



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA "VALAHIA" din TÂRGOVIȘTE
IOSUD – ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL *INGINERIE MECANICĂ*

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**Contribuții privind sistemele de climatizare HVACR
cuplate hidraulic cu stocare termică și asistate solar
multi-vectorial**

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT,
Prof.univ.dr. ing. Viviana FILIP**

**DOCTORAND,
Andreea-Mihaela SOCI (LEȚ)**

**Târgoviște
2024**

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

1 Introducere

- 1.1 Motivație, provocări și necesități identificate
- 1.2 Scopul și obiectivele cercetării
- 1.3 Stadiul actual al cunoașterii

2 Aspecte teoretice specifice cercetării

- 2.1 Elemente de geometrie solară
- 2.2 Termodinamica sistemelor de conversie solară
- 2.3 Schimbul de energie
- 2.4 Transferul termo-hidraulic

3 Sisteme, agregate și elemente tehnice utilizate în cercetare

- 3.1 Sisteme de climatizare (HVACR)
 - 3.1.1 Generatoare termice convenționale (surse de cald/rece)
 - 3.1.2 Pompe de căldură într-un sistem HVACR
- 3.2 Sistemele solar termice
 - 3.2.1 Mecanica unui sistem cu panouri termosolare
 - 3.2.2 Colectoare solar termice
- 3.3 Transportul fluidului de transfer termic
 - 3.3.1 Conducte
 - 3.3.2 Pompe hidraulice
 - 3.3.3 Elemente de siguranță și control (supape și valve)
- 3.4 Unități de tratare a aerului, ventilație mecanică (AHU)

4 Platforma experimentală – studiu de caz ICSTM

- 4.1 Materiale
 - 4.1.1 Caracteristicile clădirii ICSTM
 - 4.1.2 Sursa de căldură - Centrală termică cu ardere gaz natural
 - 4.1.3 Sursă de rece - Pompă de căldură în funcționare răcitor
 - 4.1.4 Conversie cald/rece - Răcitor cu adsorbție
 - 4.1.5 Generator fotovoltaic (PV)
 - 4.1.6 Generator termosolar (ST)
 - 4.1.7 Sistem de stocare a energiei termice (TESS)
 - 4.1.8 Sistemul hidraulic – schema termotehnică
 - 4.1.9 Sistemul de ventilație mecanică (AHU)
 - 4.1.10 Sistem de monitorizare, control și automatizare (BACS)
- 4.2 Metode
 - 4.2.1 Calcule termotehnice – sarcini și dimensionare
 - 4.2.2 Evaluarea mix-ului energetic
 - 4.2.3 Măsurarea performanțelor sistemului ST (Referință de calcul și interpretări)
 - 4.2.4 Evaluarea comportamentului termic - termografie

5 Etapa 1 – Îmbunătățirea randamentului de transfer solar termic în TESS

- 5.1 Materiale
 - 5.1.1 Modificări circuit și grup pompare solar
 - 5.1.2 Instalare pufier transfer termic pe circuitele hidraulice solare
 - 5.1.3 Realizare circuit încărcare termică TESS
 - 5.1.4 Modificare sistem de achiziție date al instalației termosolare

- 5.2 Metode
 - 5.2.1 Caracterizarea termică și modelarea matematică
 - 5.2.2 Rezultatele simulării - determinarea aportului de energie
 - 5.2.3 Optimizarea schemei hidraulice
 - 5.2.4 Măsurători și automatizări termotehnice
 - 5.2.5 Măsurători termoviziune – instalația termosolară ST
 - 5.3 Rezultate și discuții
 - 6 Etapa 2 – Cuplarea unui generator fotovoltaic ca sursă suplimentară în TESS**
 - 6.1 Materiale
 - 6.1.1 Modificare sistem microgrid cu stocare asistat PV
 - 6.1.2 Realizare sistem de conversie a energiei electrice în energie termică
 - 6.1.3 Integrare răcitor cu adsorbție pentru conversie cald/rece
 - 6.1.4 Configurare controler microgrid PV pentru stocare TESS
 - 6.2 Metode
 - 6.2.1 Modelarea matematică a sistemului PV îmbunătățit
 - 6.2.2 Rezultatele simulării - determinarea aportului de energie PV total
 - 6.2.3 Măsurarea aportului de energie la HVACR
 - 6.2.4 Măsurători termoviziune - Regimul de operare al modulelor PV
 - 6.3 Rezultate și discuții
 - 7 Concluzii, contribuții și perspective**
 - 7.1 Concluzii finale
 - 7.2 Contribuții personale
 - 7.3 Direcții și perspective de continuare a cercetărilor
 - 8 Diseminarea rezultatelor științifice**
 - 9 Referințele bibliografice**
 - 10 Anexe**
 - 10.1 Studiu statistic al stadiului actual
 - 10.2 Schema hidraulică HVACR inițială
 - 10.3 Schema hidraulică termosolar inițială
 - 10.4 Schema hidraulică pompă de căldură aer-apă
 - 10.5 Schema hidraulică ciler adsorbție
 - 10.6 Schema monofilară a sistemului electric ICSTM
- Listă abrevieri și glosar termeni / acronime
Lista tabelor
Lista figurilor

CUVINTE CHEIE

climatizare, termosolar, fotovoltaic, stocare termica, termodinamica, hidraulica, transfer de caldura, entalpie, entropie, radiatia solara, presiune, temperatura

INTRODUCERE

Subiectul abordat se încadrează în domeniul ingineriei mecanice, subdomeniul hidraulică. Tematica (decarbonizarea sistemelor termotehnice de tip HVACR prin cuplarea cu generatoare solare) este de actualitate considerând eforturile observate la nivel național, European și internațional de creștere a securității energetice, reducere a dependenței de combustibili fosili și nu în ultimul rând de creștere a eficienței energetice a clădirilor.

Oportunitatea cercetării este fundamentată de: facilitățile existente în cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară (ICSTM) al Universității Valahia din Târgoviște; Implicarea în 4 proiecte de cercetare dezvoltare inovare (CDI) și dezvoltare instituțională; Sprijinul unei echipe de cercetare multidisciplinară.

Motivația abordării temei de cercetare provine din dorința de a asigura un viitor sigur și sustenabil generațiilor viitoare. Ca inginer specialist aflat în fața provocărilor climatice actuale, în contextul priorităților Europene, intenționez să îmi aduc aportul științific la contextul actual. Aptitudinile dobândite în calitate de inginer automatist confruntat cu probleme de optimizare a unor instalații hidraulice motivează cercetări aprofundate într-un domeniu multidisciplinar de actualitate.

Scopul cercetării este acela de a inova prin identificarea de mecanisme, metode și tehnici de abordare a mixului energetic de o maniera multi-vectorială în contextul decarbonizării clădirilor identificate în studiile de specialitate ca fiind unul din principalii consumatori și poluatori la nivel European.

Obiectivul fundamental al cercetării este acela de a cupla hidraulic generatoare suplimentare de energie (în speță instalații de conversie a energiei solare) la un sistem HVACR.

ETAPELE CERCETĂRII, STRUCTURA LUCRĂRII

- Extinderea gradului de cunoaștere asupra subiectului cercetat din punct de vedere teoretic; (Capitolul 2: **Error! Reference source not found.**)

- Studiul: instalațiilor termotehnice și hidraulice; a agregatelor generatoare de cald sau frig; a sistemelor de conversie a energiei solare; a mecanismelor de transport și stocare agent termic. Studiu necesar înțelegerii aprofundate a interdependențelor, restricțiilor și oportunităților dintre obiectele instalațiilor tehnice vizate a fi combinate pentru performanțe îmbunătățite într-un mod inovativ; (Capitolul 3: **Error! Reference source not found.**)

- Analiza și interpretarea datelor măsurate în vederea caracterizării sistemului existent ca reper de tip referință (baseline); (Capitolul 4: 4. PLATFORMA EXPERIMENTALĂ – STUDIU DE CAZ ICSTM)

- Modelarea sistemelor integrabile (de conversie a energiei solare) prin dezvoltarea de modele matematice specifice utilizate împreună cu parametrii de mediu (valori climatice și de disponibil solar) pentru simularea aportului termic la stocare a acestor generatoare. Informație extrapolată la nivel multi-anual pentru identificarea performanței pe termen lung a sistemului în totalitatea acestuia cu scopul de a identifica variantele optime de abordare a dezvoltării experimentale; (Capitolele: **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found., și Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.**)

- Implementarea modificărilor de scheme hidraulice și instalări energetice pentru conversia energiei electrice (surplus de la generatorul PV) în energie termică; Obiectiv derivat atins în două etape succesive cu ajutorul finanțării din proiecte de dezvoltare instituțională și de cercetare inovativă; (Capitolul 5: 5. Etapa 1 – ÎMBUNĂȚIREA RANDAMENTULUI DE TRANSFER SOLAR TERMIC ÎN TESS și Capitolul 6: **Error! Reference source not found.**)

- Analiza comparativă a rezultatelor obținute experimental; date măsurate de sistemele de achiziție (temperaturi, debite, presiuni, valori energetice, etc.) interpretate de la cauză la efect (de la generator la răspunsul sistemului măsurat în microclimatul clădirii ICSTM); (Capitolul 5: 5. Etapa 1 – ÎMBUNĂȚIREA RANDAMENTULUI DE TRANSFER SOLAR TERMIC ÎN TESS și Capitolul 6: **Error! Reference source not found.**)

PRINCIPALELE REZULTATE

În urma reconfigurării schemei hidraulice a generatorului termosolar, acesta a atins parametri de funcționare și performanțe suficiente susținerii necesarului de aport termic la climatizarea prin ventiloconvectori a unui spațiu de 7250m² cu un volum de aprox. 29000m³ pentru sezoanele de primăvară și toamnă.

Cuplarea instalație microgrid asistată fotovoltaic cu stocare electrică la sistemul HVACR aduce aport energetic prin 2 mecanisme: asigură energie electrică funcționării agregatelor (centrală ventilație mecanică CTA 13000m³/h, pompe hidraulice, ventiloconvectori casetați și altor elemente de măsură și control); iar surplusul de energie electrică produsă fotovoltaic este convertit în energie termică stocabilă sau reutilizabilă direct. În cuplarea pe regim de răcire de noapte (sezon cald) împreună cu un răcitor cu adsorbție și CTA, s-a obținut o diminuare a temperaturii medii cu $\Delta t=5k$.

ELEMENTE DE ORIGINALITATE

Conectarea multi-vectorială a generatoarelor / surselor de conversie solară cu un sistem HVACR este o abordare inovativă ce nu a fost regăsită în studiul literaturii de specialitate. Astfel de sisteme / abordări probabil există în mediul construit modern dar nu au fost studiate științific sau măsurate în funcționare pentru determinarea performanțelor.

Conversia surplusului de energie electrică al unui generator fotovoltaic se regăsește sub denumirea de Power to Heat (P2H) system la nivel de produs comercial dedicat locuințelor rezidențiale (case). De regulă aceste sisteme electrice beneficiază de convertoare pentru a îmbunătăți eficiența produsului. Implementarea acestui mecanism P2H în sistemul ICSTM a fost executată cu un minim de investiție ca proof-of-concept într-un sistem HVACR exponențial mai mare decât cel al unei case.

Utilizarea surselor de energie regenerabilă pentru asigurarea necesarului termic al clădirilor nu este practică din 2 motive principale: lipsa de spațiu necesar instalării acestora (pe construcții existente); costurile inițiale și de întreținere. Varianta cel mai des întâlnită în ultimii ani este combinarea unei pompe de căldură cu un generator fotovoltaic.

Cercetările efectuate pe platforma experimentală a ICSTM au evidențiat regimurile și scenariile în care și pentru care această abordare poate fi considerată rentabilă economic și tehnic.

MOTIVAȚIE, PROVOCĂRI ȘI NECESITĂȚI IDENTIFICATE

În acest capitol este prezentată o cercetare documentară de fundamentare a motivației, provocărilor și a necesităților identificate în domeniul studiat.

Subiectele abordate:

- Încălzirea globală
- Clădirile – consumator major de energie
- Contextul național
- Soluții de stocare a energiei

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

Cercetarea realizată urmărește optimizarea hidraulică a unui sistem de climatizare (Heating Ventilation Air Conditioning and Refrigeration – HVACR) în vederea decarbonizării prin utilizarea stocării termice TESS și integrarea unor surse regenerabile de energie. Obiectul cercetării este reprezentat de instalațiile și clădirea Institutului de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară (ICSTM) al Universității Valahia din Târgoviște (UVTgv).

Problematica studiată este complexă și multidisciplinară. Sunt tratate elemente de asigurare a confortului termic și a sănătății rezidenților, producție și stocare a energiei termice, conversia energiei solare, transfer termic, ventilație mecanică, sisteme hidraulice de termoficare, distribuția energiei termice, randament / eficiență / pierderi în sisteme hidraulice, termo și fono izolații. Acestea sunt analizate în contextul climatic și microclimatic al unei clădiri cu utilizare mixtă (birouri, laboratoare, spații tehnice) proiectată după principii pasive (near Zero Energy Building – nZEB) considerând cele mai recente normative de performanță în clădiri și de asigurare a calității vieții.

Scopul cercetării este acela de a îmbunătăți performanțele sistemului HVACR ce deservește ICSTM prin conectarea acestuia cu platformele experimentale termosolară (Solar Thermal ST) și fotovoltaică (Photovoltaic PV).

Obiectivele cercetării sunt:

- Realizarea unui studiu bibliografic sintetic privind stadiul actual al cunoașterii în domeniu: Sisteme de climatizare; Sisteme de stocare termică; Sisteme termosolare; Sisteme fotovoltaice;
- Studiul elementelor constitutive ale platformei experimentale ICSTM, analiza specificațiilor tehnice și a interacțiunilor / interconexiunilor hidraulice ale sistemelor;
- Determinarea experimentală a proprietăților, particularităților și performanței sistemului în cele două regimuri de funcționare: încălzire / răcire;
- Elaborarea unor modele matematice cu scopul de a simula aportul solar pe termen lung în sistemul HVACR;
- Analiza comparativă a rezultatelor determinărilor experimentale și validarea acestora cu rezultatele simulării;
- Evaluarea impactului aportului solar în bilanțul energetic global al HVACR, evaluarea emisiilor de CO₂;

Pe durata desfășurării cercetărilor am activat ca cercetător voluntar în 2 proiecte finanțate la nivel național și ca angajată în alte 2 proiecte CDI Europene. Aceste proiecte au asigurat finanțarea lucrărilor necesare îndeplinirii obiectivelor asumate.

METODOLOGIA CERCETĂRII

Rezultatele preliminare ale cercetărilor au fost prezentate în două rapoarte de progres. Într-unul dintre rapoartele de progres am analizat stadiul actual în domeniile: hidraulică, mecanica fluidelor, legile termodinamicii, radiația solară și panouri solar termice. Referatele au prezentat și informații despre stadiul actual și caracteristicile sistemelor HVACR, boilere, pompe de căldură, răcitoare, conducte și circuite hidraulice, unități de tratare a aerului și pierderi la nivel de agregat și sistem. Studiul stadiului actual este rezumat în anexă printr-o prezentare statistică a documentării efectuate pe trei platforme (baze de date cu informații științifice). Au fost analizate peste 300 de referințe bibliografice din domeniile: mecanica fluidelor, colectoarele solare, radiația solară, boilere cu stocare și HVACR.

În continuarea planului de cercetare doctoral, în al treilea raport este descrisă instalația termosolară cu stocare a energiei termice în vederea utilizării acesteia ca aport termic în sistemul HVACR ce deservește clădirea ICSTM (laboratoarele, birourile, spațiile de diseminare, etc.); descrierea din punct de vedere mecanic a instalației termosolare și descrierea aplicației de

gestionare a sistemului prin platforma Resol, măsurători de performanță, interpretarea datelor. De asemenea sunt descrise modificările care au fost aduse sistemului în anul 2021 pentru îmbunătățirea performanței și eliminarea factorilor de pierdere.

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

Metodica pentru studiul ultimelor cercetări în domeniu se bazează pe căutarea informațiilor folosind site-uri care conțin cărți, articole, interviuri etc. pentru cuvinte cheie de tipul: radiație solară, panouri solar termice, transfer de căldură, HVACR, boiler și sisteme de stocare termică. Site-urile utilizate au fost: science direct, academia.edu și google scholar.

Subiectele abordate în acest capitol:

- Radiația solară,
- Panourile solare termice,
- Transferul de căldură,
- Sistemele HVACR,
- Boilere cu stocare.

2. ASPECTE TEORETICE SPECIFICE CERCETĂRII

Subiectele abordate în acest capitol:

- Elemente de geometrie solară (Radiația totală incidentă; Termodinamica radiației solare; Variabilitatea anuală),
- Termodinamica sistemelor de conversie solară,
- Schimbul de energie (Lucru mecanic; Căldura; Energia internă; Entalpia),
- Transferul termo-hidraulic (Proprietățile termodinamice ale fluidelor; Greutatea specifică; Temperatura; Conductivitate termică).

3. SISTEME, AGREGATE ȘI ELEMENTE TEHNICE UTILIZATE ÎN CERCETARE

Acest studiu este menit să identifice problematicile tehnice adresate în cursul cercetărilor efectuate. Am abordat noțiunile fundamentale ce guvernează funcționarea echipamentelor utilizate, studiul nu se extinde asupra tuturor variantelor constructive. Scopul este de a evidenția caracteristicile și relațiile cele mai importante ce se regăsesc între elementele constitutive ale unui sistem HVACR. Capitolul descrie unitățile de tratare a aerului cu conductele de distribuție, pierderile de presiune în conducte, presiunea statică, dinamică unitară și totală.

3.1 SISTEME DE CLIMATIZARE (HVACR)

Definiție: Un sistem termodinamic este o regiune în spațiu sau o cantitate de materie delimitată de o suprafață închisă. Împrejurimile includ tot ceea ce este extern sistemului, iar sistemul este separat de împrejurimi prin limitele sistemului. Aceste limite pot fi mobile sau fixe, reale sau imaginare. Conceptele care operează în orice sistem termodinamic sunt entropia și energia [Wessel et al. (2001)]. Sistemul HVACR este în general proiectat conform specificațiilor standardului ASHRAE [<https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>].

Convenție de abreviere: în literatura de specialitate, inginerii termotehniști folosesc abrevierea HVACR considerând refrigerarea ca parte integrantă a condiționării. Mai mult, în vederea dezambiguizării, considerând că HVACR este folosit ca acronim și pentru High Voltage Alternating Current în domeniul energiei. În lucrarea de față am utilizat definiția extinsă HVACR pentru a înlătura orice confuzii.

Introducere: Sistemele de încălzire, ventilație și aer condiționat – Figura 3.1 reprezintă 30% din energia utilizată în clădirile comerciale și peste 50% în clădirile rezidențiale [Tiwari și Tiwari, 2016].

Principiul sistemului HVACR include un ventilator de aer, un element de răcire a aerului, un element de încălzire a aerului, filtru de aer și elemente suplimentare, cum ar fi elemente de amortizor și conducte. Admisia de aer este un amestec de intrare de aer din interiorul camerei și aerul nou adus din exteriorul camerei. Acest amestec de aer traversează filtrul și apoi elementul de răcire, elementul de încălzire, ventilatorul și în cele din urmă este introdus în cameră. Utilizarea

aerului proaspăt este necesar pentru a satisface cerințele de ventilație, în timp ce aerul recirculat este utilizat pentru a obține beneficii de performanță energetică [Felgueiras et al. (2016)].



*Figura Error! No text of specified style in document..1 - Sisteme de încălzire, ventilație și aer condiționat HVACR
– reprezentare schematică [http://www.nostersworld.com/]*

Funcțiile sistemului HVACR:

Încălzire - procesul de adăugare a energiei termice (căldură) în clădire în scopul creșterii sau menținerii temperaturii spațiului.

Răcire - procesul de îndepărtare a energiei termice (căldură) din clădire în scopul scăderii sau menținerii temperaturii spațiului.

Umidificare - procesul de adăugare a vaporilor de apă (umiditate) în aerul din spațiul condiționat în scopul creșterii sau menținerii conținutului de umiditate al aerului [Raman et al. (2020)].

Dezumidificare - procesul de îndepărtare a vaporilor de apă (umiditate) din aer în spațiul condiționat în scopul scăderii sau menținerii conținutului de umiditate al aerului.

Filtrare - procesul de îndepărtare a particulelor (praf etc.) și a contaminanților biologici (insecte, polen etc.) din aerul livrat în spațiul condiționat în scopul îmbunătățirii sau menținerii calității aerului.

Ventilare - procesul de schimb de aer între exterior și spațiul condiționat în scopul diluării contaminanților gazoși din aer și al îmbunătățirii sau menținerii calității, compoziției și prospețimii aerului. Ventilația poate fi realizată fie prin ventilație naturală, fie prin ventilație mecanică. Ventilația naturală este condusă de curentul de aer natural, la fel ca atunci când deschidem o

ferastră. Ventilația mecanică poate fi realizată folosind ventilatoare pentru a aspira aer din exterior sau prin ventilatoare care evacuează aerul din spațiu spre exterior [Angel, 2012].

Mișcarea aerului - procesul de circulație și amestecare a aerului prin spații condiționate din clădire în scopul realizării unei ventilații adecvate și a facilitării transferului de energie termică.

3.2 SISTEMELE SOLAR TERMICE

Sistemele solar termice sunt tehnologiile cele mai mature disponibile pe piață în domeniul energiei regenerabile [Linslay, 2015]. Stocarea energiei solare este importantă pentru succesul viitor al energiei solare. Problema principală este sortimentul de materiale care au caracteristici termo-fizice adecvate pentru ca energia solară să poate fi stocată sub formă de căldură. Aceste materiale se pot împărți în două mari categorii: cele care stochează energie sub formă de căldură sensibilă și cele care suferă o schimbare de stare sau o modificare fizico-chimică la o anumită temperatură în intervalul furnizat de colectoarele solare de căldură [Saxena et al. (2015)].

Componentele sistemului solar termic sunt: colectorul solar, tancul de stocare al apei calde, conducte, pompe, sistem de control, valve, fluid solar, schimbătoare de căldură, materiale izolatoare pentru conducte și suportul de montare al panoului, prezentate în Figura **Error! No text of specified style in document..2** [Jagadish și Biswas, 2021; Ramlow și Nusz, 2010; Kreider, 1979]. Toate acestea vor fi discutate în capitolele următoare pentru a identifica interdependența și performanțele fiecărei componente a sistemului solar termic.

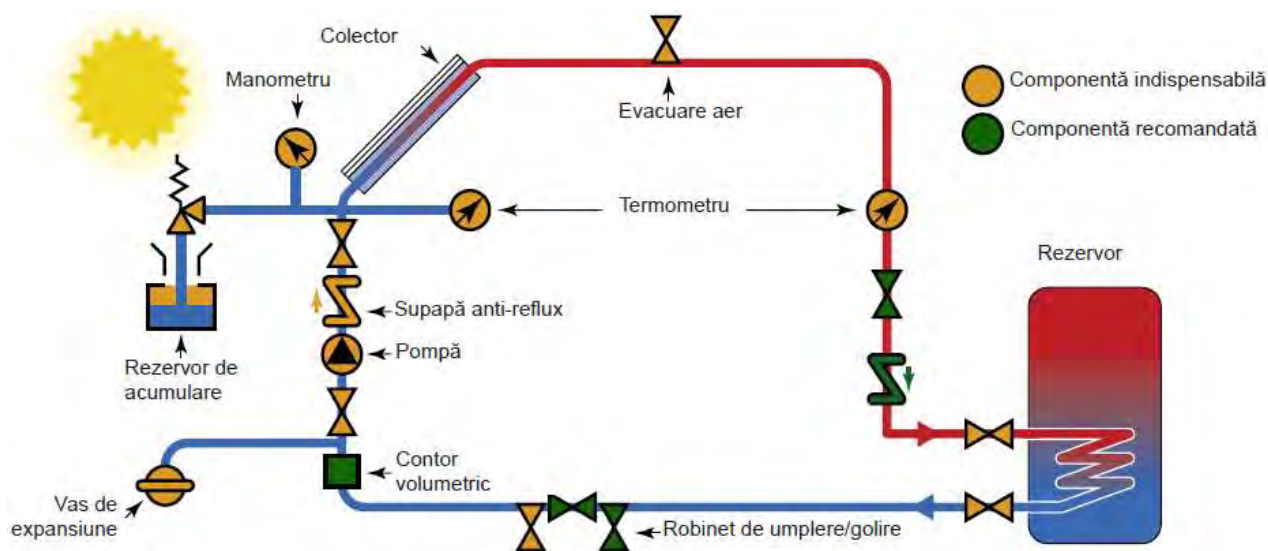


Figura **Error! No text of specified style in document..2** - Componentele principale ale sistemului solar cu circulație forțată [<https://www.calorserv.ro/articole/panouri-solare/sistemul-solar-termic-componente/>]

3.3 TRANSPORTUL FLUIDULUI DE TRANSFER TERMIC

3.3.1 Conducte

Noțiuni generale privind izolarea termică a conductelor

Primul factor semnificativ de luat în considerare atunci când încercăm să reducem consumul de energie în conducte este izolarea termică a clădirii. Cunoașterea sarcinii termice a unei clădiri și a conformității acesteia cu reglementările este esențială și, în cele din urmă, aceasta va aduce profit în obținerea unei izolații termice minime, oferind performanțe termice maxime. Un sistem eficient de conducte poate modifica în mod semnificativ încărcările termice din clădiri [Burgess, 1929].

Unele pierderi de căldură se datorează faptului că temperatura aerului din conductă poate să nu fie aceeași cu cea a aerului ambiental din jur. Transferul de căldură între cele două mase de aer poate reprezenta pierderea eficienței și creșterea costurilor energetice. În cele din urmă, conductele pot reprezenta și riscul de condens, cauzat de răcirea localizată a aerului și de o creștere a umidității relative.

Transfer de căldură prin conducte

Transmitanța termică U , poate fi calculată dacă se cunoaște transferul global de căldură pe unitatea/lungimea suprafeței conductei, diferența de temperatură ($^{\circ}\text{C}$) între aerul din conductă și aerul ambiental [Wijeysundera, 2016]:

$$Q_e = \frac{U_r P L}{1000} \left(\frac{t_e + t_i}{2} - t_a \right) \quad (76)$$

$$t_e = \frac{t_i(y+1) - 2t_a}{y-1} \quad t_i = \frac{t_e(y+1) - 2t_a}{y+1} \quad (77)$$

Unde:

y - $(2 - AV\rho/UPL)$ pentru conducte dreptunghiulare;

y - $(0,5DL\rho/UL)$ pentru conductă circulară;

L - Lungimea conductei (m);

Q_e - Variații de căldură (+/-) prin pereții conductelor (W);

U_r - Rata totală de transfer termic pentru pereții conductelor ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$);

P - Perimetrul conductei (mm);

t_e - Temperatura aerului în debitul de conductă ($^{\circ}\text{C}$);

t_i - Temperatura aerului în debitul de evacuare ($^{\circ}\text{C}$);

t_a - Temperatura aerului ambiental ($^{\circ}\text{C}$).

3.3.2 Pompe hidraulice

Există o mare varietate de pompe care sunt proiectate pentru diverse utilizări specifice. Cu toate acestea, cele mai multe dintre ele pot fi clasificate în linii mari în două categorii: cu deplasare pozitivă și centrifugare. Variabilele primare de performanță pentru orice pompă sunt capacitatea pompei (de exemplu, litri/min, m³/h etc.) și presiunea sau *înălțimea* pe care o poate dezvolta pompa. Capătul este legat de presiune prin expresia $h = \Delta P / \rho g$, care implică densitatea fluidului din sistem, astfel încât o valoare specifică a capătului este unică pentru un fluid specific. Cele mai semnificative caracteristici ale fiecăruia dintre aceste două tipuri de pompe sunt descrise în cele ce urmează [Moniz și Girdhar, 2004].

Caracteristicile pompelor

Ecuția Bernoulli aplicată între admisia de aspirație și refularea unei pompe este:

$$-w = \frac{\Delta P}{\rho} = gH_p \quad (79)$$

Adică, energia sau lucru net introdus în fluid de către pompă duce la creșterea presiunii fluidului sau a capătului echivalent al pompei, H_p . Cu toate acestea, deoarece pompele nu sunt 100% eficiente, o parte din energia dată de la motor către pompă este disipată sau *pierdută* din cauza frecării în forțele de forfecare din jurul rotorului de mare viteză. Este foarte dificil să se caracterizeze separat această pierdere prin frecare, deci este luată în considerare în eficiența generală a pompei, η_e , care este raportul dintre lucru util (sau lucru hidraulic), efectuată de pompă asupra fluidului ($-w$) la lucrul în pompă de către motor ($-w_m$).

$$\eta_e = \frac{-w}{w_m} \quad (80)$$

Eficiența unei pompe depinde de designul pompei și al rotorului, de dimensiunea și viteza rotorului și de condițiile în care funcționează, și este determinată de testele efectuate de producătorul pompei.

Cea mai bună pompă este în mod normal cea care are cea mai mare eficiență în condițiile de funcționare specificate. Condițiile de funcționare necesare, împreună cu cunoașterea eficienței pompei, ne permit să determinăm dimensiunea necesară (de exemplu, cai putere de frânare, [CP] sau [BHP] - brake-horsepower) a motorului de antrenare pentru pompă:

$$H_p = -w_m m \frac{\Delta P Q}{\eta_e} = \frac{\rho g H_p Q}{\eta_e} \quad (81)$$

Puterea furnizată de la motor către pompă este, de asemenea, produsul cuplului pe arborele care conduce pompa (Γ) și viteza unghiulară a arborelui (ω):

$$H_p = \Gamma \omega = \frac{\rho g H_p Q}{\eta_e} \quad (82)$$

Dacă se presupune că fluidul părăsește rotorul tangențial cu aceeași viteză cu rotorul, atunci o echilibrare a momentului unghiular pe fluidul în contact cu rotorul rezultă:

$$\Gamma = m \omega R_i^2 = \rho Q \omega R_i^2 \quad (83)$$

Unde R_i este raza rotorului, iar momentul unghiular al fluidului care intră în ochiul rotorului a fost neglijat. Dacă eliminăm Γ din Ecuatiile (82) și (83), rezolvarea pentru capul pompei, H_p , este:

$$H_p = \frac{\eta_e \omega^2 R_i^3}{g} \quad (84)$$

3.4 UNITĂȚI DE TRATARE A AERULUI, VENTILAȚIE MECANICĂ (AHU)

Acest tip de echipament, cu piese mobile, este invariabil o sursă de zgomot, atât transmis ca zgomot de impact, cât și ca zgomot în aer, din cauza vibrațiilor componentelor sale constitutive. Figura 3.26 prezintă modul de funcționare al unității de tratare a aerului.

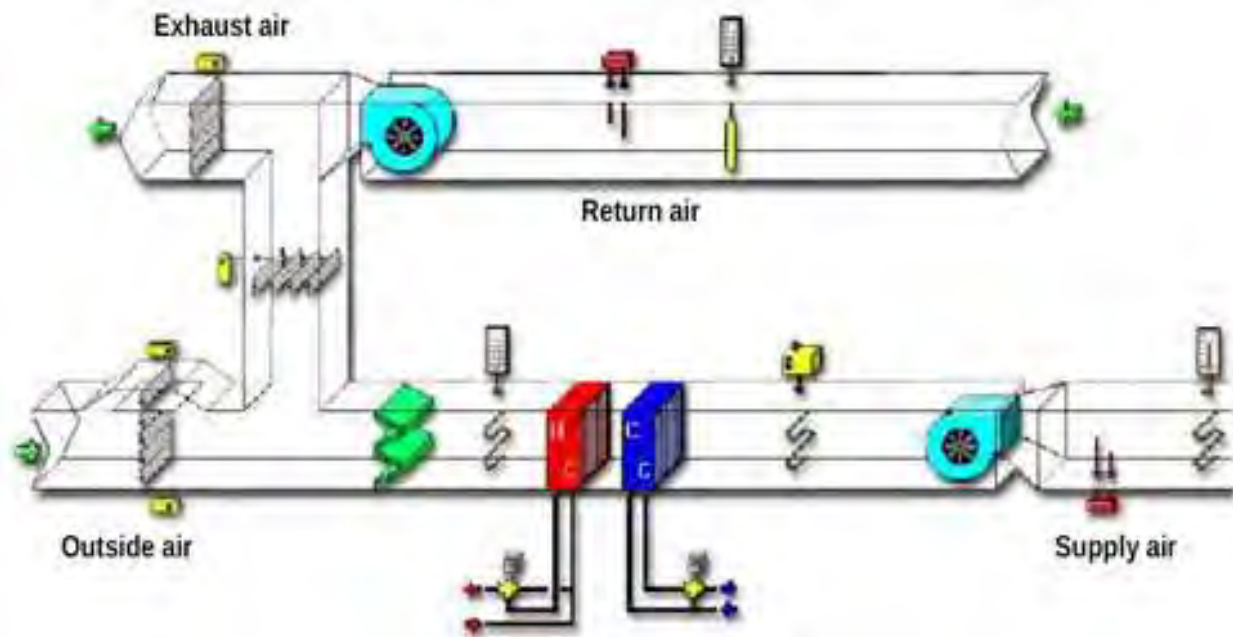


Figura *Error! No text of specified style in document.*3 - Modul de funcționare al unității de tratare a aerului
[\[https://salexzet.live/product_details/1363546.html\]](https://salexzet.live/product_details/1363546.html)

4. PLATFORMA EXPERIMENTALĂ – STUDIU DE CAZ ICSTM

Studiul doctoral s-a desfășurat pe platforma experimentală a institutului de cercetare ICSTM din cadrul Universității Valahia din Târgoviște. Acest capitol prezintă facilitățile exploatate.

Infrastructura institutului de cercetare ICSTM (clădire, instalații, platforme experimentale) este integrată în platforma europeană **European Joint Programming Platform of the European Research Area Network in Smart Energy Systems** (JPP ERA-Net SES), cu 4 roluri distincte: validation, living lab, testbed și digital platform provider, astfel:



- VALIDATION NETWORK WITH LIVING LAB AND TESTBEDS

(https://eranet-smartenergysystems.eu/Partners/Living_Labs)

- DIGITAL PLATFORM PROVIDER

(https://eranet-smartenergysystems.eu/Partners/Digital_Platform_Providers)

În calitate de doctorand al Universității Valahia am beneficiat de acceptul conducerii și de sprijinul cercetătorilor din ICSTM pentru a accesa informații și sisteme puse la dispoziție conform inițiativei JPP ERA-Net SES. În cadrul ICSTM am activat ca cercetător voluntar în 2 proiecte naționale și ca angajat în alte 2 proiecte internaționale. Aceste aspecte au susținut și concretizat cercetările doctorale ce au adus plus valoare și creștere a sustenabilității infrastructurii ICSTM.

4.1 MATERIALE

Acest capitol prezintă contribuțiile personale de analiză, sinteză și interpretare a informațiilor studiate din proiectele de execuție ale construcției și instalațiilor aferente. Înțelegerea interconectării, particularităților și specificităților regimurilor de operare ale acestor instalații funcționând în clădirea ICSTM a fost esențială pentru reușita cercetării.

4.1.1 Caracteristicile clădirii ICSTM

Institutul de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară (ICSTM) din cadrul Universității Valahia din Târgoviște (UVTgv) contribuie la dezvoltarea și aplicarea tehnologiilor sustenabile în domeniul energiei, având în vedere importanța reducerii impactului asupra mediului și utilizarea eficientă a resurselor naturale. Astfel, prin promovarea energiilor regenerabile, institutul urmărește să contribuie la dezvoltarea durabilă a societății și la protejarea mediului înconjurător. ICSTM este dotat cu mai multe instalații termo-mecanice de climatizare, generare și stocare a energiei. Clădirea ce deservește infrastructura de cercetare este construită utilizând principii de clădire pasiva nZEB (near Zero Energy Building).



Figura Error! No text of specified style in document..4 – Clădirea institutului de cercetare ICSTM



Figura Error! No text of specified style in document..5 - Compartimentarea si zonarea ICSTM

Sistemul HVACR al ICSTM

Instalații de climatizare. Ținând seama de destinațiile laboratoarelor și a modului de utilizare a acestora, cât și al echipării cu utilaje corespunzător direcțiilor de cercetare s-a prevăzut o instalație de climatizare care deserveste întreaga clădire, dar cu posibilități de exploatare și reglare a sarcinii de răcire/încălzire din fiecare încăpere climatizată în mod individual. S-a prevăzut o instalație de climatizare care utilizează terminale pentru climatizare – ventiloconvectori casetați montați în tavanul fals. Acestea funcționează cu apă răcită – agent de răcire utilizat în sezonul cald și apă caldă – agent termic utilizat în sezonul rece, dar și aer preparat de centrala de tratare a aerului. Apa răcită este furnizată de un agregat de apă răcită montat în exterior, dotat cu compresoare SCROLL (cu spirală), vaporizatoare și condensatoare cu agent frigorific ecologic. Agregatul de apă răcită este prevăzut cu modul de pompare a apei și are toate sistemele de automatizare și protecție corespunzătoare.

În ICSTM operează o instalație hidraulică cu 2 canale și ventilație mecanică, acestea sunt comutate în funcție de regimul de operare necesar. Acest sistem dual de temperatură joasă cuplat cu ventilația mecanică, ce folosește o unitate de recuperare de energie, oferă cea mai eficientă abordare pentru specificul activităților din institut.

4.1.2 Sursa de căldură - Centrală termică cu ardere gaz natural

Clădirea ICSTM este deservită de o centrală termică proprie care produce (utilizând cazane) agent termic cu temperatura nominală de 90°/70°C pentru încălzire, climatizare și prepararea apei calde de consum ACM (folosind boiler pe gaz). Centrala termică este amplasată în subsolul clădirii (*Figura Error! No text of specified style in document.6*) și este automatizată/monitorizată individual (conform autorizării ISCIR - Inspectoratul de Stat pentru Controlul cazanelor, recipientelor sub presiune și al Instalațiilor de Ridicat), fiind secundată de integrarea în sistemul de telegestiune.



Figura Error! No text of specified style in document..6 - Fotografie cazane centrala termica ICSTM

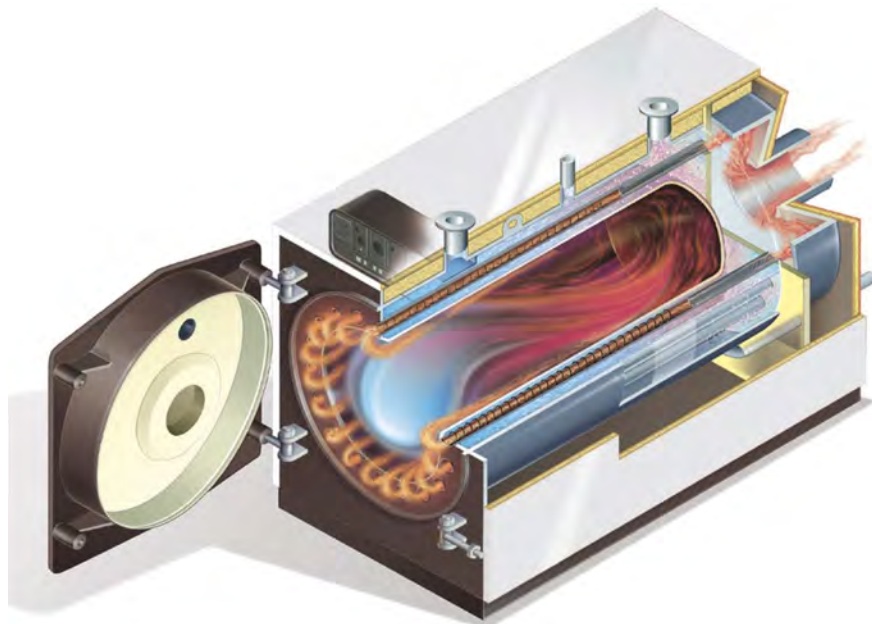


Figura Error! No text of specified style in document..7 - Principiu de funcționare cazan ECOMAX

[<https://www.schede-tecniche.it/schede-tecniche-caldaie/ECOFLAM-scheda-tecnica-caldaia-ECOMAX-3SC-3S.pdf>]

4.1.3 Sursă de rece - Pompă de căldură în funcționare răcitor

Sistemul HVACR ce deservește clădirea ICSTM este prevăzut cu un agregat de apă răcită (Figura Error! No text of specified style in document..8) care furnizează apă cu temperatura 7°/12°C necesară instalației de climatizare. Acesta funcționează în regim de **pompă de căldură aer-apă de tip Galletti LSE658HS**.



Figura Error! No text of specified style in document..8 - Pompă de căldură aer-apă Galletti

Agregatul poate asigura și o parte din perioada de încălzire. Punctul de bivalență fiind determinat de limitele de operare ale acestuia. În cazul de față, agregatul este separat hidraulic de centrala termică printr-un schimbător de temperatură în placi, iar circuitul acestuia este încărcat cu glicol într-o concentrație care îi permite să funcționeze până la -10°C. Punctul de bivalență maxim teoretic al sistemului este la -10°C, cu toate acestea din rațiuni de eficientizare energetică sistemul BACS este programat pentru +10°C, sau funcționare tandem. Sub punctul de bivalență, sarcina termică este preluată de cazan. Se utilizează aceleași rețele hidraulice de distribuție alternativ pentru distribuția apei reci și a apei calde. În funcție de sezon se închid sau deschid alternativ vanele de sectorizare de pe conductele de alimentare cu apă caldă sau apă răcită.

4.1.4 Conversie cald/rece - Răcitor cu adsorbție



Figura Error! No text of specified style in document..9 – Răcitor cu adsorbție cuplat la sursă de cald

Răcitorul cu adsorbție SorTech eCoo 2.0 utilizează căldura reziduală a mașinilor și sistemelor industriale (de exemplu, cogenerare, energie solară, încălzire centrală sau de proces) pentru a produce energie de răcire rentabilă și ecologică. În instalația ICSTM acesta a fost montat la subsol pentru a recupera căldura produsă în timpul verii, de către instalația termosolară.

În Figura Error! No text of specified style in document..9 este prezentată una dintre cele 2 unități cuplata la sistemul de stocare termică. Fiecare unitate are o capacitate de 16kWth și un consum electric maxim de 1.8kWel.

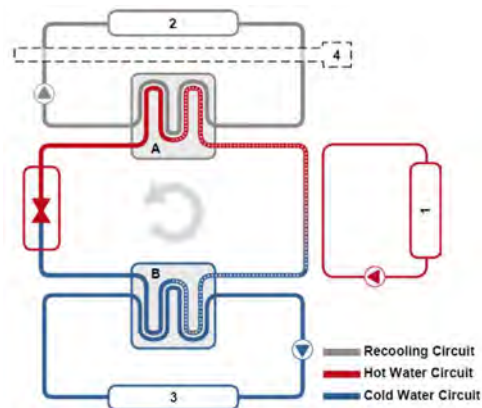


Figura Error! No text of specified style in document..10 - Principiu de funcționare răcitor cu adsorbție [manual tipărit – documentație platformă experimentală termosolară]

A – condensator

1 – sursa de cald HT

2 – recooler MT

B – evaporator

3 – ieșire de rece LT

4 – separare sistem glicol

4.1.5 Generator fotovoltaic (PV)

Infrastructura ICSTM este dotată cu o platformă experimentală fotovoltaică având rol dublu: suport pentru cercetare aplicativă și aport de energie. Aceasta este compusă din module fotovoltaice instalate pe fațada orientată sudic în regim BIPV (Building Integrated Photovoltaics) și pe terasa clădirii în regim BAPV (Building Attached Photovoltaics) conform figurii de mai jos.



Figura Error! No text of specified style in document..11 – Configurația electrică inițială a platformei experimentale PV

Sistemul fotovoltaic în varianta inițială (Figura Error! No text of specified style in document..11) cu o capacitate instalată de 82kWp era compus din următoarele instalații (Tabel Error! No text of specified style in document..1):

Tabel Error! No text of specified style in document..1 – Configurația platformei PV în perioada 2016-2021

| Cod | Descriere | Mod operare | Putere instalată |
|-----|---|-------------|------------------|
| | BAPV terasa montaj fix 33 grade înclinație azimut 0 | On-Grid | 33,2 kWp |

| | | |
|---|---|----------|
| BIPV fațadă sud montaj fix 60 sau 90 grade inclinație | Microgrid care alimentă întreaga infrastructură IT și centrul de date al ICSTM. Aceasta configurație oferă o autonomie de 10 ore în caz de întrerupere alimentare SEN | 47,4 kWp |
|---|---|----------|

4.1.6 Generator termosolar (ST)

Platforma experimentală termosolară (*Figura Error! No text of specified style in document..12*) este amplasată pe terasa clădirii și are rolul de a capta energia solară și de a o utiliza pentru generarea de căldură. Instalațiile sunt utilizate în două moduri: ca aport termic în HVACR și pentru preparare apa caldă menajeră ACM.



Figura Error! No text of specified style in document..12 – Platforma experimentală termosolară ICSTM

Panourile termosolare pentru aport termic sunt conectate la un sistem de stocare al energiei termice TESS, situat la subsolul clădirii, compus din trei pufoare de 1000 litri fiecare. TESS este utilizat pentru a păstra apa caldă, care servește ca agent termic în sistemul HVACR al clădirii ICSTM. Energia termică captată de la soare în colectoare este transferată apei din tancurile de stocare prin intermediul serpentinei duble. Configurația sistemului permite alimentarea tancurilor cu energie în diverse moduri, adaptate nevoilor și condițiilor specifice.

Utilizarea energiei termice stocate în tancuri depinde de sezon și de cerințele de încălzire sau răcire ale clădirii. În sezonul rece, energia stocată sub formă de apă caldă este utilizată direct pentru încălzirea clădirii prin intermediul sistemului HVACR. În schimb, în sezonul cald, energia stocată este utilizată indirect prin intermediul a două unități răcitoare cu adsorbție. Aceste unități realizează conversia apei calde de la temperaturi cuprinse între 50-85⁰C în apă rece la temperaturi cuprinse între 7-12⁰C . Apa răcită este apoi distribuită în sistemul HVACR pentru a asigura climatizarea clădirii.

4.1.7 Sistem de stocare a energiei termice (TESS)

În schema hidraulică inițială sistemul de stocare a energiei termice (Thermal Energy Storage System TESS) funcționa cu scop dublu: pe de o parte asigură un tampon de energie în sistemul HVACR pe de altă parte asigură conectarea sistemului termosolar. TESS este compus din 3 pufere tip Ferroli FB-2 1000 cu o capacitate unitară de 1000 litri și 2 serpentine de schimb termic. Ambele serpentine ale unui puffer erau conectate pe câte un circuit hidraulic solar. Presiunea de lucru a rezervorului de acumulare este de 3 bari.

Conectarea hidraulică a celor 3 pufere era făcută conform schemei inițiale în paralel spre consum, cu schimb de direcție spre alte 2 circuite hidraulice, și individual direct pe circuitele de încălzire solară pentru încălzirea termică. Erau prevăzute debitmetre și senzori de temperatură în configurație de gigacalorimetru pentru fiecare puffer.

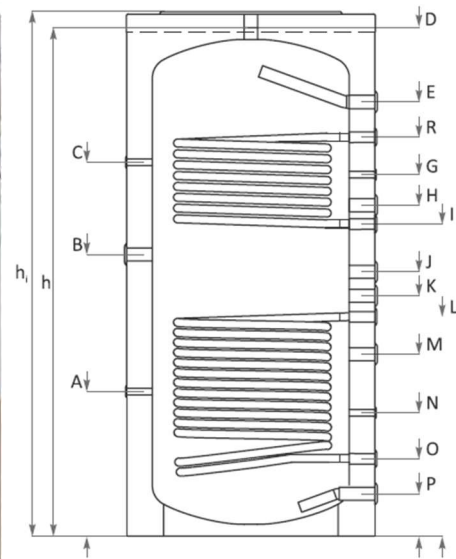


Figura Error! No text of specified style in document..13 - Sistem de stocare termică TESS

4.1.8 Sistemul hidraulic – schema termotehnică

Sistemul implementat deservește instalația HVACR, iar întreaga energie termică stocată în TESS poate fi utilizată de circuitele de consum pentru ventiloconvectori și centrale de ventilație. Instalația termo-hidraulică are rolul de a menține temperatura adecvată în clădire. ICSTM are o suprafață utilă de 7200m² și un volum de aproximativ 29.000m³. În *Figura Error! No text of specified style in document..14* sunt evidențiate locațiile de interconectare a sistemului de distribuție cu sistemul TESS.



Figura Error! No text of specified style in document..14 – Sistemul de distribuție hidraulică ICSTM
Circuitele de climatizare și încălzire cu corpuri statice sunt prevăzute cu ventile 3 căi pentru reglarea parametrilor agenților termici corespunzător cerințelor consumatorilor astfel:

- pentru circuitul de încălzire reglarea temperaturii agentului termic se face în funcție de temperatura exterioară, conform graficului de reglaj din memoria regulatorului electronic;
- pe circuitele de climatizare se face o pre-reglare a temperaturii agentului termic până la o valoare cuprinsă între 70°C și 50°C.

Reglarea valorii temperaturii agentului termic pe circuitele de climatizare este completată cu reglarea locală, la fiecare echipament prin ventilele cu 3 căi cu care sunt prevăzute fiecare din acestea sau robinete termostatați pentru radiatoare.

4.1.9 Sistemul de ventilație mecanică (AHU)

Pentru a asigura calitatea aerului și economia de energie, clădirea ICSTM este dotată cu un sistem de ventilație mecanică. Manipularea aerului cu economisire a energiei, optimizată pentru cerințe speciale, este astfel una dintre cele mai importante funcții de planificare în tehnologia clădirilor. Costurile de funcționare ale clădirii sunt în mare măsură determinate de acest factor. Majoritatea persoanelor petrec 90% din timp în interior. În consecință, calitatea climatului modern este esențială pentru confortul și sănătatea umană. În același timp, sensibilitatea utilizatorului la calitatea aerului crește și se acordă importanță evitării efectelor nocive ale clădirilor asupra oamenilor (sindromul clădirii bolnave). Începând cu anii '80, așa-numitul sindrom al clădirii bolnave este analizat intens, dovezile frecvente de dezechilibru fizic afectează negativ sănătatea.



Figura Error! No text of specified style in document..15 – Centrala de tratare a aerului CTA (AHU)

Aerul este tratat separat în centralele de climatizare (de introducere și de evacuare a aerului) montate la subsolul clădirii. Există 3 astfel de centrale cu capacități de 13000 m³/h fiecare. Una

deservește întreaga clădire cu toate funcțiunile. A doua centrală este dedicată unui grup de 9 laboratoare în care sunt exploatate hote cu flux laminar cu scopul de a suplimenta aerul evacuat de acestea. Și a treia centrală care deservește amfiteatrul. Centralele de climatizare funcționează cu recuperarea căldurii din aerul evacuat. Ele sunt compuse din segmente cu funcțiuni distincte.

4.1.10 Sistem de monitorizare, control și automatizare (BACS)

Există o serie de termeni similari care pot fi utilizați pentru a se referi la automatizarea clădirilor, cum ar fi Sistemul de management al clădirii (BMS), Sistemul de control al clădirii (BCS) și Sistemul de automatizare al clădirii (BAS). Cu toate acestea, BACS este termenul standard așa cum este definit de EN ISO 16484-2:2004 Sisteme de automatizare și control al clădirilor (BACS) - Partea 2: Hardware, 3.31.

La nivelul ICSTM acest sistem se bazează pe controlere tip PLC industrial și operează toate instalațiile clădirii (generare de apă caldă/rece, HVACR, iluminat, sisteme de alarmă etc.), monitorizează și măsoară sarcinile și poate automatiza scenarii programate și compensate cu temperatura ambientală.

Sistemul BACS al ICSTM integrează toate sarcinile descrise mai sus prin protocoale industriale și controale comune. Câteva alte sisteme sunt, de asemenea, integrate pentru a obține starea și pentru a oferi funcționalități (de exemplu, controlul accesului RFID, supravegherea video IP, alarme de incendiu și efracție, monitorizarea drenului perimetral).

Sistemul a fost conceput pentru a asigura sănătatea și securitatea oamenilor, împreună cu asigurarea unei întrețineri preventive și pro-active precum și pentru prevenirea daunelor. Activitățile de cercetare-dezvoltare cu risc ridicat au fost planificate prin instalarea de echipamente care nu utilizează materiale sau gaze periculoase. Laboratoarele cu potențial periculos sunt monitorizate de senzori speciali (C_2H_2 , H_2 , N_2 , CO).

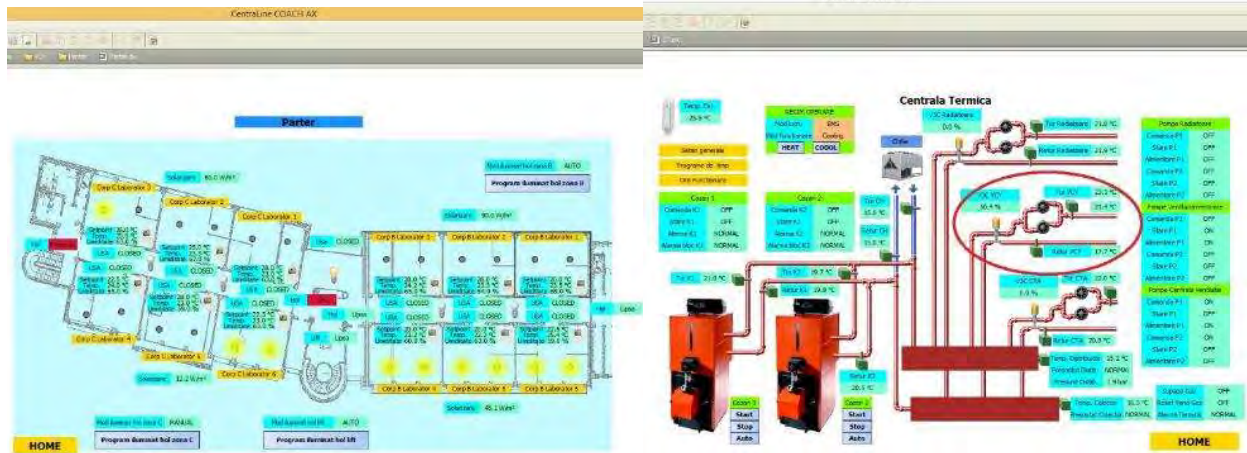


Figura Error! No text of specified style in document..16 - Ecrane de supraveghere BACS stânga: prezentare generală a sistemului la parter; dreapta: distribuție cald/rece la nivelul centralei termice

4.2 METODE

În etapa experimentală au fost efectuate diferite studii, analize și măsurători/interpretări necesare definirii situației reale din momentul începerii stagiului doctoral. Acest capitol prezintă toate aspectele ce au fost analizate inițial pentru discuții comparative ale soluțiilor implementate în etapele 1 și 2. Studiul instalațiilor ICSTM l-am realizat pornind de la documentația existentă: memorii tehnice, fișe tehnice, planșe desenate:

- proiect construcție ICSTM întocmit de SC Princer SA (faza PT+DE) Nr. 1806/2011;
- proiect platformă experimentală termosolară întocmit de URBIO SRL Nr. IR-2-07-TD-15/ 2014;
- proiect platformă experimentală fotovoltaică întocmită de URBIO SRL Nr. IR-VA-2-07-EC-18/ 2018, corectat de Enerray SRL și modificat prin caiet de sarcini ICSTM 2021.

4.2.1 Calcule termotehnice – sarcini și dimensionare

În acest capitol am sintetizat informații (suprafețe, volume, puteri, valori de energie) folosite în modelarea matematică a sistemelor (capitolele: 5.2.1 - Caracterizarea termică și modelarea matematică și 6.2.1 Modelarea matematică a sistemului PV îmbunătățit).

Informațiile prezentate în cele ce urmează sunt reproduse din proiect PRINCER SA 1806/2011.

Tabel Error! No text of specified style in document..2 – Volumetrii totale ICSTM per tip sistem de încălzire folosit

| SUPRAFAȚĂ UTILĂ | VOLUM |
|--------------------------------------|--|
| LT=3314,0 m ² | 13256 m ³ |
| HT=1671,5 m ² | 6686 m ³ |
| Fără climatizare=11,2 m ² | |
| Total=4996,7 m ² | 19942 m ³ (fără spații subsol HT) |

Sarcinile termice considerate în calcul sunt:

- circuit încălzire cu corpuri statice $Q_i = 232.000 \text{ kcal/h}$
- circuit alimentare baterie CTA $Q_v = 554.700 \text{ kcal/h}$
- circuit alimentare ventiloconvectori $Q_c = 987.000 \text{ kcal/h}$
- circuit alimentare boiler pentru ACM $Q_{acm} = 500 \text{ l} \times (60-10) = 25.000 \text{ kcal/h}$

TOTAL Q $1.798.700 \text{ kcal/h}$

Pierderi pe rețele 5%: 90.300 kcal/h

Total general $Q_T = 1.889.000 \text{ kcal/h} = 2.192 \text{ kw}$

4.2.2 Evaluarea mix-ului energetic

În ceea ce privește mix-ul energetic utilizat în clădirea ICSTM, se observă prezența a două tipuri principale de resurse: gazul natural și energia electrică. Pe lângă consumul de gaz natural și energie electrică, activitatea de cercetare desfășurată în clădire implică și alte elemente de suport tehnic. Acestea includ: stație de producție a apei ultra-pure, generatoare de azot și oxigen și sisteme de neutralizare a apei contaminate chimic. Cuantificarea conform specificațiilor tehnice a consumului de energie electrica a sistemului HVACR este realizata în Capitolul 4.1.1 Caracteristicile clădirii ICSTM.

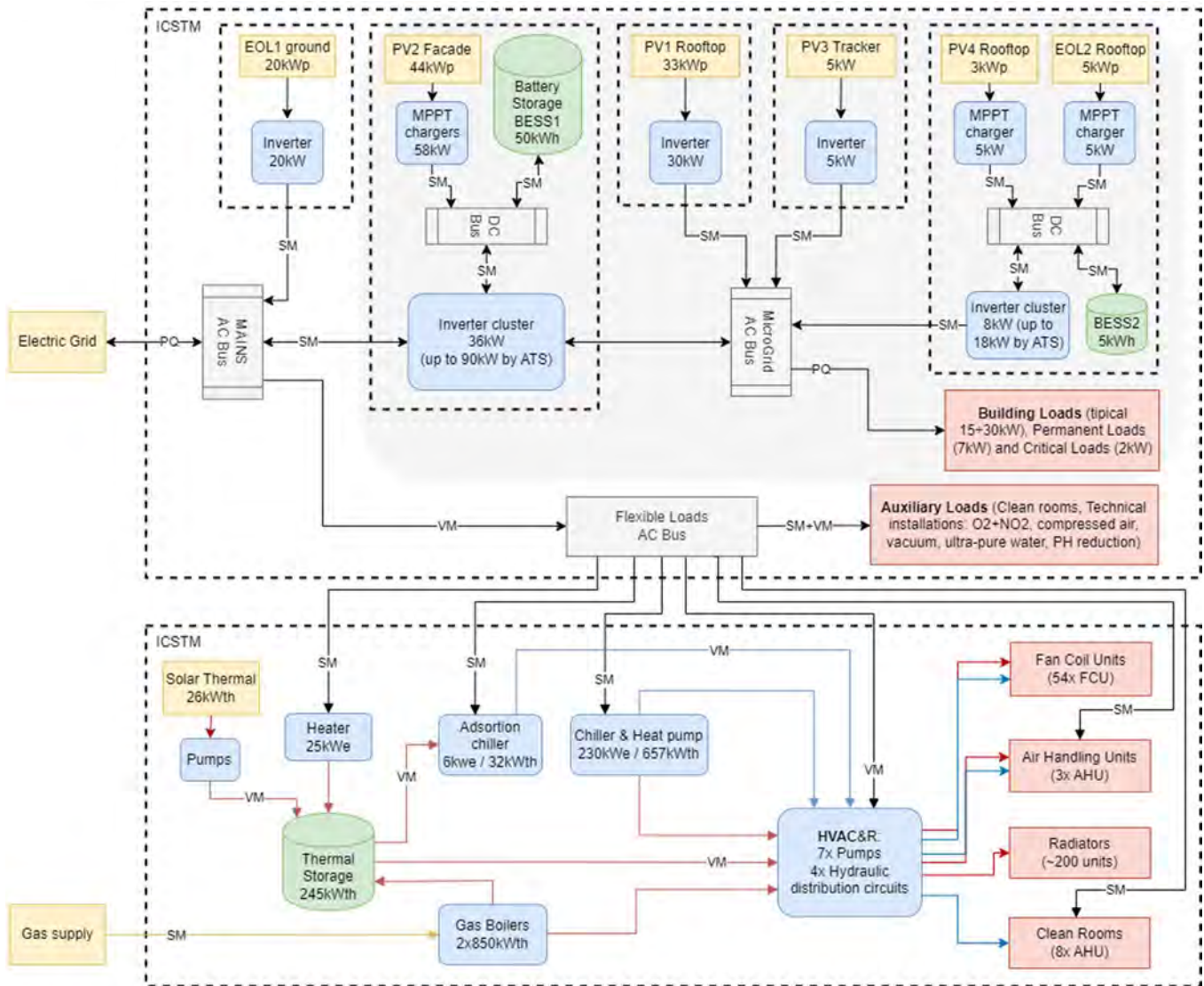
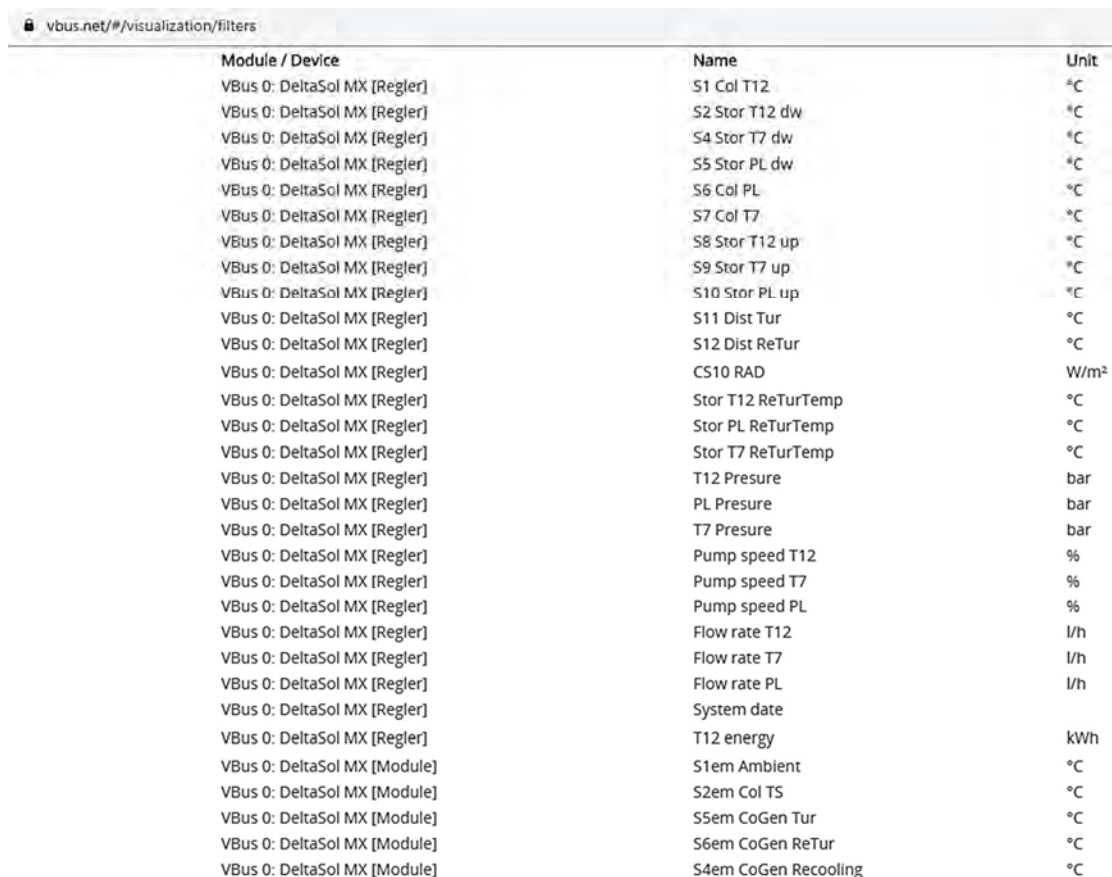


Figura Error! No text of specified style in document..17 - Schema bloc sistem energetic ICSTM (reprezentare multi-vector)

4.2.3 Măsurarea performanțelor sistemului ST (Referință de calcul și interpretări)

Setul de date disponibil pentru interpretări și analize conține înregistrări pentru 31 parametri cu o rezoluție de 1min începând cu o primă înregistrare din data de 15.10.2014. Acestea sunt salvate în fișiere .txt pe zile în memoria SD (memorie de tip flash) card a controlerului sau trimise prin FTP (Protocolul pentru transfer de fișiere) pe un server de backup sub forma de fișiere .csv cu o rezoluție de 5min salvate lunar. Sunt disponibile ambele variante de rezoluții de date cu observația că sistemul de backup FTP a fost pus în funcțiune din februarie 2016. Mecanismul de salvare pe termen lung a valorilor măsurate a fost integrat și cu serviciile cloud ale producătorului controlerului instalației Resol. Contul în platforma cloud nu este plătit, iar funcțiunile de retenție a datelor pentru conturile gratuite nu sunt garantate. Cu toate acestea, platforma VBus.net a firmei Resol reține valori măsurate și oferă capabilități de interpretare a acestora în raport comparativ și pe intervale de timp configurabile. În cele ce urmează am ales metode de interpretare a datelor diferit: fie direct din platforma cloud online, fie din fișiere stocate local și procesate în Excel după cum s-a considerat mai relevant sau facil de procesat în funcție de rezoluția de afișare necesară.



| Module / Device | Name | Unit |
|------------------------------|----------------------|------|
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S1 Col T12 | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S2 Stor T12 dw | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S4 Stor T7 dw | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S5 Stor PL dw | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S6 Col PL | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S7 Col T7 | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S8 Stor T12 up | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S9 Stor T7 up | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S10 Stor PL up | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S11 Dist Tur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S12 Dist ReTur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | CS10 RAD | W/m² |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Stor T12 ReTurTemp | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Stor PL ReTurTemp | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Stor T7 ReTurTemp | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | T12 Presure | bar |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | PL Presure | bar |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | T7 Presure | bar |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Pump speed T12 | % |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Pump speed T7 | % |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Pump speed PL | % |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Flow rate T12 | l/h |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Flow rate T7 | l/h |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Flow rate PL | l/h |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | System date | |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | T12 energy | kWh |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S1em Ambient | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S2em Col TS | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S5em CoGen Tur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S6em CoGen ReTur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S4em CoGen Recooling | °C |

Figura Error! No text of specified style in document..18 - Maparea valorilor măsurate de controlerul instalației

4.2.4 Evaluarea comportamentului termic - termografie

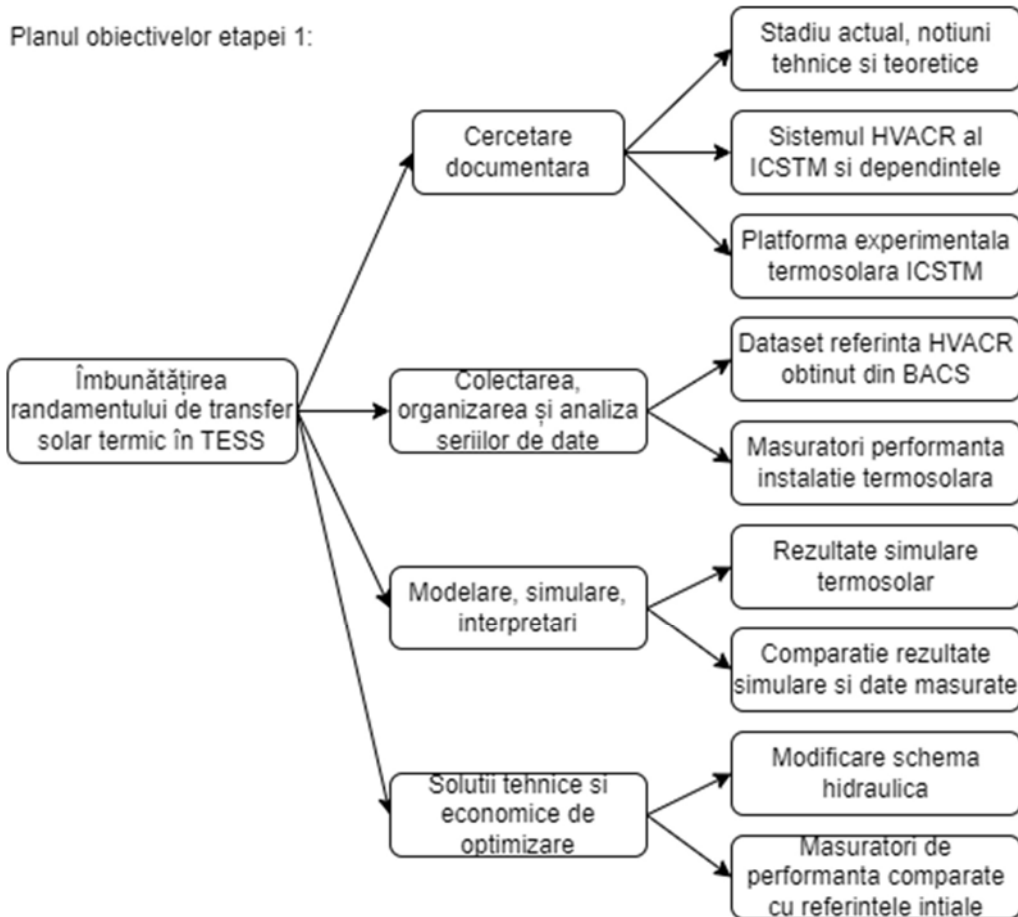
În vederea determinării comportamentului termic în funcționarea clădirii, panourilor solar termice și a modulelor PV, s-a utilizat o dronă echipată cu o cameră de termoviziune.

Drona utilizată în măsurători este una profesională cu performanțe ridicate în controlul zborului la punct fix (hovering). Pentru a obține imagini clare și pentru a măsura corect temperatura în punct sau pe suprafața, drona este echipată cu un dispozitiv gimbal de stabilizare a blocului optic. Modulul de imagine conține și un senzor de telemetrie laser foarte precis ce măsoară distanța de la obiectiv până la ținta măsurată. Calculul temperaturii în punct sau pe suprafață este efectuat automat de software-ul echipamentului, iar calitatea măsurătorilor depinde în mare măsură de coeficienții de emisivitate și determinarea precisă a distanței dintre obiectiv și punctul măsurat. Deoarece detectorul IR nu este unul de mare viteză sau ultra precis (dimensiunile fizice și greutatea fiind o restricție importantă de zbor), operatorul dronei trebuie să o manevreze lent pentru a preveni fenomenul de difuzie al imaginii. Determinările efectuate asupra platformelor experimentale ale ICSTM nu au necesitat condiții deosebite, judecând suprafețele mici. Acestea au fost efectuate în general din poziție staționară. Din Figura **Error! No text of specified style in document..19** se poate observa controlerul de pilotare al dronei folosit în timpul zborului.



5. Etapa 1 – ÎMBUNĂȚĂȚIREA RANDAMENTULUI DE TRANSFER SOLAR TERMIC ÎN TESS

În urma studiului sistemului HVACR și al platformei experimentale termosolare din clădirea institutului ICSTM (Capitolul 0), pentru a atinge obiectivul cercetării, respectiv de a cupla hidraulic generatoare suplimentare de energie la sistemul HVACR au fost definite următoarele obiective specifice:



În acest capitol sunt descrise toate etapele parcurse pentru a îmbunătăți randamentul de transfer termic al instalației termosolare începând cu lucrările efectuate (capitolul 5.1 Materiale) continuând cu explicitarea metodologiei folosite (Capitolul 5.2 Metode). Un alt aspect important realizat în această etapă îl constituie reconfigurarea pufelor de stocare din subsol (utilizate individual în schema hidraulică inițială) într-un sistem de stocare de tip TESS ce poate fi controlat ca o singură unitate compusă din cele 3 pufere inițiale. Acest aspect oferă flexibilitate și eficiență

sporită în exploatarea energiei stocată în TESS ca sursă de cald pentru răcitoarele cu adsorbție dar și în exploatare directă de către sistemul HVACR.

5.1 MATERIALE

Pe baza metodologiei aleasă în elaborarea cercetării (descrisă în Capitolul **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.**) și a studiilor efectuate (descrise în Capitolul **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.**) au rezultat mai multe măsuri și propuneri de îmbunătățire a randamentului de transfer solar termic. Acestea au considerat, ca factor pivotal, reutilizarea elementelor funcționale și existente, precum și repunerea în funcțiune a 2 pufere de transfer termic (recuperate dintr-o instalație mai veche, Figura **Error! No text of specified style in document..20**). Lucrările necesare reconstrucției platformei experimentale au fost finanțate din proiectele naționale la care am participat ca cercetător voluntar. În cadrul proiectului Horizon 2020 E-Land am făcut parte din echipa de cercetare și am participat la integrarea instalației termosolare, având ca obiectiv îmbunătățirea eficienței sistemului și adaptarea soluției tehnice pentru utilizarea în proiect.



Figura **Error! No text of specified style in document..20** – Spațiu amenajat pentru noua instalație termosolară

5.1.1 Modificări circuit și grup pompare solar

5.1.2 Instalare pufere transfer termic pe circuitele hidraulice solare

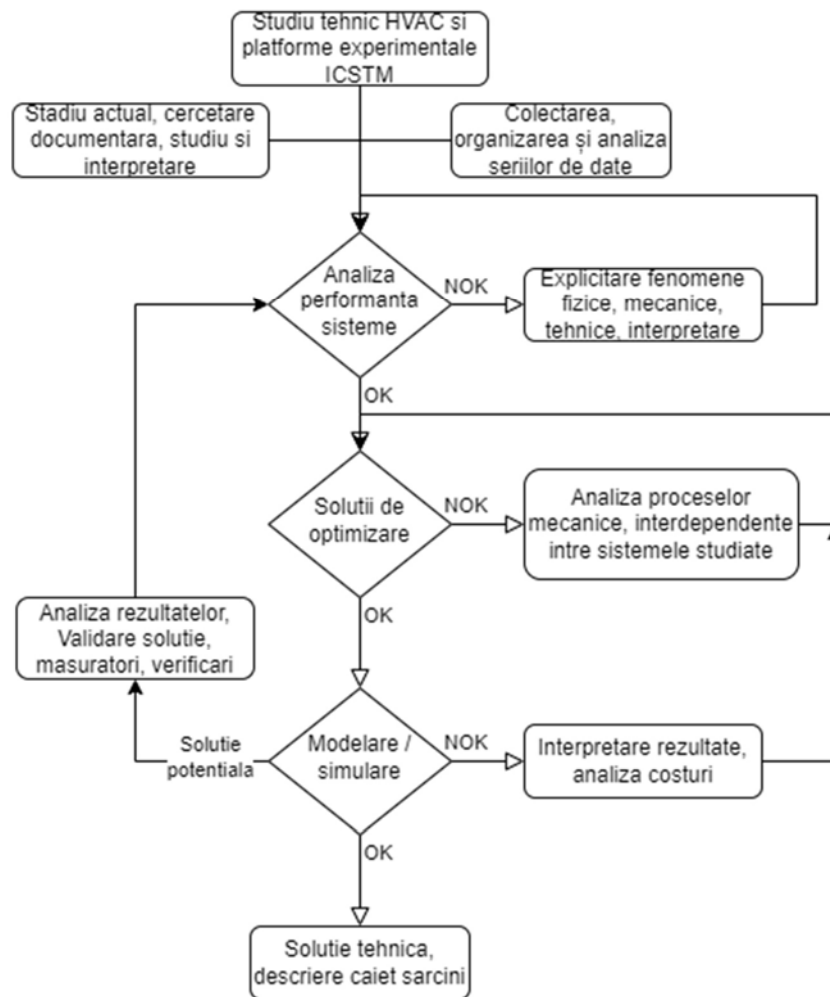
5.1.3 Realizare circuit încărcare termică TESS

5.1.4 Modificare sistem de achiziție date al instalației termosolare

5.2 METODE

În acest capitol sunt prezentate metodele prin care s-a atins obiectivul de îmbunătățire a randamentului de transfer termic al platformei experimentale termosolare. Metodologia folosită este descrisă în diagrama de mai jos.

Metodologia abordată în etapa 1:



Soluția tehnică obținută a fost concretizată într-un caiet de sarcini însoțit de un deviz de materiale utilizate în procedura de achiziție publică pentru execuția lucrărilor hidraulice. Costul lucrărilor a fost plătit din fondurile disponibile prin proiectul național de dezvoltare instituțională FDI 2020, cod proiect CNFIS-FDI-2020-0397, titlu proiect: Performanță și excelență în cercetarea multidisciplinară - PerExcel.

În urma execuției lucrărilor, cu ajutorul echipei de cercetare implicată în proiectul Horizon 2020 (finanțat din fonduri Europene) cu titlul (tradus): Sistem integrat de management multi-vector pentru insule energetice - E-Land, contract GA 824388; platforma termosolară a fost integrată. Aceste lucrări au constat în reconfigurarea traseelor de curenți tari și slabi, programarea controlerelor și realizarea comunicațiilor între sistemele de monitorizare. Astfel, platforma experimentală termosolară a fost conectată cu sistemul de management energetic EMS realizat prin proiect. Datele de performanță (putere și energie generată/stocată) sunt disponibile în timp real partenerilor din proiect pentru execuția unor algoritmi ce deservește scenariile de optimizare multi-vectoriale (mai multe informații <https://doi.org/10.3030/824388>).

5.2.1 Caracterizarea termică și modelarea matematică

5.2.2 Rezultatele simulării - determinarea aportului de energie

5.2.3 Optimizarea schemei hidraulice

5.2.4 Măsurători și automatizări termotehnice

5.2.5 Măsurători termoviziune – instalația termosolară ST

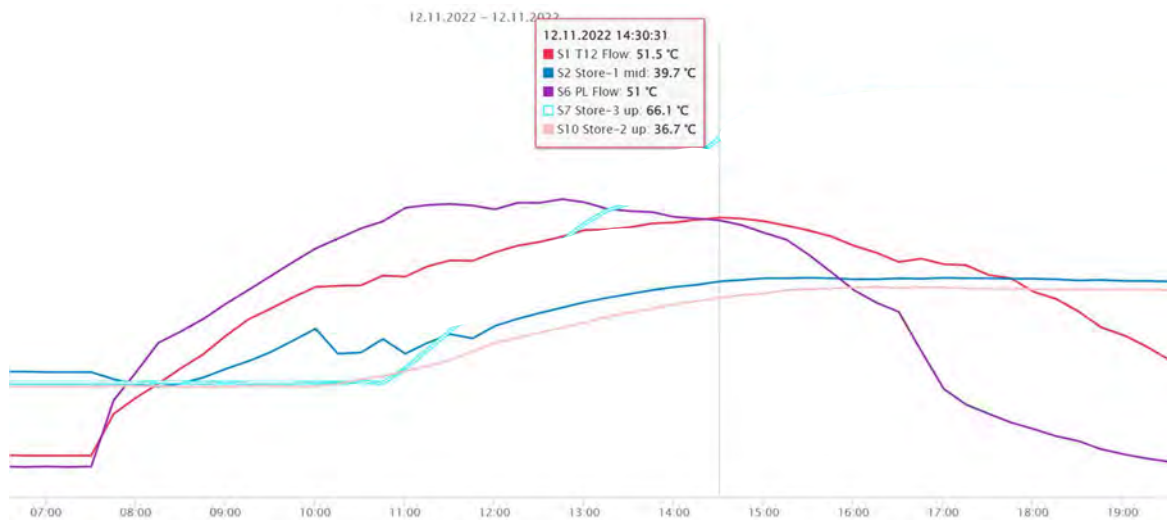


Figura *Error! No text of specified style in document.*21 - Punct de maxim stocat din solar-termic 36.7°C

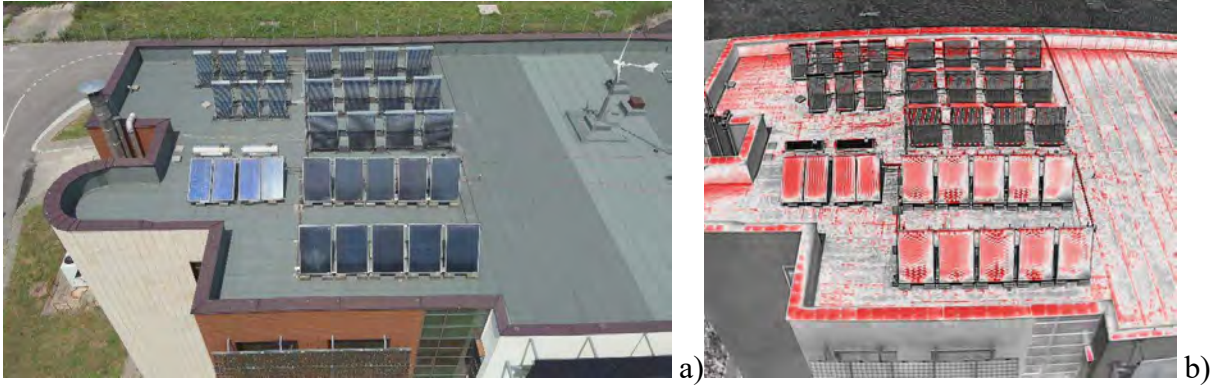


Figura Error! No text of specified style in document..22 - Platformă termosolară: a) imagine în spectru vizibil, b) imagine spectru IR

5.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele măsurătorilor fluxurilor de energie și impactul acestora asupra termodinamicii sistemului de stocare TESS:

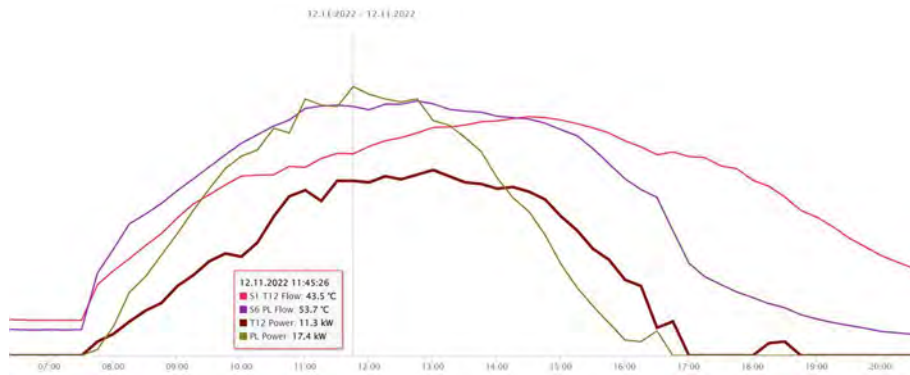


Figura Error! No text of specified style in document..23 - Vârf producție colectoare plane 17.4kW / 53.7°C

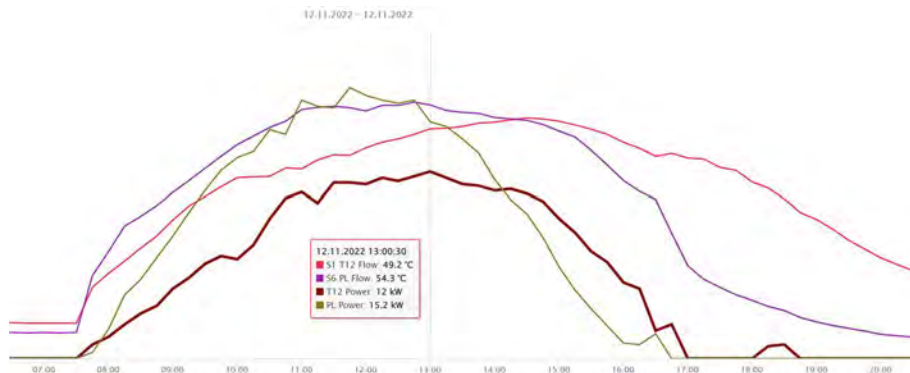


Figura Error! No text of specified style in document..24 - Vârf producție colectoare cu tub vidat 12kW / 49.2°C

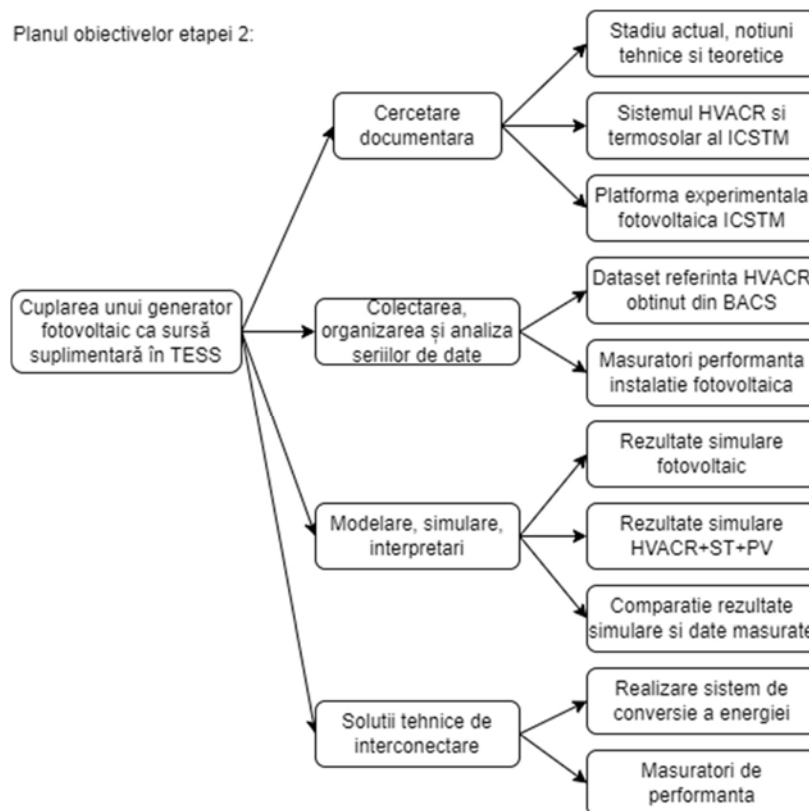
În urma reconfigurării schemei hidraulice a generatorului termosolar, acesta a atins parametri de funcționare și performanțe suficiente susținerii necesarului de aport termic la climatizarea prin ventiloconvectori a unui spațiu de 7250m² cu un volum de aprox. 29000m³ pentru sezoanele de primăvară și toamnă.

Conectarea multi-vectorială a generatoarelor / surselor de conversie solară cu un sistem HVACR este o abordare inovativă ce nu a fost regăsită în studiul literaturii de specialitate. Astfel de sisteme / abordări probabil există în mediul construit modern dar nu au fost studiate științific sau măsurate în funcționare pentru determinarea performanțelor.

Utilizarea surselor de energie regenerabilă pentru asigurarea necesarului termic al clădirilor nu este practică din 2 motive principale: lipsa de spațiu necesar instalării acestora (pe construcții existente); costurile inițiale și de întreținere. Varianta cel mai des întâlnită în ultimii ani este combinarea unei pompe de căldură cu un generator fotovoltaic.

6. Etapa 2 – CUPLAREA UNUI GENERATOR FOTOVOLTAIC CA SURSĂ SUPPLEMENTARĂ ÎN TESS

Considerând rezultatele prezentate în capitolul **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.** s-a studiat, pe baza unor modelări matematice și a simulărilor sistemelor PV și HVACR, aportul potențial al energiei exportată în SEN spre utilizare internă în TESS. Planul obiectivelor urmărite este prezentat în diagrama:



În acest capitol sunt descrise toate etapele parcurse pentru a cupla generatorul fotovoltaic la sistemul de stocare termică TESS precum și rezultatele modelării platformei experimentale fotovoltaice și a cuplării acesteia împreună cu platforma termosolară la sistemul HVACR al ICSTM. Cele 2 modele au fost realizate cu programe specializate PV*SOL pentru platforma fotovoltaică și GeoT*SOL pentru sistemul HVACR cuplat TESS și termosolar. Programele sunt disponibile în varianta de testare pentru 30 zile de la producătorul Valentin Software GmbH. Valorile de tip dataset folosite în ambele modele pentru a simula performanța sistemelor au fost extrase din sistemele de monitorizare ale platformelor experimentale și din sistemul BACS de monitorizare al clădirii ICSTM.

6.1 MATERIALE

Acest capitol prezintă modificările aduse platformei experimentale PV din ICSTM pe parcursul derulării proiectului European H2020 E-LAND. Acestea au fost necesare pe fondul necesității interconectării instalației microgrid cu sistemul EMS nou creat prin proiect. Pentru realizarea conversiei energiei electrice surplus generată PV, s-au convertit cele 3 pufere ale sistemului TESS în boilere prin instalarea de rezistente electrice. În final, controlerul sistemului microgrid cuplat PV cu stocare electrică, a fost configurat să descarce energia generată în surplus către sistemul TESS.

6.1.1 Modificare sistem microgrid cu stocare asistat PV

6.1.2 Realizare sistem de conversie a energiei electrice în energie termică

6.1.3 Integreare răcitor cu adsorbție pentru conversie cald/rece

6.1.4 Configurare controler microgrid PV pentru stocare TESS



Figura Error! No text of specified style in document..25 – Sistem microgrid: a –inițial; b) actual, după anul 2021

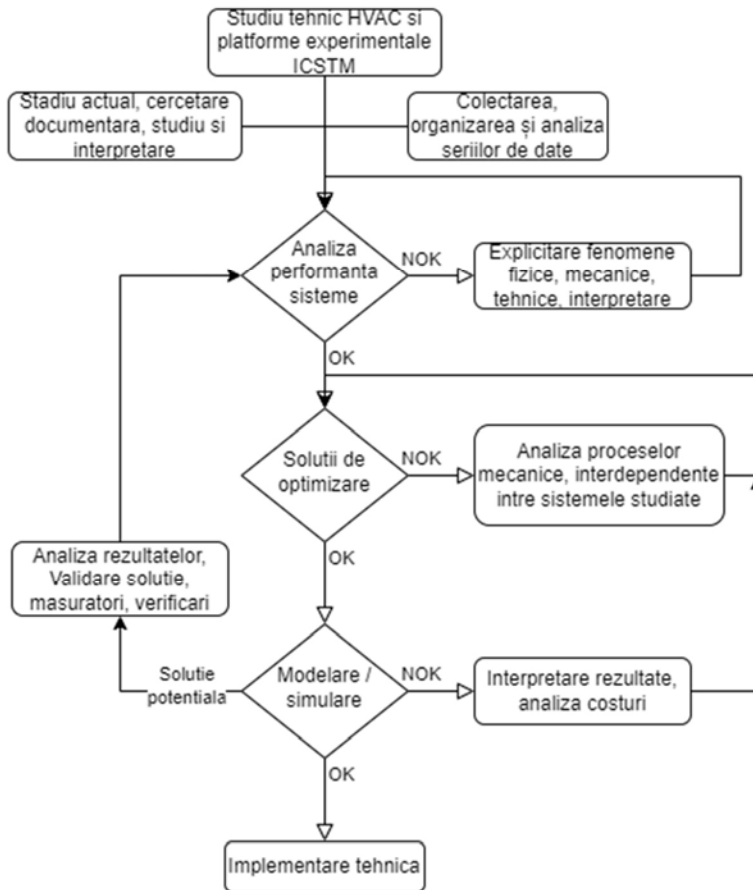


Figura *Error! No text of specified style in document.*26 - Montaj rezistențe pe boiler

6.2 METODE

În acest capitol este descrisă metodologia și metodele de atingere a obiectivului de a cupla ca sursă suplimentară de energie platforma experimentală fotovoltaică la sistemul TESS (conform diagramei de mai jos) cu ajutorul modificărilor descrise în capitolul anterior.

Metodologia abordată în etapa 2:



Metodele se bazează pe studiile și determinările preliminare prezentate în capitolul **Error! Reference source not found.**, la acestea se adaugă modelarea specifică a platformei experimentale fotovoltaice, precum și modelarea întregului sistem HVACR cuplat cu stocare TESS și 2 surse suplimentare de energie regenerabilă termosolar și fotovoltaic. Rezultatele simulărilor sunt prezentate și comparate cu valorile măsurate de sistemele de achiziție de date (monitorizare) specifice fiecărei instalații studiate.

6.2.1 Modelarea matematică a sistemului PV îmbunătățit

6.2.2 Rezultatele simulării - determinarea aportului de energie PV total

6.2.3 Măsurarea aportului de energie la HVACR

6.2.4 Măsurători termoviziune - Regimul de operare al modulelor PV

6.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII

Cuplarea instalației microgrid asistată fotovoltaic cu stocare electrică la sistemul HVACR aduce aport energetic prin 2 mecanisme: asigură energie electrică funcționării agregatelor (centrală ventilație mecanică CTA 13000m³/h, pompe hidraulice, ventiloconvectori casetați și altor elemente de măsură și control); iar surplusul de energie electrică produsă fotovoltaic este convertit în energie termică stocabilă sau reutilizabilă direct. În cuplarea pe regim de răcire de noapte (sezon cald) împreună cu un răcitor cu adsorbție și CTA, s-a obținut o diminuare a temperaturii medii cu $\Delta t=5k$.

Conectarea multi-vectorială a generatoarelor / surselor de conversie solară cu un sistem HVACR este o abordare inovativă ce nu a fost regăsită în studiul literaturii de specialitate. Astfel de sisteme / abordări probabil există în mediul construit modern dar nu au fost studiate științific sau măsurate în funcționare pentru determinarea performanțelor.

Conversia surplusului de energie electrică al unui generator fotovoltaic se regăsește sub denumirea de Power to Heat (P2H) system la nivel de produs comercial dedicat locuințelor rezidențiale (case). De regulă aceste sisteme electrice beneficiază de convertoare pentru a îmbunătăți eficiența produsului. Implementarea acestui mecanism P2H în sistemul ICSTM a fost executată cu un minim de investiție ca proof-of-concept într-un sistem HVACR exponențial mai mare decât cel al unei case.

Sistemul P2H este o soluție de stocare a energiei unui generator fotovoltaic fara capacitate de stocare electrica, prin conversia surplusului de energie electrica in termica. Lucrarea de fata nu si-a propus analiza eficientei acestei solutii corelat cu sursa de gaz natural, cu toate acestea putem

enunța faptul că eficiența de conversie este 1:1 (1kWhel la 1kWhth). Pierderile pot apărea dacă circuitul de forță nu este dimensionat corect sau dacă boilerul de stocare nu este izolat termic corespunzător. Sistemul P2H realizează în prezent funcția principală de conversie a energiei electrice în termică. Cu toate acestea, pentru o îmbunătățire a eficienței acestuia este necesar un control granular al descărcării de energie electrică pentru a nu ajunge la nivelul bilanțului electric global al clădirii în regim de consum. Astfel, sistemul a fost executat cu control independent pe boiler pentru a avea capacitatea multiplicativă de a activa încărcarea acestora selectiv. Acest aspect lasă loc pentru tendințe viitoare de îmbunătățire a performanței P2H.

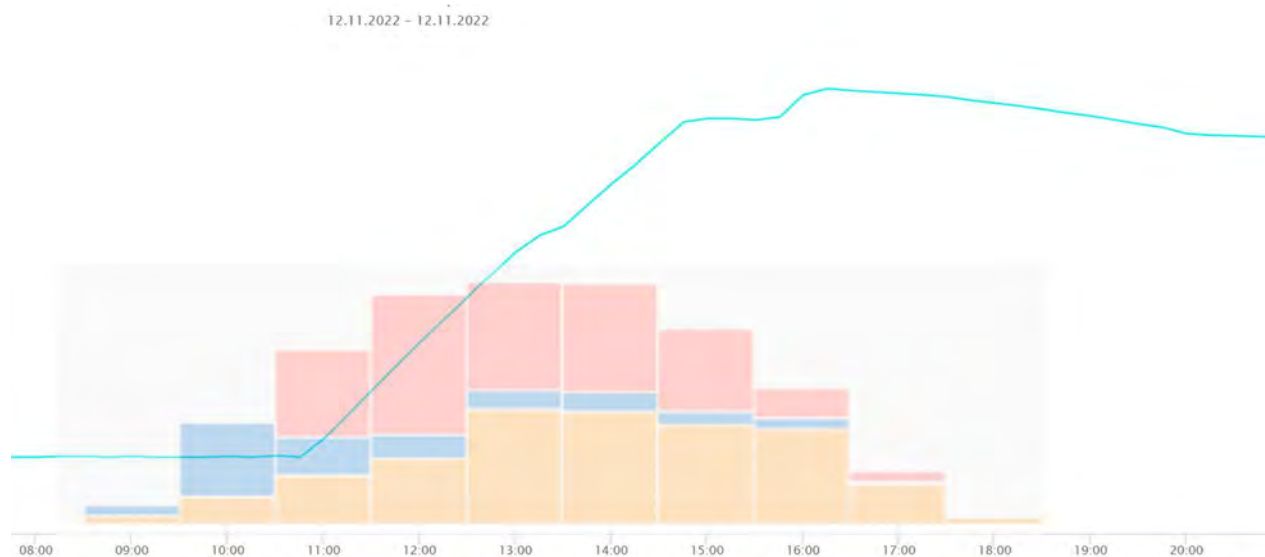


Figura **Error! No text of specified style in document.**27 - Analiză conversie P2H - energie electrică stocată termic (roșu = surplus PV, albastru = stocare electrică, galben = consum electric)

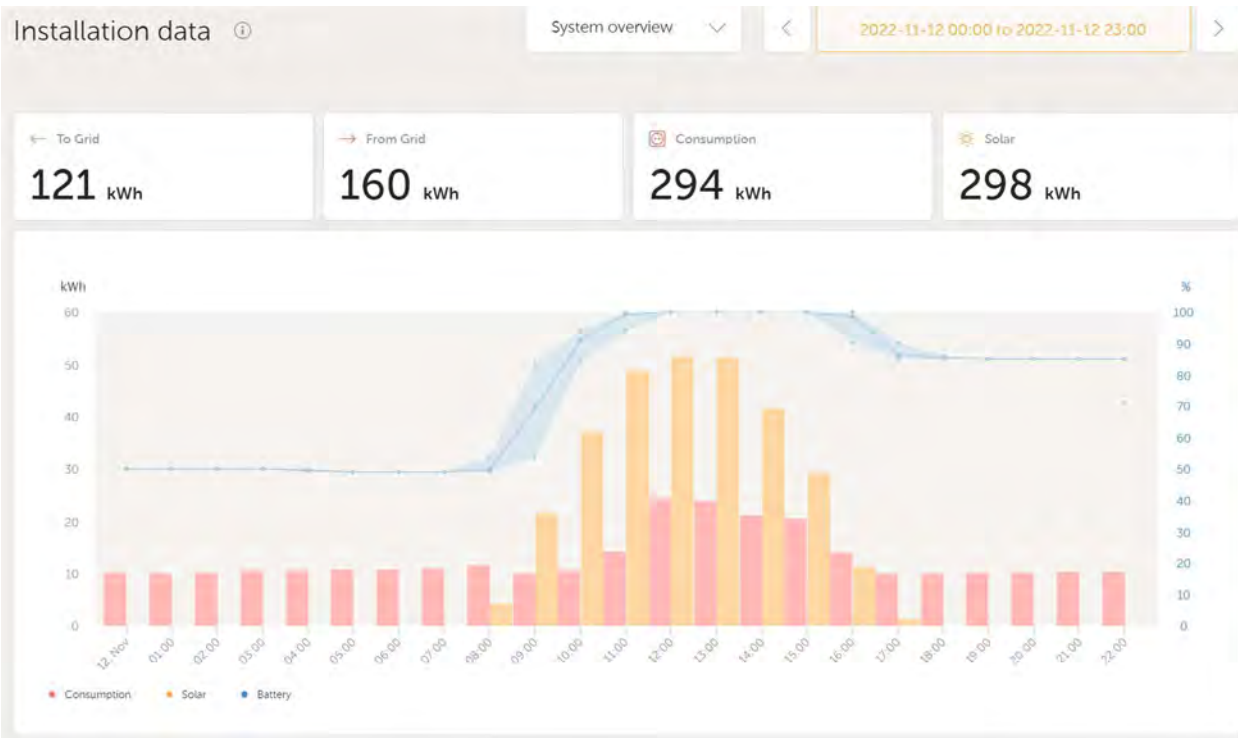


Figura Error! No text of specified style in document..28 - Operare microgrid fotovoltaic cu stocare

7. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE

7.1 CONCLUZII FINALE

Stocarea termica cuplata HVAC are beneficii majore in reducerea gazelor cu efect de sera GHC prin reducerea consumului de gaz natural si implicit a emisiilor produse de arderea acestuia. Cu toate acestea, stocarea termica in apa nu este una de durata, energia poate fi utilizata (in functie de consum) timp de ~3 zile in regim ACM si de 1 zi in regim de aport termic la climatizare.

Studiul de caz analizat reprezinta un regim de exploatare intalnit in industrie iar cuplarea celor 2 generatoare (termo-solar si fotovoltaic) este o solutie demonstrata si inovatoare care raspunde in mod eficient necesitatilor ICSTM.

Cuplarea in regim de cogenerare a mai multor vectori de energie este o tendinta actuala de eficientizare energetica a cladirilor. In acelasi timp din studiile stadiului actual in domeniu, s-a constatat ca interesul stocarii de energie termica, pentru utilizarea day-by-day in termoficarea cladirilor, este din ce in ce mai ridicat.

7.2 CONTRIBUȚII PERSONALE

Angajată fiind în calitate de doctorand în proiectul de cercetare Horizon 2020 (finanțat din fonduri Europene) cu titlul „Sistem integrat de management multi-vector pentru insule energetice” E-Land GA 824388, am avut oportunitatea de a participa activ pe tematica / activitățile termo-mecanice abordate în proiect. Activitatea de cercetare-dezvoltare efectuată alături de cercetătorii institutului ICSTM (Institutul de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinar) din cadrul Universității Valahia din Târgoviște reprezintă atât contribuție în cadrul proiectului menționat cât și fundamentul lucrării de doctorat.

Dintre contribuțiile personale pot enumera:

- analiza sistemului termo-hidraulic de tip HVACR din cadrul ICSTM;
- analiza situației funcționale a instalației experimentale termosolare existente în ICSTM și prevăzută a fi exploatată în cadrul proiectului H2020;
- analiza coeficienților de performanță termo-energetică din datele măsurate în intervalul 2014 – 2021;
- analiza interfeței hidraulice (de transfer termic) dintre sistemul de generare, sistemul de stocare și sistemul de distribuție a agentului termic;

- modelarea și simularea sistemului termosolar în vederea analizei comparative rezultate simulate / rezultate măsurate, cu scopul de a identifica metode de optimizare și creștere a eficienței în scenariul studiat și adaptat nevoilor specifice;
- propunerea de soluții tehnice pentru îmbunătățirea instalației termosolare, cu reutilizarea elementelor componente și costuri minime;
- dezvoltarea de soluții tehnice eficiente și economice pentru repunerea în funcțiune a instalației termosolare și atingerea parametrilor necesari exploatarei în proiectul H2020;
- elaborarea specificațiilor necesare achiziției de servicii și materiale pentru reconfigurarea sistemului (activitate ce a fost finanțată prin proiectul național „Fonduri de Dezvoltare Instituțională” FDI);
- dezvoltarea de soluții eficiente de reconfigurare a traseelor termo-hidraulice ale instalației termosolare;
- dezvoltarea de noi interfețe hidraulice cu sistemele termo-tehnice ale ICSTM;
- reconfigurarea sistemelor de control și monitorizare (activitate desfășurată cu sprijinul cercetătorilor ICSTM);
- contribuții la extinderea și îmbunătățirea performanțelor energetice prin conectarea de noi surse regenerabile (excesul de energie electrică al generatorului fotovoltaic).

7.3 DIRECȚII ȘI PERSPECTIVE DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

Studiile și lucrările executate în activitatea de cercetare doctorală alături de colegii din ICSTM conduc la deschiderea de noi perspective în abordarea mixului energetic la nivelul clădirilor mari. Aceste studii multi-vectoriale ajută comunitatea științifică în a identifica noi oportunități și direcții de cercetare. În lucrarea de față a fost demonstrată o abordare inovativă a unui proces mecanic îmbunătățit. Perspectivele de conducere a acestor procese spre noi performanțe și funcționalități sunt mari, după cum a fost subliniat în capitolul concluzii. Pe aceste considerente se pot propune direcții noi, prin investiții noi, în vederea asigurării sustenabilității infrastructurii ICSTM.

DISEMINAREA REZULTATELOR ȘTIINȚIFICE

- **Andreea-Mihaela Let** , Viviana Filip, Ioan Alin Bucurica, Simona Mihai, Dorin Dacian Let, APPLIED THERMODYNAMIC ANALYSIS IN SOLAR THERMAL SYSTEMS PERFORMANCE ASSESSMENT, Journal Of Science And Arts, Year 24, Number 2, issue 49, 2024 <https://doi.org/10.46939/J.Sci.Arts-24.2-c01>
- **Andreea-Mihaela Let**, Viviana Filip, Alin Bucurică, Simona Mihai, Dorin Let, THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SOLAR THERMAL HEAT INPUT IN HVACR CLIMATE CONTROL SYSTEMS, Journal Of Science And Arts, Year 24, Number 3, issue 50, 2024 (acceptat spre publicare)
- D. Let, B. I. Tene, A. Husu, M. Stan, L. M. Stancu and **Andreea Let**, FEASIBILITY OF A MICRO GRID SCALE UP AT CAMPUS LEVEL - CASE STUDY, 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE Xplore digital library, pp: 1 – 6, 2019, **DOI:** 10.1109/ECAI46879.2019.9041969
- D.D. Let, I.A. Bucurica, I.V. Gurgu, L. Stancu, **Andreea Let**, G.M. Ionita, ASSESSMENT OF A DATA CENTER MICROGRID WITH STORAGE AND PHOTOVOLTAIC GENERATION, Journal Of Science And Arts, Year 19, Number 4, issue 49, pp. 1067, 2019
- **Andreea Let**, V. Filip, D. Let, S. Mihai, A review in biomechanics modeling, Proceedings of the International conference of mechatronics and cyber-mixmechatronics, ICOMECYME 2020 LNNS 143, pp. 156–164, 2020, Springer, pp. 156-164, 2020, https://doi.org/10.1007/978-3-030-53973-3_17
- Best practice of technology integration in Interreg Europe S3Unica project; “HVACR integrated Control System with weather compensation and Solar Thermal input”; 2020
- Diplomă și Medalia de Argint pentru invenția HVACR Storage Power 2 Heat Hybrid System, Salonul Internațional de Invenții și Inovații “Traian Vuia” Timișoara, 2023
- Diplomă și Medalia de Argint pentru invenția Integrated Multi-Vector Management System for Energy Islands, Salonul Internațional de Invenții și Inovații “Traian Vuia” Timișoara, 2023
- Best practice of technology integration in Interreg Europe S3Unica project; “Microgrid coupled with BIPV and storage; integrated with EMS”; 2023



MINISTRY OF EDUCATION
“VALAHIA” UNIVERSITY of TÂRGOVIȘTE
IOSUD – DOCTORAL SCHOOL OF ENGINEERING SCIENCES
MECHANICAL ENGINEERING

SUMMARY OF THE DOCTORAL THESIS

Contributions on hydraulic coupling of HVACR systems with thermal storage and multi-vector solar assistance

**PhD Supervisor,
Prof.univ.dr. eng. Viviana FILIP**

**PhD Student,
Andreea-Mihaela SOCI (LEȚ)**

**Târgoviște
2024**

TABLE OF CONTENTS OF THE DOCTORAL THESIS

1. Introduction

- 1.1 Motivation, challenges, and identified needs
- 1.2 Purpose and objectives of the research
- 1.3 Current state of knowledge

2. Theoretical aspects specific to the research

- 2.1 Elements of solar geometry
- 2.2 Thermodynamics of solar conversion systems
- 2.3 Energy exchange
- 2.4 Thermo-hydraulic transfer

3. Aggregated systems and technical elements used in the research

- 3.1 HVACR systems
 - 3.1.1 Conventional thermal generators (heat/cold sources)
 - 3.1.2 Heat pumps in an HVACR system
- 3.2 Solar thermal systems
 - 3.2.1 Mechanics of a solar thermal panel system
 - 3.2.2 Solar thermal collectors
- 3.3 Thermal transfer fluid transportation
 - 3.3.1 Pipes
 - 3.3.2 Hydraulic pumps
 - 3.3.3 Safety and control elements (valves and valves)
- 3.4 Air handling units mechanical ventilation (AHU)

4. Experimental platform – ICSTM case study

- 4.1 Materials
 - 4.1.1 Characteristics of the ICSTM building
 - 4.1.2 Heat source - Gas-fired thermal power plant
 - 4.1.3 Cold source - Heat pump in chiller operation
 - 4.1.4 Heat/cold conversion - Adsorption chiller
 - 4.1.5 Photovoltaic generator (PV)
 - 4.1.6 Solar thermal generator (ST)
 - 4.1.7 Thermal energy storage system (TESS)
 - 4.1.8 Hydraulic system – thermal engineering scheme
 - 4.1.9 Mechanical ventilation system (AHU)
 - 4.1.10 Monitoring control and automation system (BACS)
- 4.2 Methods
 - 4.2.1 Thermal performance calculations – loads and sizing
 - 4.2.2 Energy mix evaluation
 - 4.2.3 Performance measurement of the ST system (Reference and interpretations)
 - 4.2.4 Thermal behavior evaluation - thermography

5. Stage 1 – Improving solar thermal transfer efficiency in TESS

- 5.1 Materials
 - 5.1.1 Solar pumping circuit and group modifications
 - 5.1.2 Installation of a thermal transfer buffer on solar hydraulic circuits
 - 5.1.3 Thermal loading circuit realization TESS
 - 5.1.4 Modification of the data acquisition system of the solar thermal installation

- 5.2 Methods
 - 5.2.1 Thermal characterization and mathematical modeling
 - 5.2.2 Simulation results - determining the energy contribution
 - 5.2.3 Hydraulic scheme optimization
 - 5.2.4 Thermal performance measurements and automation
 - 5.2.5 Thermography measurements – solar thermal installation ST
- 5.3 Results and discussions
- 6. Stage 2 – Coupling a photovoltaic generator as an additional source in TESS**
 - 6.1 Materials
 - 6.1.1 PV-assisted microgrid system modification with storage
 - 6.1.2 Electrical to thermal energy conversion system realization
 - 6.1.3 Adsorption chiller integration for heat/cold conversion
 - 6.1.4 PV microgrid controller configuration for TESS storage
 - 6.2 Methods
 - 6.2.1 Mathematical modeling of the improved PV system
 - 6.2.2 Simulation results - determining the total PV energy contribution
 - 6.2.3 Measuring the energy contribution to HVACR
 - 6.2.4 Thermography measurements - Operating regime of PV modules
 - 6.3 Results and discussions
- 7. Conclusions, contributions, and perspectives**
 - 7.1 Final conclusions
 - 7.2 Personal contributions
 - 7.3 Directions and perspectives for continuing research
- 8. Dissemination of scientific results**
- 9. Bibliographic references**
- 10. Annexes**
 - 10.1 Statistical study of the current state
 - 10.2 Initial HVACR hydraulic scheme
 - 10.3 Initial solar thermal hydraulic scheme
 - 10.4 Air-water heat pump hydraulic scheme
 - 10.5 Adsorption chiller hydraulic scheme
 - 10.6 Single-line diagram of the ICSTM electric system
- List of abbreviations and glossary of terms/acronyms
- List of tables
- List of figures

KEYWORDS

Climate control, Solar thermal, Photovoltaic, Thermal storage, Thermodynamics, Hydraulics, Heat transfer, Enthalpy, Entropy, Solar radiation, Pressure, Temperature

INTRODUCTION

The subject addressed falls within the field of mechanical engineering, specifically the hydraulics subdomain. The theme (decarbonizing HVACR thermo-technical systems through coupling with solar generators) is relevant considering the national, European, and international efforts to enhance energy security, reduce dependence on fossil fuels, and, not least, increase the energy efficiency of buildings.

The research opportunity is based on: the existing facilities within the Multidisciplinary Scientific and Technological Research Institute (ICSTM) at Valahia University of Târgoviște; involvement in 4 research, development, and innovation (RDI) projects and institutional development; support from a multidisciplinary research team.

The motivation for pursuing this research theme stems from the desire to ensure a secure and sustainable future for future generations. As a specialist engineer facing current climate challenges, and within the context of European priorities, I intend to contribute scientifically to the current context. The skills acquired as an automation engineer dealing with the optimization of hydraulic systems motivate in-depth research in a current multidisciplinary field.

The goal of the research is to innovate by identifying mechanisms, methods, and techniques for addressing the energy mix in a multi-vectorial manner, within the context of building decarbonization, as identified in specialized studies as one of the main consumers and polluters at the European level.

The fundamental objective of the research is to hydraulically couple additional energy generators (specifically, solar energy conversion systems) to an HVACR system.

RESEARCH STAGES, STRUCTURE OF THE WORK

- Expanding theoretical knowledge on the researched topic: (Chapter 2: Theoretical Aspects Specific to the Research)
- Study of: thermo-technical and hydraulic systems; heat or cold generating aggregates; solar energy conversion systems; mechanisms for transporting and storing thermal fluids. This study is essential for a deep understanding of the interdependencies, constraints, and opportunities among the technical components intended for integration to achieve improved performance in an innovative manner; (Chapter 3: Systems, Aggregates, and Technical Elements Used in the Research)
- Analysis and interpretation of measured data to characterize the existing system as a reference benchmark (baseline); (Chapter 4: Experimental Platform – Case Study ICSTM)
- Modeling integrable systems (solar energy conversion) by developing specific mathematical models used with environmental parameters (climatic values and solar availability) to simulate the thermal input for storage from these generators. This information is extrapolated on a multi-year basis to identify the long-term performance of the system as a whole, aiming to find optimal approaches for experimental development; (Chapters: 5.2.2 Simulation Results – Determining Energy Input, and 6.2.1 Mathematical Modeling of the Enhanced PV System)
- Implementing modifications to hydraulic schemes and energy installations for converting electrical energy (surplus from the PV generator) into thermal energy. This derived objective is achieved in two successive stages with funding from institutional development and innovative research projects; (Chapter 5: Stage 1 – Improving Thermal Solar Transfer Efficiency in TESS and Chapter 6: Stage 2 – Coupling a Photovoltaic Generator as an Additional Source in TESS)
- Comparative analysis of experimental results; measured data from acquisition systems (temperatures, flow rates, pressures, energy values, etc.) interpreted from cause to effect (from the generator to the system’s response measured in the microclimate of the ICSTM building); (Chapter 5: Stage 1 – Improving Thermal Solar Transfer Efficiency in TESS and Chapter 6: Stage 2 – Coupling a Photovoltaic Generator as an Additional Source in TESS)

MAIN RESULTS

Following the reconfiguration of the hydraulic scheme of the solar thermal generator, it has achieved operating parameters and performance levels sufficient to meet the thermal input requirements for air conditioning via fan coil units in a space of 7250 m² with a volume of approximately 29,000 m³ for the spring and autumn seasons.

The coupling of the photovoltaic-assisted microgrid system with electrical storage to the HVACR system provides energy through two mechanisms: it supplies electrical energy for the operation of equipment (mechanical ventilation unit CTA 13,000 m³/h, hydraulic pumps, ceiling fan coil units, and other measurement and control elements); and the surplus photovoltaic electricity is converted into thermal energy that can be stored or reused directly. During night cooling mode (warm season), in conjunction with an adsorption chiller and CTA, a reduction in the average temperature of $\Delta t = 5$ K was achieved.

ELEMENTS OF ORIGINALITY

The multi-vectorial connection of solar conversion generators/sources with an HVACR system is an innovative approach not found in the specialized literature. Such systems/approaches may exist in modern built environments but have not been scientifically studied or measured in operation to determine their performance.

The conversion of surplus electrical energy from a photovoltaic generator is known as a Power to Heat (P2H) system at the commercial product level for residential homes. Typically, these electrical systems use converters to improve product efficiency. The implementation of this P2H mechanism in the ICSTM system was carried out with minimal investment as a proof-of-concept in an HVACR system significantly larger than that of a residential house.

Using renewable energy sources to meet the thermal needs of buildings is impractical for two main reasons: lack of space required for installation (on existing buildings) and initial and maintenance costs. The most common solution in recent years has been the combination of a heat pump with a photovoltaic generator.

Research conducted on the ICSTM experimental platform has highlighted the regimes and scenarios in which this approach can be considered economically and technically viable.

MOTIVATION, CHALLENGES, AND IDENTIFIED NEEDS

In this chapter, a documentary research is presented to establish the motivation, challenges, and identified needs in the studied field.

Topics addressed:

- Global warming
- Buildings – major energy consumers
- National context
- Energy storage solutions

PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH

The research aims to optimize the hydraulic performance of a Heating, Ventilation, Air Conditioning, and Refrigeration (HVACR) system for decarbonization through the use of Thermal Energy Storage Systems (TESS) and the integration of renewable energy sources. The research focuses on the installations and building of the Multidisciplinary Scientific and Technological Research Institute (ICSTM) at Valahia University of Târgoviște (UVTgv).

The studied issue is complex and multidisciplinary. It addresses elements of thermal comfort and resident health, production and storage of thermal energy, solar energy conversion, heat transfer, mechanical ventilation, hydraulic heating systems, thermal energy distribution, efficiency/losses in hydraulic systems, and thermal and acoustic insulation. These aspects are analyzed within the climatic and microclimatic context of a mixed-use building (offices, laboratories, technical spaces) designed according to passive principles (near Zero Energy Building – nZEB), considering the latest performance standards for buildings and quality of life standards.

The goal of the research is to improve the performance of the HVACR system serving ICSTM by connecting it with the experimental solar thermal (ST) and photovoltaic (PV) platforms.

The objectives of the research are:

- To carry out a synthetic bibliographic study regarding the current state of knowledge in the field: Air conditioning systems; Thermal storage systems; Solar thermal systems; Photovoltaic systems;
- To study the constituent elements of the ICSTM experimental platform, analyzing the technical specifications and the hydraulic interactions/interconnections of the systems;
- To experimentally determine the properties, particularities, and performance of the system in the two operating modes: heating / cooling;
- To develop mathematical models with the purpose of simulating long-term solar input in the HVACR system;
- To perform a comparative analysis of the results of experimental determinations and validate them with the results of simulations;
- To assess the impact of solar input on the overall energy balance of HVACR and evaluate CO₂ emissions;

During the course of the research, I worked as a volunteer researcher in 2 nationally funded projects and as an employee in 2 other European R&D projects. These projects provided the funding necessary to achieve the set objectives.

RESEARCH METHODOLOGY

The preliminary results of the research were presented in two progress reports. In one of the progress reports, I analyzed the current state in the fields of: hydraulics, fluid mechanics, the laws of thermodynamics, solar radiation, and solar thermal panels. The reports also included information on the current state and characteristics of HVACR systems, boilers, heat pumps, chillers, pipes and hydraulic circuits, air handling units, and losses at the aggregate and system levels. The study of the current state is summarized in the appendix through a statistical presentation of the documentation carried out on three platforms (databases with scientific information). Over 300 bibliographic references were analyzed in the fields of: fluid mechanics, solar collectors, solar radiation, storage boilers, and HVACR.

Continuing with the doctoral research plan, the third report describes the solar thermal installation with thermal energy storage intended for use as thermal input in the HVACR system serving the ICSTM building (laboratories, offices, dissemination spaces, etc.); a

mechanical description of the solar thermal installation and the description of the system management application via the Resol platform, performance measurements, data interpretation. Additionally, the report describes the modifications made to the system in 2021 to improve performance and eliminate loss factors.

CURRENT STATE OF KNOWLEDGE

The methodology for studying the latest research in the field is based on searching for information using sites that contain books, articles, interviews, etc., for keywords such as: solar radiation, solar thermal panels, heat transfer, HVACR, boilers, and thermal storage systems. The sites used were: ScienceDirect, Academia.edu, and Google Scholar.

The topics addressed in this chapter are:

- Solar radiation,
- Solar thermal panels,
- Heat transfer,
- HVACR systems,
- Storage boilers.

2. THEORETICAL ASPECTS SPECIFIC TO THE RESEARCH

The topics addressed in this chapter are:

- Solar geometry elements (Total incident radiation; Thermodynamics of solar radiation; Annual variability),
- Thermodynamics of solar conversion systems,
- Energy exchange (Mechanical work; Heat; Internal energy; Enthalpy),
- Thermohydraulic transfer (Thermodynamic properties of fluids; Specific weight; Temperature; Thermal conductivity).

3. SYSTEMS, ASSEMBLIES, AND TECHNICAL ELEMENTS USED IN RESEARCH

This study aims to identify the technical issues addressed during the conducted research. Fundamental concepts governing the operation of the equipment used have been examined; however, the study does not cover all construction variants. The goal is to highlight the most important characteristics and relationships between the constituent elements of an HVACR system. The chapter describes air handling units with distribution ducts, pressure losses in ducts, static pressure, dynamic pressure, and total pressure.

3.1 AIR CONDITIONING SYSTEMS (HVACR)

Definition: A thermodynamic system is a region in space or a quantity of matter bounded by a closed surface. The surroundings include everything external to the system, and the system is separated from its surroundings by the system boundaries. These boundaries can be mobile or fixed, real or imaginary. The concepts operating in any thermodynamic system are entropy and energy [Wessel et al. (2001)]. The HVACR system is generally designed according to the specifications of the ASHRAE standard [<https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>].

Abbreviation Convention: In the literature, thermal engineers use the abbreviation HVACR considering refrigeration as an integral part of conditioning. Furthermore, to avoid ambiguity, noting that HVACR is also used as an acronym for High Voltage Alternating Current in the energy sector. In this work, the extended HVACR definition has been used to eliminate any confusion.

Introduction: Heating, ventilation, and air conditioning systems – Figure 3.1 represent 30% of the energy used in commercial buildings and over 50% in residential buildings [Tiwari and Tiwari, 2016].

The principle of the HVACR system includes an air fan, an air-cooling element, an air heating element, an air filter, and additional components such as damper elements and ducts. The air intake is a mixture of air from inside the room and fresh air brought from outside. This air mixture passes through the filter and then through the cooling element, heating element, fan, and is finally introduced into the room. The use of fresh air is necessary to meet ventilation requirements, while recirculated air is used to achieve performance benefits [Felgueiras et al. (2016)].



Figure 3.1 - Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVACR) Systems – Schematic Representation
[<http://www.nostersworld.com/>]

Functions of the HVACR System:

Heating: The process of adding thermal energy (heat) to a building in order to raise or maintain the temperature of the space.

Cooling: The process of removing thermal energy (heat) from a building in order to lower or maintain the temperature of the space.

Humidification: The process of adding water vapor (humidity) to the air in the conditioned space to increase or maintain the air's moisture content [Raman et al. (2020)].

Dehumidification: The process of removing water vapor (humidity) from the air in the conditioned space to lower or maintain the air's moisture content.

Filtration: The process of removing particles (dust, etc.) and biological contaminants (insects, pollen, etc.) from the air delivered to the conditioned space to improve or maintain air quality.

Ventilation: The process of exchanging air between the exterior and the conditioned space to dilute gaseous contaminants in the air and improve or maintain the air's quality, composition, and freshness. Ventilation can be achieved through either natural ventilation or mechanical ventilation. Natural ventilation is driven by natural air currents, such as when opening a window. Mechanical ventilation can be performed using fans to draw air from the outside or fans that expel air from the space to the exterior [Angel, 2012].

Air Movement: The process of circulating and mixing air through the conditioned spaces of the building to ensure adequate ventilation and facilitate thermal energy transfer.

3.2 SOLAR THERMAL SYSTEMS

Solar thermal systems are the most mature technologies available on the market in the field of renewable energy [Linslay, 2015]. The storage of solar energy is crucial for the future success of solar energy. The main issue is the selection of materials with thermo-physical characteristics suitable for storing solar energy in the form of heat. These materials can be divided into two major categories: those that store energy in the form of sensible heat and those that undergo a phase change or physical-chemical modification at a certain temperature within the range provided by solar thermal collectors [Saxena et al. (2015)].

The components of a solar thermal system include: the solar collector, the hot water storage tank, pipes, pumps, control system, valves, solar fluid, heat exchangers, insulating materials for pipes, and the panel mounting support, as shown in Figure 3.13 [Jagadish and Biswas, 2021; Ramlow and Nusz, 2010; Kreider, 1979]. All these components will be discussed in the following chapters to identify the interdependencies and performance of each component of the solar thermal system.

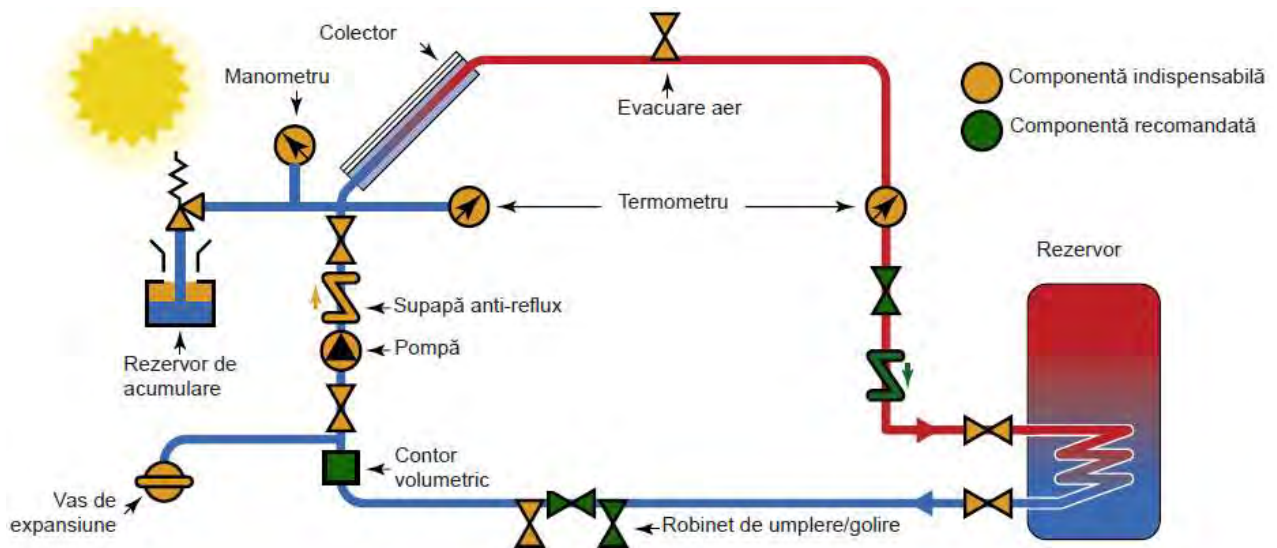


Figure 3.13 - Main Components of the Solar Thermal System with Forced Circulation
[<https://www.calorserv.ro/articole/panouri-solare/sistemul-solar-termic-componente/>]

3.3 TRANSPORT OF HEAT TRANSFER FLUID

3.3.1 Pipes

General Considerations Regarding Thermal Insulation of Pipes

The first significant factor to consider when trying to reduce energy consumption in pipes is the thermal insulation of the building. Understanding the thermal load of a building and its compliance with regulations is essential and, ultimately, will be beneficial in achieving minimal thermal insulation while providing maximum thermal performance. An efficient piping system can significantly alter the thermal loads within buildings [Burgess, 1929].

Some heat losses occur because the temperature of the air in the pipe may not match that of the surrounding ambient air. The heat transfer between the two air masses can result in reduced efficiency and increased energy costs. Additionally, pipes may also pose a risk of condensation due to localized cooling of the air and an increase in relative humidity.

Heat Transfer Through Pipes

The thermal transmittance U can be calculated if the overall heat transfer per unit length/surface area of the pipe and the temperature difference ($^{\circ}\text{C}$) between the air inside the pipe and the ambient air are known [Wijeysundera, 2016]:

$$Qe = \frac{U_r P L}{1000} \left(\frac{te+ti}{2} - ta \right) \quad (76)$$

$$te = \frac{ti(y+1)-2ta}{y-1} \quad ti = \frac{te(y+1)-2ta}{y+1} \quad (77)$$

Where:

y - $(2-AV\rho/UPL)$ for rectangular pipes;

y - $(0,5DL\rho/UL)$ for circular pipes;

L - Pipe length (m);

Qe - Heat variations (+/-) through pipe walls (W);

U_r - Total rate of thermal transfer through pipe walls ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$);

P - Pipe perimeter (mm);

te - In pipe air temperature ($^{\circ}\text{C}$);

ti - Exhausted pipe air temperature ($^{\circ}\text{C}$);

ta - Ambient air temperature ($^{\circ}\text{C}$).

3.3.2 Hydraulic Pumps

There is a wide variety of pumps designed for various specific uses. However, most of them can broadly be classified into two categories: positive displacement and centrifugal. The primary performance variables for any pump are the pump capacity (e.g., liters/min, m³/h, etc.) and the pressure or head that the pump can develop. Head is related to pressure by the expression $h = \Delta P / \rho g$, which involves the fluid density in the system, so a specific head value is unique to a particular fluid. The most significant characteristics of each of these two types of pumps are described below [Moniz and Girdhar, 2004].

Pump Characteristics

The Bernoulli equation applied between the suction inlet and the discharge of a pump is:

$$-w = \frac{\Delta P}{\rho} = gH_p \quad (79)$$

That is, the net energy or work introduced into the fluid by the pump leads to an increase in the fluid pressure or the equivalent head of the pump, H_p . However, since pumps are not 100% efficient, some of the energy transferred from the motor to the pump is dissipated or lost due to frictional forces in the shear forces around the high-speed rotor. It is very difficult to separately characterize this frictional loss, so it is accounted for in the overall pump efficiency, η_e , which is the ratio of useful work (or hydraulic work) done by the pump on the fluid ($-w$) to the work done on the pump by the motor ($-w_m$).

$$\eta_e = \frac{-w}{w_m} \quad (80)$$

The efficiency of a pump depends on the design of the pump and rotor, the size and speed of the rotor, and the operating conditions, and is determined by tests conducted by the pump manufacturer.

Typically, the best pump is the one with the highest efficiency under the specified operating conditions. The required operating conditions, along with knowledge of the pump's efficiency, allow us to determine the necessary size (e.g., brake horsepower [BHP] or [CP] - brake-horsepower) of the drive motor for the pump:

$$H_p = -w_m m \frac{\Delta P Q}{\eta_e} = \frac{\rho g H_p Q}{\eta_e} \quad (81)$$

The power supplied from the motor to the pump is also the product of the torque on the shaft driving the pump (T) and the angular velocity of the shaft (ω):

$$H_p = \Gamma \omega = \frac{\rho g H_p Q}{\eta_e} \quad (82)$$

If it is assumed that the fluid exits the rotor tangentially at the same speed as the rotor, then a balance of angular momentum on the fluid in contact with the rotor results in:

$$\Gamma = m\omega R_i^2 = \rho Q \omega R_i^2 \quad (83)$$

Where R_i is the radius of the rotor, and the angular momentum of the fluid entering the rotor eye has been neglected. By eliminating Γ from Equations (82) and (83), solving for the pump head, H_p , yields:

$$H_p = \frac{\eta_e \omega^2 R_i^2}{g} \quad (84)$$

3.4 AIR HANDLING UNITS, MECHANICAL VENTILATION (AHU)

This type of equipment, with moving parts, is invariably a source of noise, both as impact noise and as airborne noise, due to the vibrations of its constituent components. Figure 3.26 illustrates the operation of the air handling unit.

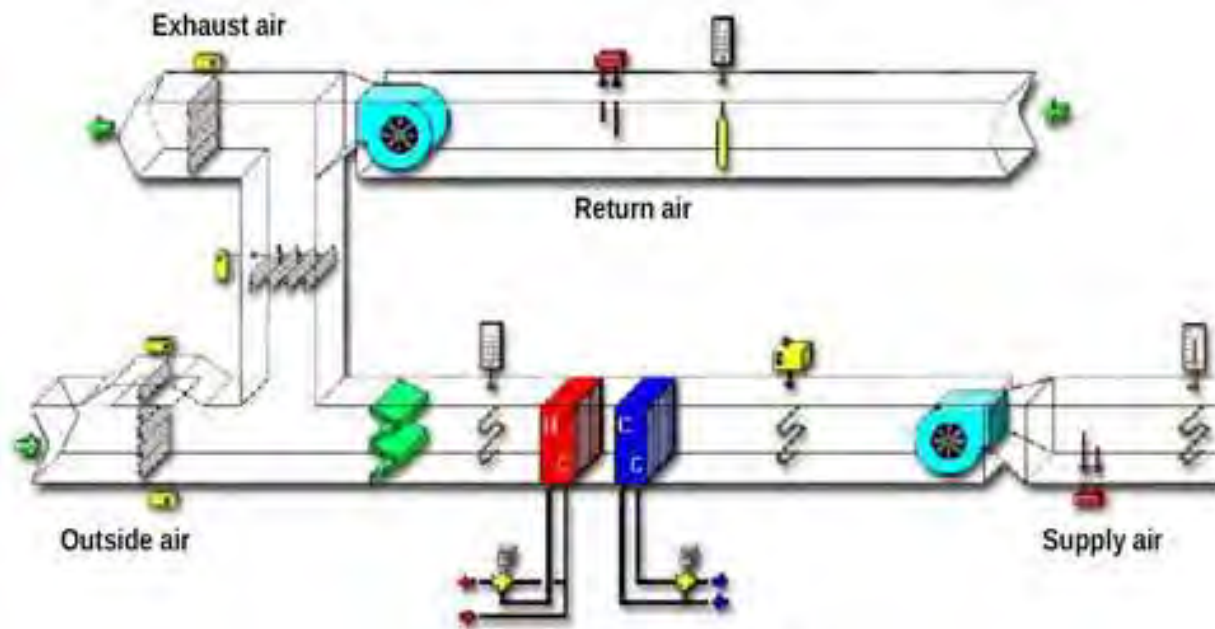


Figure 3.26 - Operation of the Air Handling Unit
[\[https://salexzet.live/product_details/1363546.html\]](https://salexzet.live/product_details/1363546.html)

4. ICSTM EXPERIMENTAL PLATFORM – CASE STUDY

The doctoral study was conducted on the experimental platform of the ICSTM research institute at the Valahia University of Târgoviște. This chapter presents the utilized facilities.

The infrastructure of the ICSTM research institute (building, facilities, experimental platforms) is integrated into the **European Joint Programming Platform of the European Research Area Network in Smart Energy Systems** (JPP ERA-Net SES), with four distinct roles: validation, living lab, testbed, and digital platform provider, as follows:



- VALIDATION NETWORK WITH LIVING LAB AND TESTBEDS

(https://eranet-smartenergysystems.eu/Partners/Living_Labs)

- DIGITAL PLATFORM PROVIDER

(https://eranet-smartenergysystems.eu/Partners/Digital_Platform_Providers)

As a doctoral candidate at Valahia University, I received approval from the management and support from the researchers at ICSTM to access information and systems provided under the JPP ERA-Net SES initiative. At ICSTM, I worked as a volunteer researcher on two national projects and as an employee on two international projects. These activities supported and realized the doctoral research, adding value and enhancing the sustainability of the ICSTM infrastructure.

4.1 MATERIALS

This chapter presents personal contributions in the analysis, synthesis, and interpretation of information studied from the execution projects of the construction and associated installations. Understanding the interconnections, peculiarities, and specifics of the operating regimes of these installations functioning in the ICSTM building was essential for the success of the research.

4.1.1 Characteristics of the ICSTM Building

The Multidisciplinary Scientific and Technological Research Institute (ICSTM) at Valahia University of Târgoviște (UVTgv) contributes to the development and application of sustainable energy technologies, considering the importance of reducing environmental impact and efficient use of natural resources. By promoting renewable energies, the institute aims to contribute to the sustainable development of society and the protection of the surrounding environment. ICSTM is equipped with several thermal-mechanical climate control, energy generation, and storage installations. The building that supports the research infrastructure is constructed using near Zero Energy Building (nZEB) principles.



Figure 4.2 – The ICSTM Research Institute Building

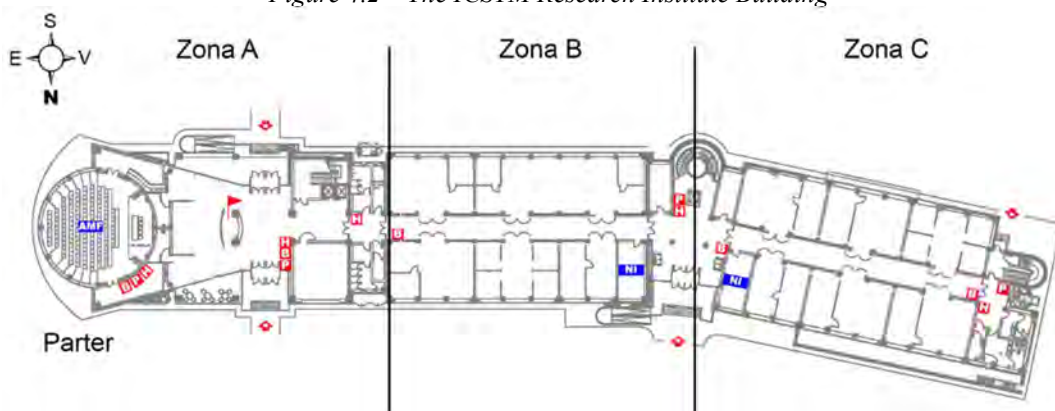


Figure 4.3 – Partitioning and Zoning of ICSTM

HVACR System of ICSTM

Climate Control Installations: Considering the laboratory destinations and their usage, as well as the equipment tailored to the research directions, a climate control system was provided to serve the entire building. This system allows for the exploitation and adjustment of cooling/heating loads in each individually climate-controlled room. The climate control system uses terminal units for conditioning – ceiling-mounted cassette fan coil units. These units operate with chilled water – used as a cooling agent in the warm season, and hot water – used as a thermal agent in the cold season, as well as air processed by the air handling unit. Chilled water is supplied by an outdoor chiller unit equipped with SCROLL compressors (spiral type), evaporators, and eco-friendly refrigerant condensers. The chiller unit includes a water pumping module and all necessary automation and protection systems.

At ICSTM, a hydraulic system with 2 channels and mechanical ventilation operates, which are switched according to the required operating regime. This dual low-temperature system coupled with mechanical ventilation, using an energy recovery unit, provides the most efficient approach for the institute's specific activities.

4.1.2 Heat Source – Natural Gas Boiler

The ICSTM building is served by its own thermal power plant, which produces (using boilers) thermal agent at a nominal temperature of 90°C/70°C for heating, climate control, and preparation of domestic hot water (using a gas boiler). The thermal power plant is located in the building's basement (Figure 4.4) and is individually automated/monitored (according to ISCIR authorization - State Inspectorate for the Supervision of Boilers, Pressure Vessels, and Lifting Installations), supported by integration into the remote management system.



Figure 4.4 – Photograph of the ICSTM Thermal Power Plant Boilers

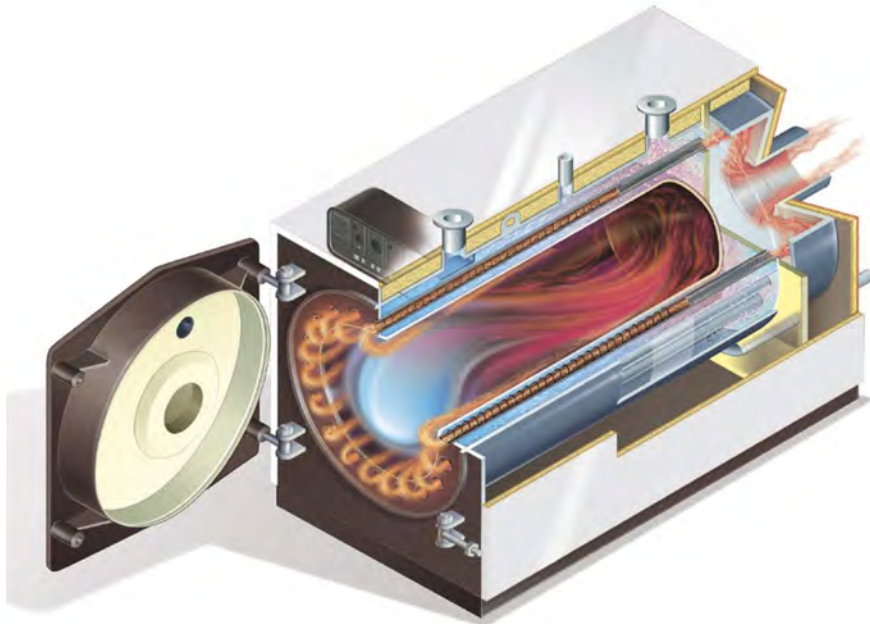


Figure 4.6 – Operating Principle of the ECOMAX Boiler [<https://www.schede-tecniche.it/schede-tecniche-caldaiie/ECOFLAM-scheda-tecnica-caldaia-ECOMAX-3SC-3S.pdf>]

4.1.3 Cooling Source – Heat Pump Operating as a Chiller

The HVACR system serving the ICSTM building is equipped with a chiller unit (Figure 4.9) that supplies water at temperatures of 7°C/12°C, required for the air conditioning system. This unit operates as an air-to-water heat pump of the **Galletti LSE658HS** type.



Figure 4.9 – Galletti Air-to-Water Heat Pump

The unit can also provide part of the heating period. The bivalence point is determined by its operational limits. In this case, the unit is hydraulically separated from the thermal boiler by a plate heat exchanger, and its circuit is charged with glycol at a concentration that allows it to operate down to -10°C. The theoretical maximum bivalence point of the system is -10°C; however, for energy efficiency reasons, the BACS system is programmed to +10°C, or tandem operation. Below the bivalence point, the thermal load is handled by the boiler. The same hydraulic distribution networks are alternately used for the distribution of cold and hot water. Depending on the season, the sector valves on the hot or cold water supply pipes are opened or closed accordingly.

4.1.4 Hot to cold conversion – Adsorption chiller



Figure 4.11 – Adsorption chiller coupled to a heat source

The SorTech eCoo 2.0 adsorption chiller utilizes the waste heat from machines and industrial systems (e.g., cogeneration, solar energy, central or process heating) to produce cost-effective and environmentally friendly cooling energy. In the ICSTM facility, it was installed in the basement to recover heat generated during the summer by the solar thermal system.

Figure 4.11 shows one of the two units connected to the thermal storage system. Each unit has a capacity of 16 kWth and a maximum electrical consumption of 1.8 kWel.

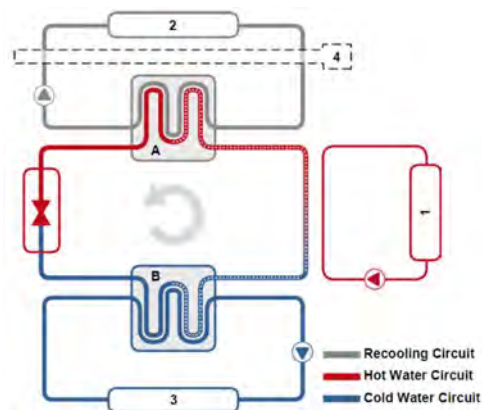


Figure 4.13 – Operating principle of an adsorption chiller [printed manual – experimental platform documentation]

A – condenser

1 – Heat source HT

2 – Re-cooler MT

B – evaporator

3 – Cold output LT

4 – System separation

4.1.5 Photovoltaic (PV) Generator

The ICSTM infrastructure is equipped with an experimental photovoltaic platform serving a dual purpose: support for applied research and energy contribution. It consists of photovoltaic modules installed on the south-facing facade in a BIPV (Building Integrated Photovoltaics) setup and on the building's roof in a BAPV (Building Attached Photovoltaics) setup, as shown in the figure below.



Figure 4.16 – Initial electrical configuration of the PV experimental platform

The photovoltaic system in its initial configuration (Figure 4.16), with an installed capacity of 82 kWp, consisted of the following installations (Table 4.1):

Table 4.1 – PV Platform Configuration for the Period 2016-2021

| Code | Description | Operation mode | Installed power |
|------|--|---|-----------------|
| | BAPV Terrace Fixed Mount 33 Degrees Inclination Azimuth 0 | On-Grid | 33,2 kWp |
| | BIPV South Façade Fixed Mount 60 or 90 Degrees inclination | Microgrid that powered the entire IT infrastructure and data center of ICSTM. This configuration provided a 10-hour autonomy in the event of a power outage from the national grid. | 47,4 kWp |

4.1.6 Solar Thermal Generator (ST)

The solar thermal experimental platform (Figure 4.17) is located on the building's roof and is designed to capture solar energy and use it for heat generation. The installations are utilized in two modes: as a thermal contribution to the HVACR system and for domestic hot water (DHW) preparation.



Figure 4.17 – ICSTM Solar Thermal Experimental Platform

The solar thermal panels for thermal contribution are connected to a Thermal Energy Storage System (TESS) located in the building's basement, consisting of three 1000-liter tanks. TESS is used to store hot water, which serves as the thermal agent in the HVACR system of the ICSTM building. The thermal energy captured from the sun by the collectors is transferred to the water in the storage tanks through double serpentine coils. The system configuration allows for energy input to the tanks in various modes, tailored to specific needs and conditions.

The utilization of stored thermal energy depends on the season and the building's heating or cooling requirements. During the winter season, the stored hot water energy is used directly for heating the building through the HVACR system. Conversely, in the summer season, the stored energy is utilized indirectly through two adsorption chillers. These units convert hot water from temperatures between 50-85°C into cold water with temperatures ranging from 7-12°C. The chilled water is then distributed in the HVACR system to ensure climate control of the building.

4.1.7 Thermal Energy Storage System (TESS)

In the initial hydraulic scheme, the Thermal Energy Storage System (TESS) served a dual purpose: on one hand, it provided an energy buffer for the HVACR system, and on the other hand, it facilitated the integration of the solar thermal system. TESS consists of three Ferroli FB-2 1000 tanks, each with a capacity of 1000 liters, and two heat exchange serpentine coils. Each tank's serpentine coil was connected to a separate solar hydraulic circuit. The operating pressure of the storage tank is 3 bars.

The hydraulic connection of the three tanks was made according to the initial scheme in parallel for consumption, with directional exchanges towards two other hydraulic circuits, and individually connected directly to the solar charging circuits for thermal charging. Flow meters and temperature sensors, configured as calorimeters, were provided for each tank.

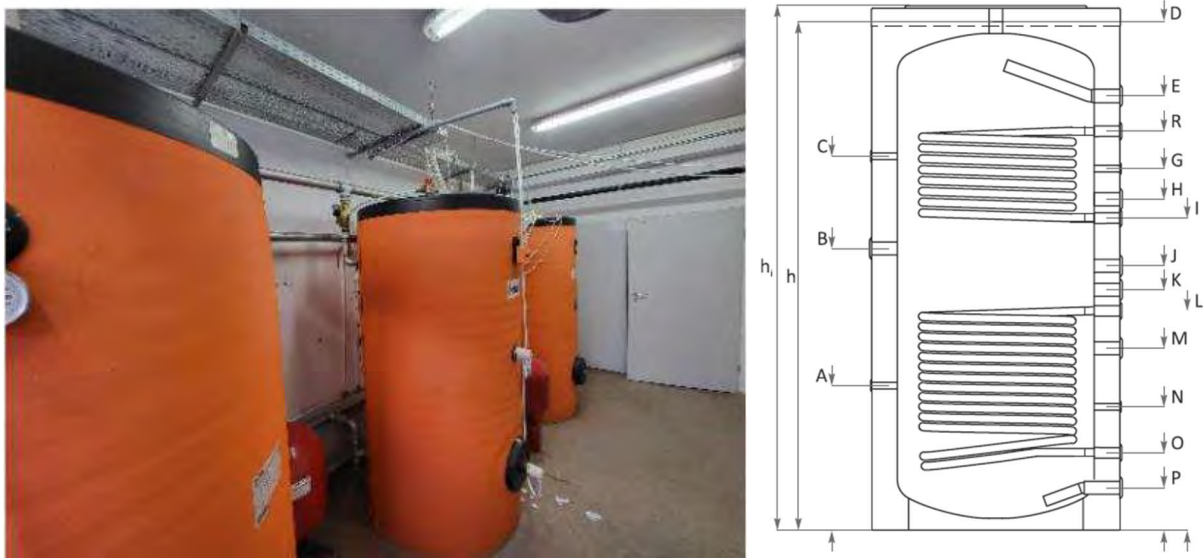


Figure 4.20 – Thermal Energy Storage System (TESS)

4.1.8 Hydraulic System – Thermal-Technical Diagram

The implemented system serves the HVACR installation, and all thermal energy stored in TESS can be utilized by the consumption circuits for fan coil units and ventilation units. The thermal-hydraulic installation's role is to maintain the appropriate temperature within the building. ICSTM has a usable area of 7,200 m² and a volume of approximately 29,000 m³. Figure 4.21 highlights the connection points between the distribution system and the TESS system.



Figure 4.21 – Hydraulic Distribution System of ICSTM

The air conditioning and heating circuits with static bodies are equipped with 3-way valves for adjusting thermal agent parameters according to consumer requirements as follows:

- For the heating circuit, the temperature of the thermal agent is adjusted based on the outdoor temperature, according to the adjustment graph in the electronic regulator's memory.
- For the air conditioning circuits, the thermal agent temperature is pre-adjusted to a value between 70°C and 50°C.

The temperature adjustment of the thermal agent in the air conditioning circuits is complemented by local adjustment at each piece of equipment via the 3-way valves provided or thermostatic radiator valves.

4.1.9 Mechanical Ventilation System (AHU)

To ensure air quality and energy efficiency, the ICSTM building is equipped with a mechanical ventilation system. Energy-efficient air handling, optimized for specific requirements, is one of the most crucial aspects of building technology planning. The operational costs of the building are largely influenced by this factor. Most people spend 90% of their time indoors. Consequently, modern climate quality is essential for human comfort and health. At the same time, user sensitivity to air quality increases, and importance is placed on avoiding the adverse effects of buildings on people (sick building syndrome). Since the 1980s, the so-called sick building syndrome has been extensively analyzed, with frequent evidence of physical discomfort negatively affecting health.



Figure 4.21 – Air Handling Unit (AHU)

Air is treated separately in the air handling units (AHUs) installed in the basement of the building. There are three such units, each with a capacity of 13,000 m³/h. One unit serves the entire building with all its functions. The second unit is dedicated to a group of nine laboratories where laminar flow hoods are used to supplement the air extracted by these hoods. The third unit serves the auditorium. The AHUs operate with heat recovery from the exhaust air and consist of segments with distinct functions.

4.1.10 Building Automation, Control, and Monitoring System (BACS)

There are several similar terms used to refer to building automation, such as Building Management System (BMS), Building Control System (BCS), and Building Automation System (BAS). However, BACS is the standard term as defined by EN ISO 16484-2:2004 Building Automation and Control Systems (BACS) - Part 2: Hardware, 3.31.

At ICSTM, this system is based on industrial PLC controllers and operates all building installations (hot/cold water generation, HVACR, lighting, alarm systems, etc.), monitoring and measuring loads, and can automate programmed scenarios adjusted for ambient temperature.

The BACS system at ICSTM integrates all the tasks mentioned above through industrial protocols and common controls. Several other systems are also integrated to obtain status and provide functionalities (e.g., RFID access control, IP video surveillance, fire and burglary alarms, perimeter drainage monitoring).

The system is designed to ensure the health and safety of individuals, along with providing preventive and proactive maintenance, as well as damage prevention. High-risk research and development activities have been planned by installing equipment that does not use hazardous materials or gases. Laboratories with potential hazards are monitored by specialized sensors (C_2H_2 , H_2 , N_2 , CO).

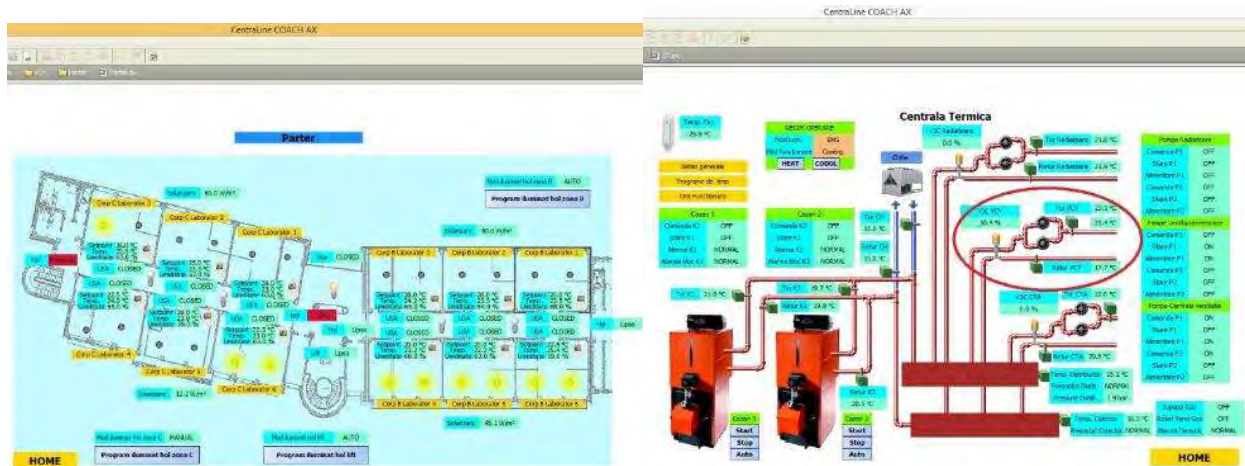


Figure 4.30 – BACS Monitoring Screens Left: Overview of the system at the ground floor; Right: Hot/cold distribution at the level of the thermal central unit

4.2 METHODS

During the experimental phase, various studies, analyses, and measurements/interpretations were performed to define the actual situation at the start of the doctoral stage. This chapter presents all the aspects initially analyzed for comparative discussions of the solutions implemented in stages 1 and 2. The study of ICSTM installations was conducted based on existing documentation: technical memoranda, technical data sheets, and drawings:

- Construction project of ICSTM prepared by SC Princer SA (PT+DE phase) No. 1806/2011
- Solar thermal experimental platform project prepared by URBIO SRL No. IR-2-07-TD-15/ 2014
- Photovoltaic experimental platform project prepared by URBIO SRL No. IR-VA-2-07-EC-18/ 2018, corrected by Enerray SRL and modified by ICSTM specifications 2021.

4.2.1 Thermal Calculations – Loads and Sizing

This chapter synthesizes information (areas, volumes, powers, energy values) used in the mathematical modeling of systems (see sections: 5.2.1 - Thermal characterization and mathematical modeling and 6.2.1 Mathematical modeling of the improved PV system). The information presented below is reproduced from project PRINCER SA 1806/2011.

Table 4.6 – Total volumes of ICSTM by heating system type used

| NET AREA | VOLUME |
|-------------------------------------|--|
| LT=3314,0 m ² | 13256 m ³ |
| HT=1671,5 m ² | 6686 m ³ |
| Without HVACR = 11,2 m ² | |
| Total = 4996,7 m ² | 19942 m ³ (without basement HT) |

The thermal loads considered in the calculation are:

- heating circuit with static radiators $Q_i = 232,000 \text{ kcal/h}$
- supply circuit for AHU battery $Q_v = 554.700 \text{ kcal/h}$
- supply circuit for fan coil units $Q_c = 987.000 \text{ kcal/h}$
- supply circuit for the hot water heater $Q_{dhw} = 500 \text{ l} \times (60-10) = 25.000 \text{ kcal/h}$

TOTAL Q 1.798.700 kcal/h

losses in networks 5%: 90.300 kcal/h

Total Q_T = 1.889.000 kcal/h = 2.192 kw

4.2.2 Energy Mix Evaluation

Regarding the energy mix used in the ICSTM building, two main types of resources are observed: natural gas and electricity. In addition to natural gas and electricity consumption, the research activities conducted in the building also involve other technical support elements. These include: an ultra-pure water production station, nitrogen and oxygen generators, and chemical water contamination neutralization systems. The quantification of electricity consumption for the HVACR system is detailed in Chapter 4.1.1, Building Characteristics of ICSTM.

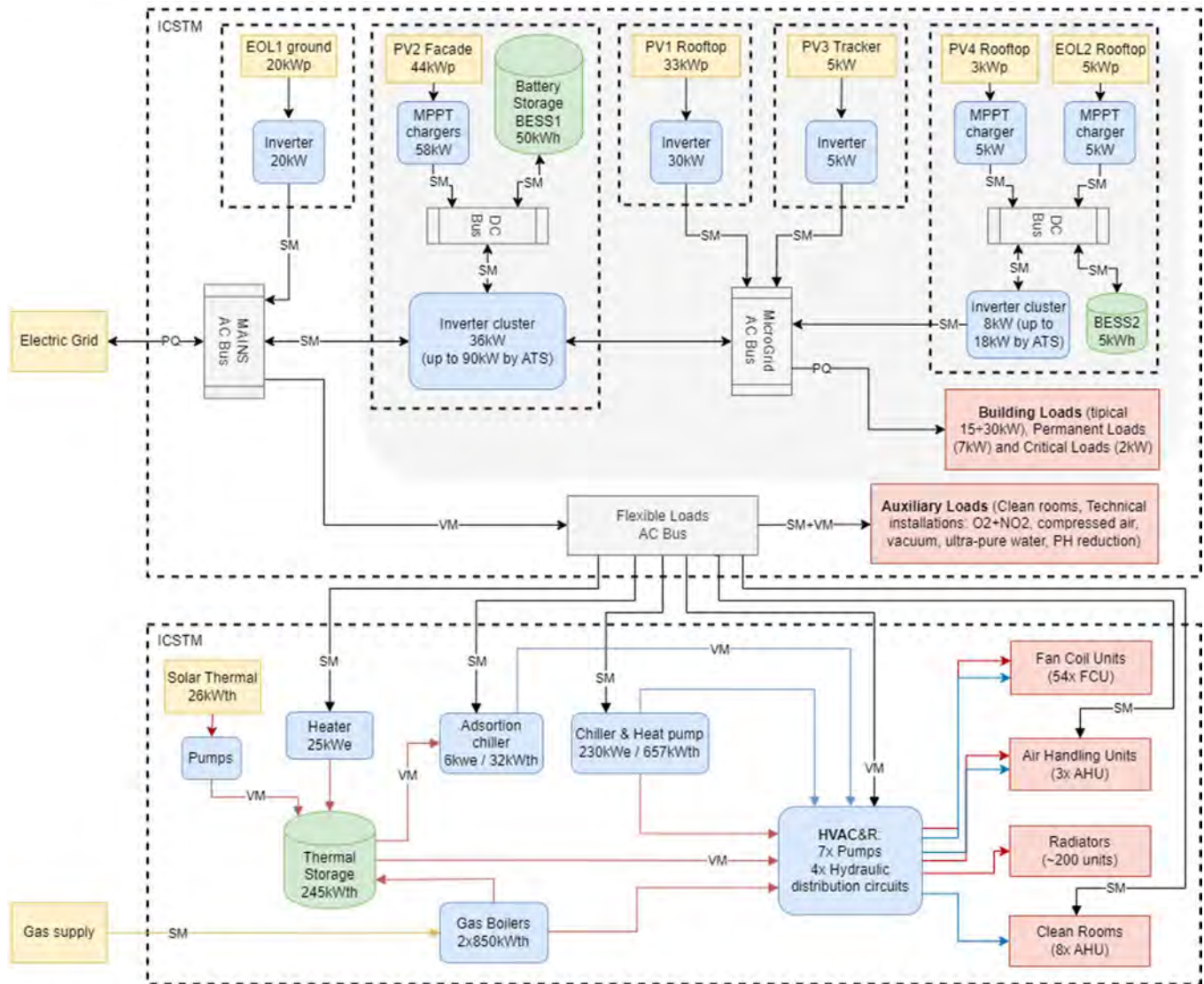


Figure 4.31 – Energy system block diagram of ICSTM (Multi-Vector Representation)

4.2.3 Measurement of the ST System Performance (Reference and Interpretations)

The available dataset for analysis and interpretation contains records for 31 parameters with a resolution of 1 minute, starting from an initial record on 15.10.2014. These are saved in .txt files daily on the SD (flash memory) card of the controller or sent via FTP (File Transfer Protocol) to a backup server in the form of .csv files with a resolution of 5 minutes, saved monthly. Both data resolution variants are available, with the observation that the FTP backup system was activated in February 2016. The long-term storage mechanism for measured values was also integrated with the cloud services of the controller manufacturer, Resol. The cloud platform account is not paid, and data retention functions for free accounts are not guaranteed. However, the VBus.net platform from Resol retains measured values and provides capabilities for interpreting them in comparative reports and configurable time intervals. In the following, I have chosen different methods for interpreting the data: either directly from the online cloud platform or from locally stored files processed in Excel, as deemed more relevant or convenient based on the required display resolution.

| Module / Device | Name | Unit |
|------------------------------|----------------------|------------------|
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S1 Col T12 | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S2 Stor T12 dw | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S4 Stor T7 dw | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S5 Stor PL dw | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S6 Col PL | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S7 Col T7 | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S8 Stor T12 up | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S9 Stor T7 up | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S10 Stor PL up | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S11 Dist Tur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | S12 Dist ReTur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | CS10 RAD | W/m ² |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Stor T12 ReTurTemp | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Stor PL ReTurTemp | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Stor T7 ReTurTemp | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | T12 Presure | bar |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | PL Presure | bar |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | T7 Presure | bar |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Pump speed T12 | % |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Pump speed T7 | % |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Pump speed PL | % |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Flow rate T12 | l/h |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Flow rate T7 | l/h |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | Flow rate PL | l/h |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | System date | |
| VBus 0: DeltaSol MX [Regler] | T12 energy | kWh |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S1em Ambient | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S2em Col TS | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S5em CoGen Tur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S6em CoGen ReTur | °C |
| VBus 0: DeltaSol MX [Module] | S4em CoGen Recooling | °C |

Figure 4.32 – Mapping of the values measured by the solar thermal system controller – initial hydraulic schema

4.2.4 Evaluation of thermal behavior – Thermography

To determine the thermal behavior during the operation of the building, solar thermal panels, and PV modules, a drone equipped with a thermographic camera was used.

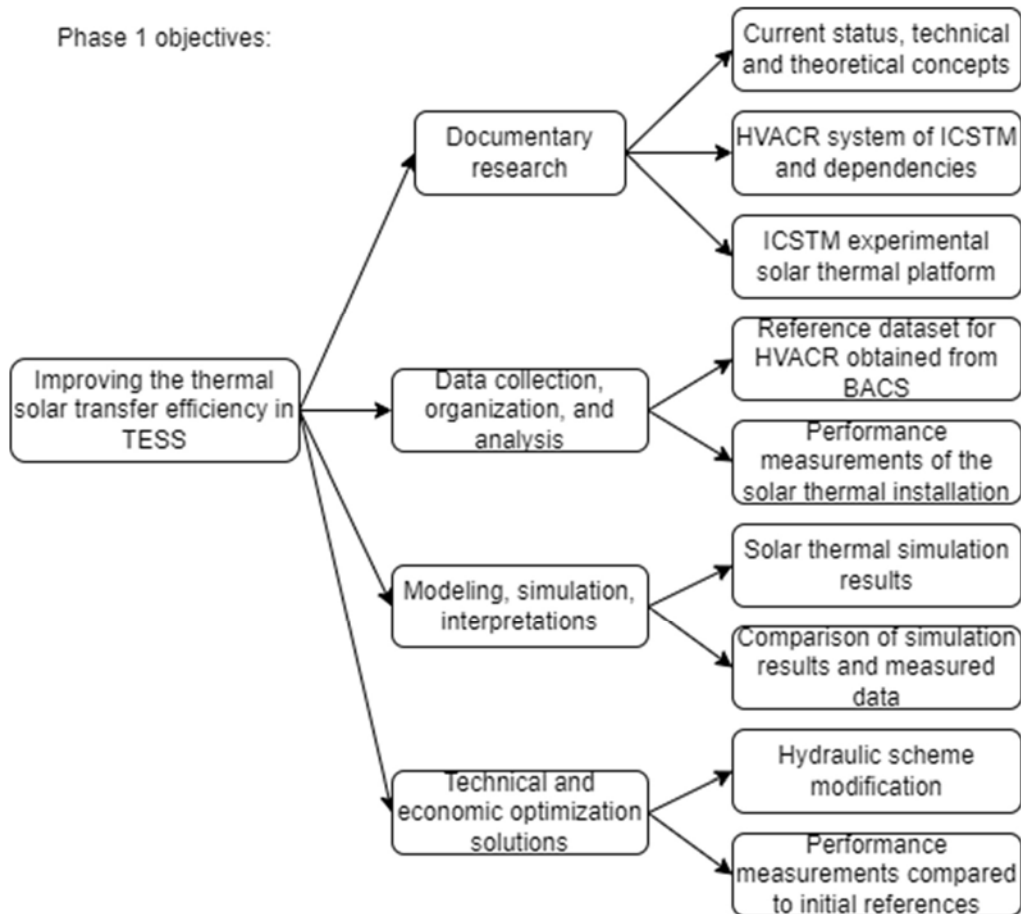
The drone used for measurements is a high-performance professional model, designed for precise hovering control. To obtain clear images and accurately measure temperature at a point or on a surface, the drone is equipped with a gimbal stabilization device for the optical block. The imaging module also includes a highly accurate laser telemetry sensor that measures the distance from the lens to the measured target. Temperature calculations at a point or on a surface are performed automatically by the equipment's software, and the accuracy of the measurements largely depends on the emissivity coefficients and precise determination of the distance between the lens and the measurement point. Since the IR detector is not high-speed or ultra-precise (with physical dimensions and weight being significant constraints for flight), the drone operator must maneuver slowly to avoid image diffusion. Measurements taken on ICSTM's experimental platforms did not require special conditions due to the small surface areas. These measurements were generally performed from a stationary position. Figure 4.53 shows the drone's control panel used during flight.



Figure 4.53 – Piloting and collecting thermal data

5. Stage 1 – IMPROVING THE THERMAL SOLAR TRANSFER EFFICIENCY IN TESS

Following the study of the HVACR system and the solar thermal experimental platform in the ICSTM institute building (Chapter 4), to achieve the research objective, which is to hydraulically couple additional energy generators to the HVACR system, the following specific objectives were defined:



In this chapter, all the steps taken to improve the thermal transfer efficiency of the solar thermal installation are described, starting with the work performed (Chapter 5.1 Materials) and continuing with the explanation of the methodology used (Chapter 5.2 Methods). Another important aspect achieved in this phase is the reconfiguration of the storage buffers in the basement (individually used in the initial hydraulic scheme) into a TESS-type (Thermal Energy Storage System) storage system that can be controlled as a single unit composed of the 3 initial buffers. This aspect provides increased flexibility and efficiency in utilizing the energy stored in the TESS as a heat source for

5.1 MATERIALS

Based on the chosen methodology for conducting the research (described in Chapter 1.2 Objectives and Purpose of the Research) and the conducted studies (described in Chapter 4.2 Methods), several measures and improvement proposals for the solar thermal transfer efficiency emerged. These considered, as a pivotal factor, the reuse of functional and existing elements, as well as the reactivation of 2 thermal transfer buffers (recovered from an older installation, Figure 5.1). The necessary work for the reconstruction of the experimental platform was funded by national projects in which I participated as a volunteer researcher. Within the Horizon 2020 E-Land project, I was part of the research team and participated in the integration of the solar thermal installation, aiming to improve the system's efficiency and adapt the technical solution for use in the project.



Figure 5.1 – Space arranged for the new solar thermal installation

5.1.1 Modifications to the solar circuit and pump group

5.1.2 Installation of thermal transfer buffer on the solar hydraulic circuits

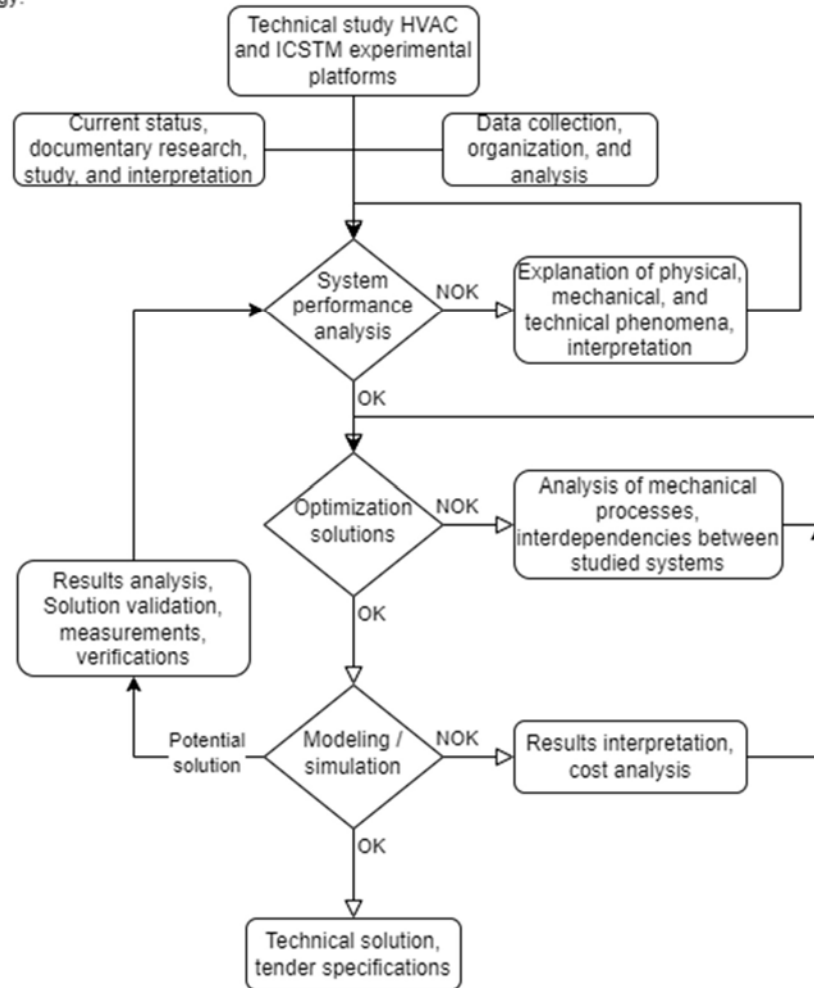
5.1.3 Implementation of TESS thermal loading circuit

5.1.4 Modification of the data acquisition system of the solar thermal installation

5.2 METHODS

This chapter presents the methods by which the objective of improving the thermal transfer efficiency of the experimental solar thermal platform was achieved. The methodology used is described in the diagram below.

Phase 1 methodology:



The obtained technical solution was concretized in a specification sheet accompanied by a bill of materials used in the public procurement procedure for the execution of hydraulic works. The cost of the works was covered by funds available through the national institutional development project FDI 2020, project code CNFIS-FDI-2020-0397, project title: Performance and Excellence in Multidisciplinary Research - PerExcel.

Following the execution of the works, with the help of the research team involved in the Horizon 2020 project (funded by European funds) titled (translated): Integrated Multi-Vector Management System for Energy Islands - E-Land, contract GA 824388; the solar thermal platform was

integrated. These works consisted of reconfiguring the strong and weak current pathways, programming the controllers, and establishing communications between the monitoring systems. Thus, the experimental solar thermal platform was connected to the EMS energy management system developed through the project. Performance data (power and energy generated/stored) are available in real-time to the project partners for the execution of algorithms serving multi-vector optimization scenarios (more information at <https://doi.org/10.3030/824388>).

5.2.1 Thermal characterization and mathematical modeling

5.2.2 Simulation results - determination of energy input

5.2.3 Hydraulic scheme optimization

5.2.4 Thermal performance measurements and automation

5.2.5 Thermographic measurements – solar thermal installation ST

5.2.5 Măsurători termoviziune – instalația termosolară ST

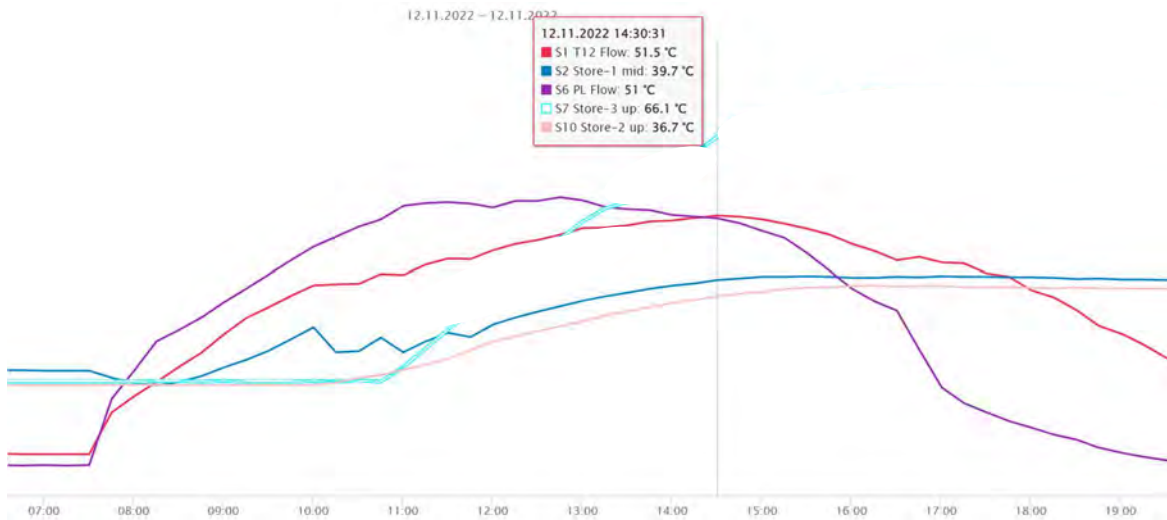


Figure 5.29 – Maximum stored point from solar-thermal 36.7°C

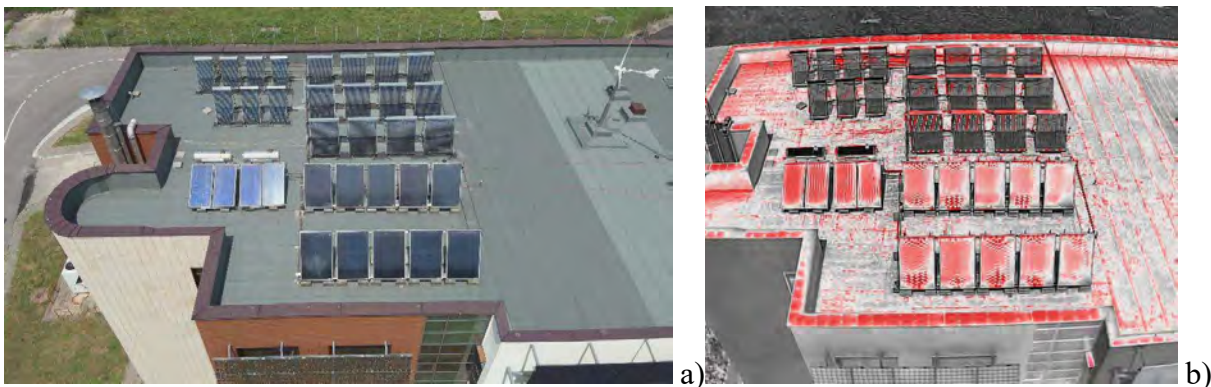


Figure 5.30 – Solar thermal platform: a) visible spectrum image, b) IR spectrum image

5.3 RESULTS AND DISCUSSIONS

The results of the energy flow measurements and their impact on the thermodynamics of the TESS storage system:

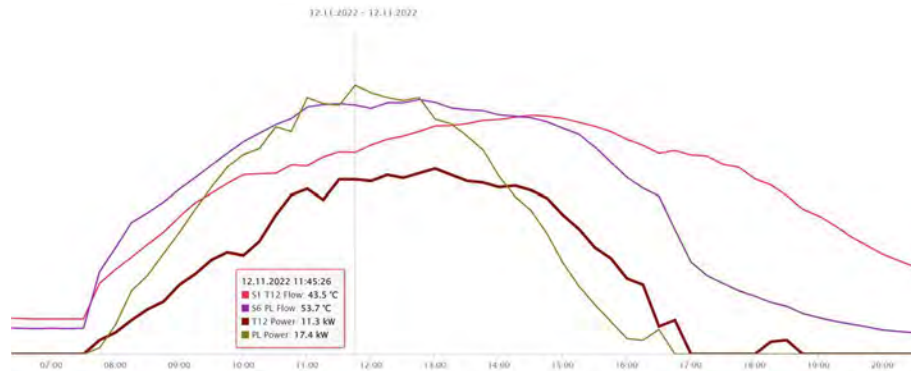


Figure 5.37 – Peak production from flat collectors 17.4kW / 53.7°C

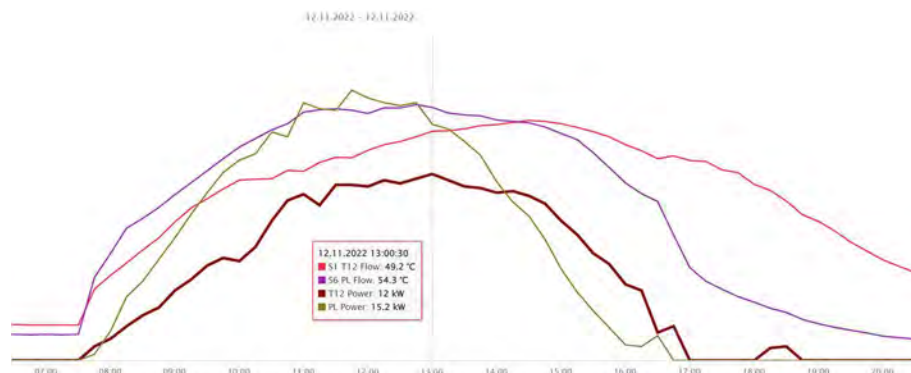


Figure 5.38 – Peak production from evacuated tube collectors 12kW / 49.2°C

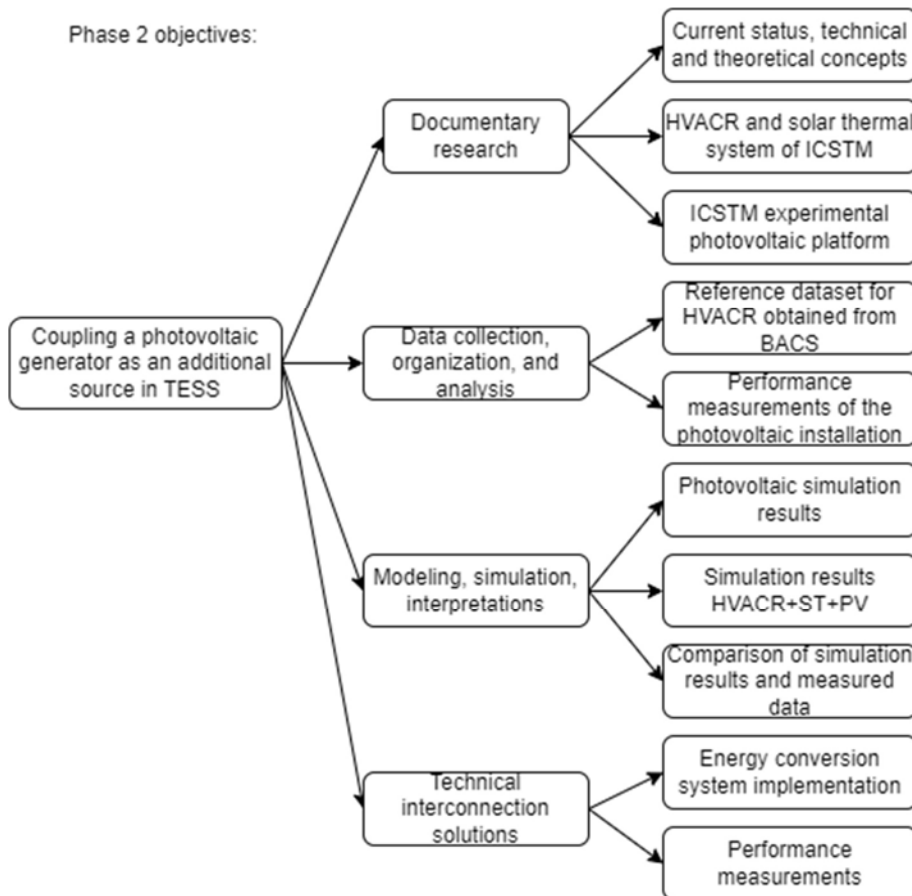
Following the reconfiguration of the hydraulic scheme of the solar thermal generator, it reached operating parameters and performance levels sufficient to support the thermal input needed for climate control via fan coil units in a space of 7250m² with a volume of approximately 29000m³ during the spring and autumn seasons.

The multi-vectorial connection of solar generators/conversion sources with an HVACR system is an innovative approach that has not been found in the review of the specialized literature. Such systems/approaches likely exist in the modern built environment but have not been scientifically studied or measured in operation to determine their performance.

Using renewable energy sources to meet the thermal requirements of buildings is not practical for two main reasons: the lack of necessary space for their installation (on existing constructions) and the initial and maintenance costs. The most commonly encountered solution in recent years is the combination of a heat pump with a photovoltaic generator.

6. Stage 2 – COUPLING A PHOTOVOLTAIC GENERATOR AS AN ADDITIONAL SOURCE IN TESS

Considering the results presented in Chapter 4.2.2 Evaluation of the energy mix, the potential contribution of energy exported to the National Energy System (SEN) for internal use in TESS was studied based on mathematical modeling and simulations of the PV and HVACR systems. The plan of the pursued objectives is presented in the diagram:



In this chapter, all the stages undertaken to couple the photovoltaic generator to the TESS thermal storage system are described, as well as the results of modeling the photovoltaic experimental platform and its coupling with the solar thermal platform to the HVACR system of ICSTM. The two models were created using specialized software: PV*SOL for the photovoltaic platform and GeoT*SOL for the HVACR system coupled with TESS and solar thermal. The software is available in a 30-day trial version from the manufacturer Valentin Software GmbH. The dataset values used in both models to simulate the performance of the systems were extracted from the monitoring systems of the experimental platforms and the BACS monitoring system of the ICSTM building.

6.1 MATERIALS

This chapter presents the modifications made to the PV experimental platform at ICSTM during the European H2020 E-LAND project. These modifications were necessary to interconnect the microgrid installation with the newly created EMS system through the project. To convert the surplus electrical energy generated by the PV system, the three buffers of the TESS system were converted into boilers by installing electric resistances. Finally, the controller of the microgrid system, coupled with PV and electrical storage, was configured to discharge the surplus generated energy into the TESS system.

6.1.1 Modification of the microgrid system with PV-assisted storage

6.1.2 Implementation of an electric-to-thermal energy conversion system

6.1.3 Integration of an adsorption chiller for heat/cool conversion

6.1.4 Configuration of the PV microgrid controller for TESS storage



Figure 6.2 – Microgrid System: a) initial; b) current, after 2021

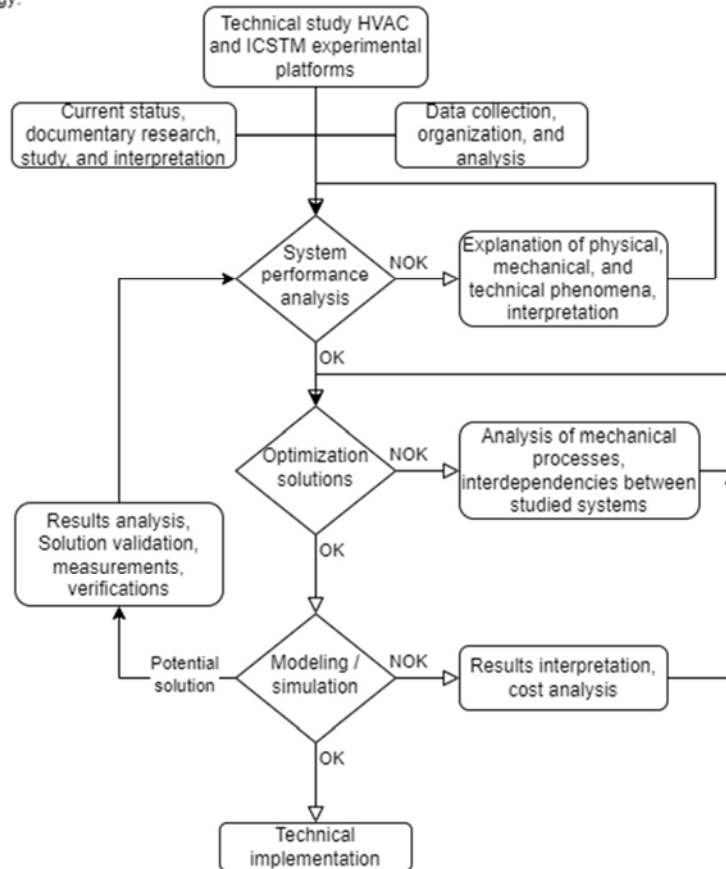


Figure 6.5 – Installation of resistances on the boiler

6.2 METHODS

This chapter describes the methodology and methods for achieving the objective of coupling the experimental photovoltaic platform as an additional energy source to the TESS system (as shown in the diagram below) with the help of the modifications described in the previous chapter.

Phase 2 methodology:



The methods are based on the preliminary studies and determinations presented in Chapter 4.2, supplemented by the specific modeling of the experimental photovoltaic platform, as well as the modeling of the entire HVACR system coupled with TESS storage and two additional renewable energy sources: solar thermal and photovoltaic. The simulation results are presented and compared with the values measured by the data acquisition (monitoring) systems specific to each studied installation.

6.2.1 Mathematical modeling of the improved PV system

6.2.2 Simulation results - determination of total PV energy contribution

6.2.3 Measurement of energy contribution to HVACR

6.2.4 Thermographic measurements - Operating regime of the PV modules

6.3 RESULTS AND DISCUSSIONS

The coupling of the photovoltaic-assisted microgrid installation with electrical storage to the HVACR system provides energy contribution through two mechanisms: it supplies electrical energy for the operation of equipment (mechanical ventilation unit CTA 13000m³/h, hydraulic pumps, cassette fan coil units, and other measurement and control elements); and the surplus photovoltaic electrical energy produced is converted into storable or directly reusable thermal energy. In the coupling for the night cooling regime (warm season) together with an adsorption chiller and the CTA, a reduction in the average temperature by $\Delta t=5k$ was achieved.

The multi-vectorial connection of solar generators/conversion sources with an HVACR system is an innovative approach that has not been found in the specialized literature. Such systems/approaches likely exist in the modern built environment but have not been scientifically studied or measured in operation to determine their performance.

The conversion of the surplus electrical energy of a photovoltaic generator is found under the name Power to Heat (P2H) system at the commercial product level dedicated to residential homes. Typically, these electrical systems benefit from converters to improve product efficiency. The implementation of this P2H mechanism in the ICSTM system was executed with minimal investment as a proof-of-concept in an HVACR system exponentially larger than that of a house.

The P2H system is a solution for storing the energy of a photovoltaic generator without electrical storage capacity, by converting the surplus electrical energy into thermal energy. This work did not aim to analyze the efficiency of this solution correlated with the natural gas source, however, we can state that the conversion efficiency is 1:1 (1kWhel to 1kWhth). Losses can occur if the power circuit is not correctly dimensioned or if the storage boilers are not properly insulated. The P2H system currently performs the primary function of converting electrical energy into thermal energy. However, to improve its efficiency, granular control of electrical energy discharge is necessary to avoid impacting the building's overall electrical balance in consumption mode. Thus, the system was executed with independent control on the boilers to have the multiplicative capacity to activate their charging selectively. This aspect leaves room for future trends to improve P2H performance.

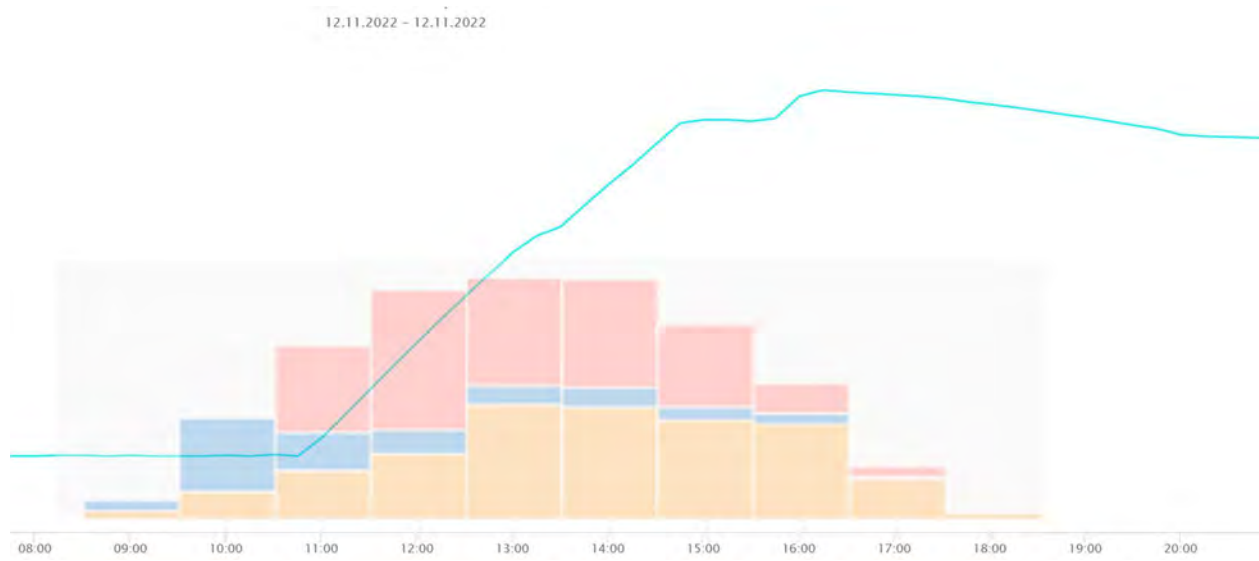


Figure 6.22 – P2H conversion analysis - electrical energy stored as thermal energy
(red = PV surplus, blue = electrical storage, yellow = electrical consumption)

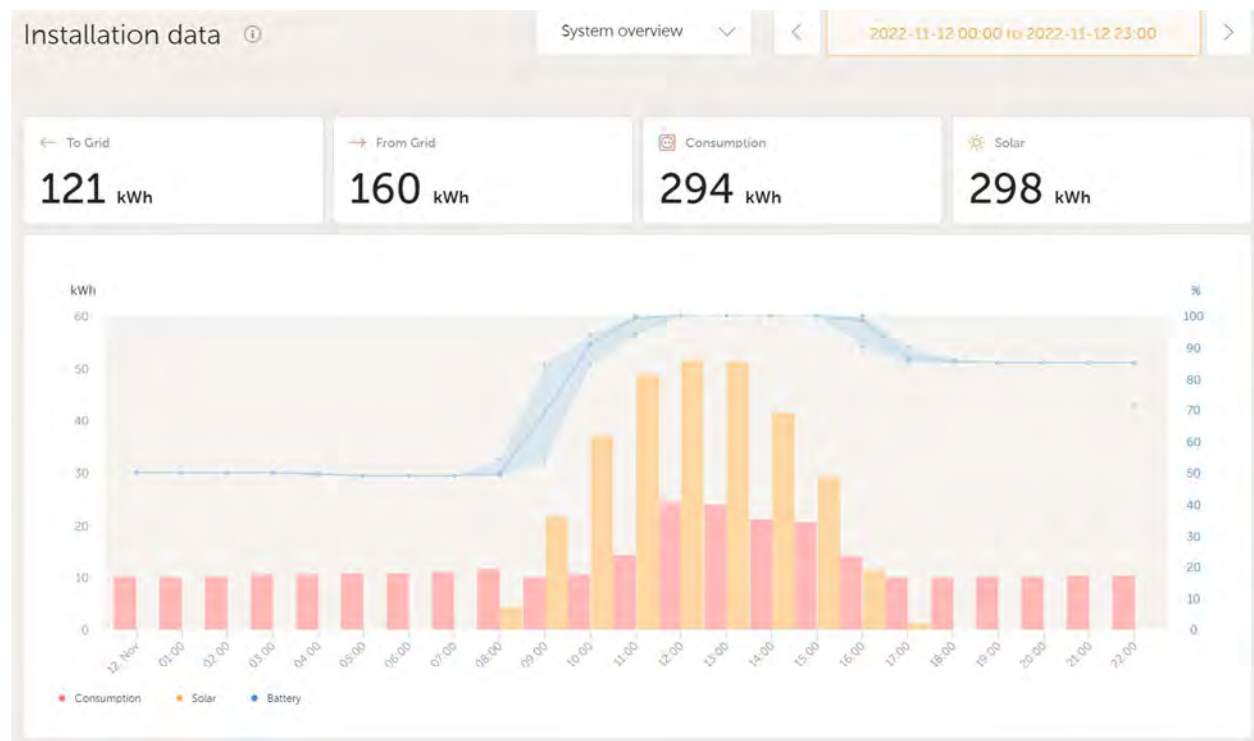


Figure 6.23 – Operation of photovoltaic microgrid with storage

7. CONCLUSIONS, CONTRIBUTIONS, AND PERSPECTIVES

7.1 FINAL CONCLUSIONS

Thermal storage coupled with HVAC has major benefits in reducing greenhouse gases (GHG) by decreasing natural gas consumption and, consequently, the emissions produced by its combustion. However, thermal storage in water is not long-term; the energy can be used (depending on consumption) for approximately ~3 days in domestic hot water mode and for 1 day in thermal input mode for climate control.

The analyzed case study represents an operational regime commonly encountered in the industry, and the coupling of the two generators (solar thermal and photovoltaic) is a demonstrated and innovative solution that effectively meets the needs of ICSTM.

The co-generation coupling of multiple energy vectors is a current trend in improving the energy efficiency of buildings. At the same time, from the studies of the current state in the field, it has been found that the interest in thermal energy storage for day-to-day use in building heating is increasingly high.

7.2 PERSONAL CONTRIBUTIONS

Being employed as a Ph.D. student in the Horizon 2020 research project (European funding) titled "Integrated multi-vector management system for Energy isLANDs " E-Land GA 824388, I had the opportunity to actively participate in the thermo-mechanical topics/activities addressed in the project. The research and development activity carried out alongside the researchers of the ICSTM (Institute of Multidisciplinary Scientific and Technological Research) within the Valahia University of Târgoviște represents both a contribution to the aforementioned project and the foundation of the doctoral thesis.

Among my personal contributions, I can enumerate:

- Analysis of the thermo-hydraulic HVACR system within ICSTM;
- Analysis of the functional state of the existing experimental solar thermal installation in ICSTM and its intended exploitation within the H2020 project;
- Analysis of the thermal energy performance coefficients from the data measured between 2014 and 2021;

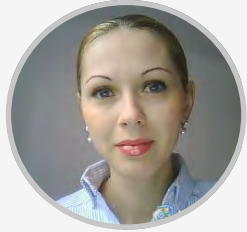
- Analysis of the hydraulic interface (thermal transfer) between the generation system, storage system, and thermal agent distribution system;
- Modeling and simulation of the solar thermal system for comparative analysis of simulated results vs. measured results, with the aim of identifying methods for optimization and efficiency improvement in the studied scenario adapted to specific needs;
- Proposal of technical solutions for improving the solar thermal installation, reusing components, and minimizing costs;
- Development of efficient and economical technical solutions for reactivating the solar thermal installation and achieving the parameters required for exploitation in the H2020 project;
- Preparation of specifications necessary for the procurement of services and materials for system reconfiguration (activity funded by the national project "Institutional Development Funds" FDI);
- Development of efficient solutions for reconfiguring the thermo-hydraulic pathways of the solar thermal installation;
- Development of new hydraulic interfaces with the thermo-technical systems of ICSTM;
- Reconfiguration of control and monitoring systems (activity carried out with the support of ICSTM researchers);
- Contributions to the expansion and improvement of energy performance by connecting new renewable sources (excess electrical energy from the photovoltaic generator).

7.3 DIRECTIONS AND PERSPECTIVES FOR CONTINUING RESEARCH

The studies and works carried out in the doctoral research activity alongside colleagues from ICSTM open new perspectives in approaching the energy mix in large buildings. These multi-vectorial studies help the scientific community to identify new opportunities and research directions. This paper demonstrated an innovative approach to an improved mechanical process. The perspectives for driving these processes towards new performances and functionalities are significant, as highlighted in the conclusions chapter. Based on these considerations, new directions can be proposed, through new investments, to ensure the sustainability of the ICSTM infrastructure.

DISSEMINATION OF SCIENTIFIC RESULTS

- **Andreea-Mihaela Leț** , Viviana Filip, Ioan Alin Bucurica, Simona Mihai, Dorin Dacian Leț, APPLIED THERMODYNAMIC ANALYSIS IN SOLAR THERMAL SYSTEMS PERFORMANCE ASSESSMENT, Journal Of Science and Arts, Year 24, Number 2, issue 49, 2024 <https://doi.org/10.46939/J.Sci.Arts-24.2-c01>
- **Andreea-Mihaela Leț**, Viviana Filip, Alin Bucurică, Simona Mihai, Dorin Leț, THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SOLAR THERMAL HEAT INPUT IN HVACR CLIMATE CONTROL SYSTEMS, Journal Of Science and Arts, Year 24, Number 3, issue 50, 2024 (accepted for publication)
- D. Leț, B. I. Tene, A. Husu, M. Stan, L. M. Stancu and **Andreea Leț**, FEASIBILITY OF A MICRO GRID SCALE UP AT CAMPUS LEVEL - CASE STUDY, 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE Xplore digital library, pp: 1 – 6, 2019, **DOI:** 10.1109/ECAI46879.2019.9041969
- D.D. Leț, I.A. Bucurica, I.V. Gurgu, L. Stancu, **Andreea Leț**, G.M. Ioniță, ASSESSMENT OF A DATA CENTER MICROGRID WITH STORAGE AND PHOTOVOLTAIC GENERATION, Journal Of Science and Arts, Year 19, Number 4, issue 49, pp. 1067, 2019
- **Andreea Leț**, V. Filip, D. Let, S. Mihai, A review in biomechanics modeling, Proceedings of the International conference of mechatronics and cyber-mixmechatronics, ICOMECYME 2020 LNNS 143, pp. 156–164, 2020, Springer, pp. 156-164, 2020, https://doi.org/10.1007/978-3-030-53973-3_17
- Best practice of technology integration in Interreg Europe S3Unica project; “HVACR integrated Control System with weather compensation and Solar Thermal input”; 2020
- Diploma and Silver Medal for the invention "HVACR Storage Power 2 Heat Hybrid System," at the International Exhibition of Inventions and Innovations “Traian Vuia” Timișoara, 2023
- Diploma and Silver Medal for the invention "Integrated Multi-Vector Management System for Energy Islands," at the International Exhibition of Inventions and Innovations “Traian Vuia” Timișoara, 2023
- Best practice of technology integration in Interreg Europe S3Unica project; “Microgrid coupled with BIPV and storage; integrated with EMS”; 2023



Andreea Mihaela Let

Data nașterii: 10/07/1986 | **Cetățenie:** română | **Număr de telefon:**

(+40) 721863218 (Număr de telefon mobil) | **E-mail:** andreeamihaela.soci@yahoo.com |

Adresă: Strada Dispensarului, Razvad, România (Acasă)

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

01/03/2019 – ÎN CURS Targoviste

ADMINISTRATOR FIRMA SC DACIA EFICIENT SRL

Activitati si responsabilitati principale:

- Activitati de administrare a firmei;
- Prospectare piata pentru atragere de noi clienti si parteneri;
- Oferire de consultanta si intocmire documente;
- Intocmire si depunere de proiecte pe fonduri europene;
- Implementare proiecte si mentenanta dupa terminarea proiectelor;
- Monitorizare activitati pe fiecare proiect;
- Propunere solutii de ordin administrativ;
- Asigurare obtinere documentatie si aprobari specifice;
- Transmiterea integrala si in timp util a informatiilor catre destinatarul corespunzator.

02/08/2023 – ÎN CURS Targoviste, România

ASISTENT MANAGER UNIVERSITATEA VALAHIA - HORIZON EUROPE - RENEWABLE ENERGY-BASED POSITIVE HOMES

Activitati si responsabilitati principale:

- Participare directa si online la sedintele stabilite de managerul de proiect;
- Realizarea sarcinilor de lucru stabilite de managerul de proiect in acord cu activitatile de proiect si termenele specificate în planul detaliat al activitatilor;
- Participarea la implementarea tuturor activitatilor proiectului;
- Participare la elaborarea rapoartelor tehnice si economice legate de fazele de proiect;
- Realizare sarcini administrative legate de activitatile proiectului si supravegheate de managerul de proiect;
- Raportarea progreselor si a costurilor, gestionarea financiara si gestionarea datelor;
- Participarea la analiza utilizatorului final, elaborarea planului de implementare și planificarea sustenabilității.

01/02/2019 – 31/07/2022 Targoviste

ASISTENT MANAGER UNIVERSITATEA VALAHIA - PROIECT HORIZON 2020 INNOVATION ACTIONS - INTEGRATED MULTI-VECTOR MANAGEMEN

Activitati si responsabilitati principale:

- Participare directa si online la sedintele stabilite de managerul de proiect;
- Realizarea sarcinilor de lucru stabilite de managerul de proiect in acord cu activitatile de proiect si termenele specificate în planul detaliat al activitatilor;
- Participarea la implementarea tuturor activitatilor proiectului;
- Participare la elaborarea rapoartelor tehnice si economice legate de fazele de proiect;
- Realizare sarcini administrative legate de activitatile proiectului si supravegheate de managerul de proiect;
- Raportarea progreselor si a costurilor, gestionarea financiara si gestionarea datelor;
- Participarea la analiza utilizatorului final, elaborarea planului de implementare și planificarea sustenabilității.

29/03/2022 – 23/08/2022 Ilfoveni, România

INGINER AUTOMATIST SC CONSTANT ENERGY SRL

- cercetare, proiectare și dezvoltare de aplicații și sisteme pentru automatizarea procesului de instalare sisteme fotovoltaice;
- cercetare, proiectare și dezvoltare de aplicații și sisteme pentru automatizarea procesului de instalare centrala de ventilatie cu recuperare de caldura si umiditate;
- supravegherea procesului și asigurarea funcționalității în condiții de siguranță și fără probleme a tuturor sistemelor;

- informare permanenta de norme tehnice de realizare a lucrarilor de intretinere si reparatii, tipurile si parametrii functionali ai utilajelor si instalatiilor electrice, tipurile de lucrari, materiile prime si materialele de baza folosite;
- urmarire permanenta a respectarii parametrilor de calitate impusi prin procedurile specifice de lucru sau prin instructiunile tehnologice;
- comunicarea informatiilor despre sarcini, posibilitati si diferite evenimente prin rapoarte scrise sau verbale;
- efectuare lucru in conditii de securitate, in conformitate cu politica societatii, legislatia si normele de tehnica securitatii muncii specifice locului de munca.

15/06/2020 – 04/04/2022 Targoviste, România

INGINER PROIECTANT AUTOMATIZARI SC ATANASIU PROIECT SRL

- Proiectare conducte magistrale de gaze.
- Realizare proiecte tehnice pentru traversarea raurilor cu conducte magistrale de gaze in conformitate cu legislatia in vigoare.
- Realizare studii hidraulice.
- Realizare documentatii tehnice privind proiectarea si schimbarea traseelor conductelor de gaze si titei.
- Realizare masuratori pentru documentatie.
- Participarea la implementarea tuturor activitatilor proiectelor.
- Obtinere documentatie si aprobari specifice.

21/05/2019 – 01/10/2020 Targoviste

MANAGER AGENTI (VIATA) SC GROUPAMA ASIGURARI SA

Activitati si responsabilitati principale:

- Cresterea performantei angajatilor;
- Sustinerea retentiei prin stimularea unui mediu de lucru motivant si competitiv;
- Indeplinirea KPI-ilor in vederea atingerii profilului global echilibrat;
- Recrutare si coordonare agenti de vanzari asigurari viata;
- Retinere si dezvoltare echipa coordonata urmarind mentinerea unei echipe agile la productivitatea ceruta;
- Realizare si asigurare instruire agenti asupra produselor de asigurare, normelor metodologice, procedurilor interne etc. asigurand dezvoltarea continua a cunostintelor si abilitatilor acestora si respectarea eticii fata de clienti;
- Stabilire, monitorizare si optimizare permanenta la nivel individual de performanta a membrilor echipei;
- Coordonare, supervizare si monitorizare activitate echipa coordonata;
- Oferire suport tuturor agentilor din subordine in toate aspectele legate de actul de vanzare.

02/2018 – 05/2018 Targoviste, România

INGINER AUTOMATIST SC SICAL SRL

Activitati si responsabilitati principale:

- Indeplinire activitati specifice de proiectare instalatii electrice;
- Realizare proiecte de instalatii in conformitate cu legislatia in vigoare;
- Asistenta de santier pentru realizarea instalatiei in conformitate cu documentatia;
- Realizare antemasuratori instalatii;
- Organizare, conducere si verificare a intregii activitati a echipelor de lucru;
- Supraveghere si coordonare a intregii activitati de lucru;
- Procurarea de bunuri si servicii pentru buna desfasurare a activitatii de lucru;
- Organizarea programului de lucru pentru echipele din subordine;
- Verificare receptie lucrari;
- Verificare instalatii electrice.

12/2016 – 01/2018

INSPECTOR ASIGURARI (VIATA) SC GROUPAMA SA, TARGOVISTE

Activitati si responsabilitati principale:

- Prospectare, identificare nevoi clienti, generarea solutiilor optime si negocierea lor, incheierea contractelor de asigurare pentru persoane fizice si juridice, servicii post-vanzare si realizare (depasire) target.
- Promovarea produselor si serviciilor companiei.
- Dezvoltarea si fidelizarea portofoliului de clienti.
- Planificarea activitatii de vanzare proprie si in echipa cu inspectorii asigurari generale.
- Crearea si dezvoltarea relatiilor cu clientii.

06/2011 – 21/11/2016 Targoviste

CONSULTANT FINANCIAR - SPECIALIST SC AXA LIFE INSURANCE SA

Activitati si responsabilitati principale:

- Prospectare, identificare nevoi clienti, generarea solutiilor optime, incheierea contractelor de asigurare, servicii post-vanzare si realizare target.
- Pregatirea si sustinerea cursurilor pentru noii angajati, dar si pentru colegii mei din agentia Targoviste.
- Promovarea produselor si serviciilor companiei.
- Pregatirea si informarea continua prin programe de training.
- Dezvoltarea si fidelizarea portofoliului de clienti.
- Planificarea activitatii de vanzare proprie.
- Realizare modulele de training si sustinerea acestora. Aceasta include pregătirea: suportului de curs, prezentări, rezumate, role-play si studii de caz.

10/2009 – 06/2011 Targoviste

CONSULTANT FINANCIAR - AGENT DE VANZARI OMNIASIG - ASIGURARI DE VIATA

Activitati si responsabilitati principale:

- Prospectarea pietei, identificarea nevoilor clientilor si a firmelor, generarea solutiilor optime pentru contracte individuale si corporate, incheierea contractelor de asigurare, servicii post-vanzare si realizare target.
- Dezvoltarea abilitatilor de comunicare si negociere.
- Reprezentarea clientilor si a firmelor in relatia cu compania.
- Crearea si dezvoltarea relatiilor cu clientii.

10/2008 – 09/2009 Targoviste

CONSULTANT FINANCIAR - CONSULTANT CREDITE RAIFFEISEN BANK

Activitati si responsabilitati principale:

- Prospectarea si identificarea potentialilor clienti ai bancii (persoane fizice).
- Promovarea vanzarilor active de produse si servicii ale bancii dedicate segmentului de clienti persoane fizice (credite de nevoi personale si carduri de credit).
- Asistarea clientilor in completarea documentelor necesare accesarii de produse financiar-bancare.
- Verificarea documentatiei de creditare.
- Mentinerea relatiei cu clientii pe perioada derularii creditului in vederea acordarii unei asistente de specialitate.
- Training de specialitate permanent.
- Realizarea si sustinerea prezentarilor la firme si finalizarea contractelor.

06/2006 – 05/2007 Targoviste

UNIT MANAGER SC GRUP INTERCREDIT

Activitati si responsabilitati principale:

- Activitati de organizare si planificare a agentiei si in principal managementul vanzarilor.
- Interviuri de recrutare si selectie.
- Trainingul si coachingul echipei de consultanti financiari credite.
- Planificarea si coordonarea activitatii.
- Realizarea si mentinerea unei echipe de 80 consultanti financiari.
- Managementul vanzarii: prezentari de grup; vanzari directe (credite si carduri de cumparaturi) cu echipa ce o coordonez.
- Administrarea si servisarea portofoliului de clienti existent.
- Evaluarea si raportarea periodica a rezultatelor.
- Strategii pentru cresterea vanzarilor.
- Planificarea si organizarea locurilor de munca.

06/2005 – 09/2005 Pitesti

CONSULTANT FINANCIAR SC AVIVA SA

Activitati si responsabilitati principale:

- Prospectarea pietei tinta, identificarea noilor clienti si generarea solutiilor optime.
- Incheierea contractelor de asigurare si servicii post-vanzare.
- Dezvoltare si mentinere portofoliu de clienti.

● EDUCAȚIE ȘI FORMARE PROFESIONALĂ

2014 – 2014 Bucuresti

CERTIFICAT DE ABSOLVIRE - CALIFICARE PROFESIONALA A INTERMEDIARILOR IN ASIGURARI PERSOANE FIZICE Institutul de management in asigurari

Nivel CEC Nivelul 5 CEC

2009 – 2011

DIPLOMA DE MASTER - INGINERIA SISTEMELOR - AUTOMATICA AVANSATA, PRODUCTICA SI INFORMATICA INDUSTRIALA Universitatea Valahia din Targoviste

Competente profesionale:

- Aprofundarea cunostintelor domandite in facultate si aplicarea lor practica.
- Modelarea, simularea, identificarea si analiza proceselor automatizate.
- Proiectarea, implementarea și testarea sistemelor încorporate pentru aplicații de automată și informatică aplicată.
- Dezvoltarea de aplicații și implementarea algoritmilor de control pentru sistemele încorporate utilizând principii de management de proiect, medii de programare și tehnologii avansate.

Clasificare națională Nivelul 7 CEC

2005 – 2009 Targoviste

DIPLOMA DE LICENTA - INGINER - AUTOMATICA SI INFORMATICA APLICATA Universitatea Valahia din Targoviste

Competente profesionale:

- Utilizarea limbajelor, mediilor si tehnologiilor de programare.
- Abilitati pentru activitati manageriale bazate pe cunostinte de management, cunostinte economice, legislatia contractelor, marketing si cunostinte privind initierea afacerilor mici sau mijlocii.
- Utilizarea cunostintelor despre retele de calculatoare in vederea administrarii si configurarii acestora.
- Proiectare hard si programare pentru sisteme dedicate.
- Abilitati pentru activitati de cercetare in domeniul automatizarii.

Clasificare națională Nivelul 6 CEC

2001 – 2005 Targoviste

DIPLOMA DE BACALAUREAT - MATEMATICA INFORMATICA / INFORMATICA INTENSIV G.S. Voievodul Mircea

Clasificare națională Nivelul 4 CEC

2008 – 2009 Targoviste

CERTIFICARE PENTRU PROFESIA DIDACTICA - NIVELUL I Universitatea Valahia din Targoviste

Competente profesionale:

- Asigurarea unei pregatiri psihopedagogice, metodice si practice, in acord cu directiile actuale si de perspectiva in domeniul tehnologiei educationale , teoriei si practicii curriculum-ului.
- Psihologia invatarii, tehnologiei informatiei si comunicarii, al proiectarii, realizarii si evaluarii in conditii de calitate si eficienta a procesului de invatare.
- Practica profesionala in scoli generale si licee.
- Implementarea solutiilor de reformare si modernizare a invatamantului.
- Promovarea principiilor managementului calitatii in procesul de invatamant.

01/10/2019 – ÎN CURS Targoviste, România

DOCTOR INGINER Universitatea Valahia din Targoviste

● **COMPETENȚE LINGVISTICE**

Limbă(i) maternă(e): **ROMÂNĂ**

Altă limbă (Alte limbi):

| | COMPREHENSIVNE | | VORBIT | | SCRIS |
|-----------------|----------------------|-------|------------------|-------------|-------|
| | Comprehensiune orală | Citit | Exprimare scrisă | Conversație | |
| FRANCEZĂ | C1 | C2 | C1 | C1 | C1 |
| ENGLEZĂ | B1 | B1 | A2 | A2 | A2 |
| ITALIANĂ | B2 | C1 | A1 | A1 | B1 |
| SPANIOLĂ | C1 | B2 | 97 B1 | B1 | A1 |

● **COMPETENȚE ORGANIZATORICE**

Competențe organizatorice

- Analiza, organizarea sedintelor si a echipelor de lucru pentru indeplinirea task-urilor pe WP in cadrul proiectelor europene.
- Bune competente de organizare dobandite ca unit manager si consultant financiar, fiind responsabila de organizarea prezentarilor si sustinerea lor in fata unui public mare de persoane la Raiffeisen Bank, promovarea solutiilor de protectie, investitie, sanatate etc in cadrul companiei AXA Life Insurance si organizarea de training-uri in cadrul office-ului AXA din Targoviste, si gestionarea unei echipe de lucru ca inginer automatist la Sical SRL.
- Bune abilitati de conducere a unei echipe, dobandite ca consultant financiar specialist la AXA Life Insurance, ca unit manager la GrupIntercredit si in cadrul firmei Sical unde am manageriat o echipa de lucru.
- Leadership - fiind responsabila de formarea si conducerea unei echipe de 80 consultantii financiari la GrupIntercredit.
- Sunt punctuala si imi stabilesc obiective si prioritati.
- Organizare, control, evaluare si coordonare in domeniul financiar-bancar.
- Bune abilitati de negociere dobandite la Groupama, datorita diversitatii de servicii atat pe asigurari de viata cat si pe asigurari generale.
- Abilitatea de a lucra cu clientii si in echipe cu colegii mei sau cu superiorii.
- Aptitudini dobandite ca inginer automatist pentru a conduce o echipa si pentru a stimula angajatii pentru maximizarea rezultatelor.

● **COMPETENȚE DE COMUNICARE ȘI INTERPERSONALE**

Competențe de comunicare și interpersonale

- Comunic cu eficienta si sunt un bun ascultator, datorita experientei dobandite pentru companiile la care am lucrat. Comunicarea si socializarea au fost factorii principali de a lucra in domeniul vanzarilor.
- Excelente abilitati de interactiune cu colegii, firmele partenerere, superiorii si clientii pentru stabilirea unei relatii pozitive cu toti acestia.
- Competente de comunicare obtinute prin participari la sesiuni, comunicari stiintifice, cursuri de formare profesionala si training-uri pentru colegii mei din office-ul AXA Targoviste, prezentari la firme pentru incheierea contractelor de asigurari corporate, prezentari oferte clienti, sesiuni de brainstorming si sedinte.

● **COMPETENȚE DOBÂNDITE LA LOCUL DE MUNCĂ**

Competențe dobândite la locul de muncă

- Lucrul in echipa pentru indeplinirea KPI-urilor in proiectele Horizon.
- Am realizat si depasit target-ul primind diploma: Consultant profesionist, pentru activitatea depusa in cadrul office-ului in anul 2013 - acordata de Axa Life Insurance.
- Competente de lucru in programul AutoCad dobandite in proiectarea instalatiilor de gaze si a sistemelor fotovoltaice.
- Am dezvoltat o relatie de incredere cu toti clientii AXA Life Insurance, obtinand diploma: Consultantul anului 2011 - categoria numar polite vandute - acordata de Axa Life Insurance.
- Bun mentor - ca unit manager am fost responsabila cu angajarea, formarea si instruirea echipei mele de agenti de vanzari. Am livrat training-uri care au crescut performantele echipei si am atins planul de target in fiecare luna.
- Manageriale - competenta dobandita prin stabilire intalniri, sedinte interne, lucrari de proiecte si conducerea acestora. Urmarirea progreselor facute in cadrul proiectului, identificare puncte slabe, riscuri si probleme, si cautare strategii de prevenire si redresare.
- Diploma de onoare pentru contributi deosebite in promovarea chimiei cu ocazia aniversarii a 100 de ani de la infiintare, acordata de Societatea de Chimie din Romania.

● **CERTIFICĂRI**

26/06/2024

Articol - Applied Thermodynamic Analysis in Solar Thermal Systems Performance Assessment

DOI:10.46939/J.Sci.Arts-24.2-c01

Articol - Thermodynamic Analysis of Solar Thermal Heat Input in HVACR Climate Control Systems

Articol cu accept pentru publicare in numarul 3(68) din 2024 la revista "Journal of Science and Arts"

01/06/2019

Articol - Feasibility of a micro grid scale up at campus level - Case Study

01/09/2019

Articol - Assessment Of A Data Center Microgrid With Storage And Photovoltaic Generation, Journal Of Science And Arts

DOI:10.5281/zenodo.4033430

01/07/2020

Articol - O revizuire in modelarea biomecanica

Publicatie in Proceedings of the International Conference of Mechatronics and Cyber - MixMechatronics - 2020

DOI:10.1007/978-3-030-53973-3_17

Poster premiat cu medalia de argint la salonul de inventii si inovatii Traian Vuia din Timisoara cu titlul: "HVAC storage with power 2 heat hybrid system"

08/06/2024

Poster premiat cu medalia de aur la salonul EUROINVET European Exhibition of Creativity din Iasi cu titlul: Recovery of PV cells from mechanically destroyed PV modules before final recycling

06/2024

Diploma de excelență pentru rezultate deosebite în domeniul sănătății și al bioingineriei medicale de la "Grigore T. Popa" University of Medicine and Pharmacy Iasi

06/2024

Certificat de participare la salonul EUROINVET European Exhibition of Creativity din Iasi cu titlul: Recovery of PV cells from mechanically destroyed PV modules before final recycling

06/2024

Diploma de excelenta la salonul EUROINVET European Exhibition of Creativity din Iasi cu titlul: Recovery of PV cells from mechanically destroyed PV modules before final recycling

Caz de bune practici publicat de Interreg Europe prin intermediul proiectului S3Unica "HVAC integrated control system with wether compensation and solar thermal input"

<https://www.interregeurope.eu/good-practices/hvacr-integrated-control-system-with-weather-compensation-and-solar-thermal-input>

Certificări

2015 - Certificat de absolvire: Grafician calculator- Curs acreditat MEN si MMFPSPV

2015 - Certificat de absolvire: Infirmiera - Curs acreditat MEN si MMFPSPV

2014 - Certificat de absolvire - Calificare profesionala a intermediarilor in asigurari persoane fizice - obtinut in urma cursului de certificare profesionala la Institutul de Management in Asigurari, Bucuresti

CURSURI

Cursuri

2013-2015 - Cursuri de perfectionare a echipei in strategii de vanzare, finalizare contracte, realizare target, strategii pentru cresterea vanzarilor si prospectare, prezentate la Axa Life Insurance.

2013 - Cursuri de motivare si de formare pentru noii angajati, training, prezentate la Axa Life Insurance in calitate de consultant financiar specialist.

2010-2011 - Cursuri prezentate la Omniasig: Prospectare, identificare nevoi, generarea solutiilor optime si prezentarea solutiilor de protectie financiara, a familiei, a sanatatii si a investitiilor.

2007 - Cursuri si training-uri prezentate la Intercredit in calitate de Unit manager pe domeniile: recrutare, strategii de vanzare, planificare si organizare a locurilor de munca, formarea dezvoltarea si motivarea echipei, strategii pentru cresterea vanzarilor.