emisiilor de CO<sub>2</sub>. Emisiile de gaze cu efect de seră sunt legate doar de consumul de energie electrică în procesul de pompare.

În ceea ce privește eficiența energetică, eficiența globală (utilizare finală/aport de energie) a centralei pilot după conversia la surse regenerabile de energie este de 92%, datorită panourilor solare termice de înaltă performanță și a cazanelor pe peleți. Datele de validare nu sunt încă disponibile, deoarece conversia uzinei are loc în prezent și este de așteptat să înceapă testele de funcționare la finalul anului 2021. În următoarea fază, se va extinde experiența acumulată la PT31 la alte 5 stații de reîncălzire situate în același cartier pentru înființarea unei rețele de centrale mici care funcționează pe surse regenerabile de energie ca „Living laboratory Faleza Nord”.



**Figura nr. 11.** „Living laboratory Faleza Nord” [25]