

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

Facultatea de Inginerie a Instalațiilor

Departamentul de Termotehnică și Echipamente Termice

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

CERCETĂRI PRIVIND CONTRIBUȚIA SISTEMELOR FRIGORIFICE, DE AER CONDIȚIONAT ȘI POMPE DE CĂLDURĂ LA ÎNCĂLZIREA GLOBALĂ



Doctorand

Ing. Mioara Vinceriuc

Conducător științific:

Prof.univ.dr.ing. GrațIELA – Maria Țârlea

BUCUREȘTI

2021

Cuvânt înainte

În primul rând, doresc să mulțumesc în mod deosebit conducătorului meu științific, doamnei Prof. Univ. Dr. Ing. Grațiela Maria Țârlea pentru înțelegerea și tactul pedagogic pe care le-a dovedit față de mine, mai bine de 15 ani, din anii studenției. Prin profesionalismul său de înaltă ținută academică, prin răbdarea, înțelegerea, cât și prin cunoștințele împărtășite, încurajarea permanentă și îndrumarea pe etape succesive în care m-a susținut, inclusiv în toate etapele tezei de doctorat, domnia sa a avut o contribuție foarte importantă în elaborarea și finalizarea acestei lucrări.

Sub îndrumarea D-nei. Prof. Univ. Dr. Grațiela Maria Țârlea, am participat la numeroase manifestări științifice atât din țară cât și din străinătate, unde am prezentat lucrări științifice publicate ulterior în volumele conferințelor sau în reviste de specialitate.

În acest moment de bilanț, țin să mulțumesc de asemenea atât D-lui. Prof. Univ. Dr. Ing. Dragoș Hera și Prof. Univ. Dr. Ing. Ivan Gabriel, cât și întregului corp didactic din cadrul departamentului de Termotehnică pentru punctele de vedere exprimate.

Mulțumesc de asemenea și următorilor domni profesori: Prof. Univ. Dr. Ing. Valeriu Damian, Prof. Univ. Dr. Ing. Florin Băltărețu și Conf. Univ. Dr. Ing. Nicolae Iordan, pentru imboldul și pentru disponibilitatea de care au dat dovadă, întotdeauna referitor la persoana mea, la discuțiile pe care le purtam referitor la teză. O importanță deosebită în realizarea tezei a avut-o totodată Klass Berglöff de la Royal Institute of Technology din Stockholm pentru suportul moral acordat, cunoștințele împărtășite și sfaturile deosebit de utile pe care mi le-a dat.

Mulțumesc domnilor Dir. Gen. Nicuta Dumitru și Dir. Gen. Timofan Valeriu pentru soluțiile ingineresti valoroase și suportul tehnic acordat în conceperea, proiectarea, montarea, punerea în funcțiune și monitorizarea standului experimental din cadrul Laboratorului din Colentina al Universității Tehnice de Construcții București.

Mulțumesc de asemenea, Asociației Generale a Frigotehniștilor din România, firmei CLIMALIFE, LINDE, HOVAL fără de care realizarea standului experimental și obținerea multora dintre rezultatele științifice pentru această lucrare nu ar fi fost posibile, precum și domnului Constantin Teodor, doamnei Enikő Beke, pentru cunoștințele transmise mie și recomandările extrem de benefice pe care mi le-au furnizat.

Nu în ultimul rând, vreau să mulțumesc colegilor Dr. Ing. Ion Zabet, Ing. Draghici Valentin, Gagea Stefan Valentin, Dr. Ing. Geol. Galina Prica și prietenilor mei cei mai apropiați, pentru sprijinul și înțelegerea acordată pe toată perioada doctoratului.

Aduc mulțumiri și domnilor Prof. Univ. Emerit Dr. Ing. Nicolae P. Leonăchescu Doctor Honoris Causa și Prof. Univ. Emerit Dr. Ing. Mateescu Dumitru Teodor Dorin trecuți în neființă, care m-au susținut moral și m-au încurajat să finalizez această teză de doctorat.

Deasemeni țin să mulțumesc și doamnei Silvia Rusănescu care mi-a fost alături și m-a susținut moral pe tot parcursul programului doctoral.

În încheierea considerațiilor de ordin general, îmi îndeplinesc și o datorie de onoare și anume aceea de a exprima gratitudinea, profunda recunoștință în fața celor care mi-au marcat destinul. În ordine cronologică, părinții: Elena și Dorin Vinceriu, Daniel Radu, Prof. Mat. Zamfir Georgeta, Prof. Petrescu Mihaela și Prof. Univ. Dr. Ing. Grațiela Țârlea îndrumătorul studiilor masterale, conducătorul studiilor doctorale și al tezei de doctorat.

Sper ca Bunul Dumnezeu să mă ajute pentru a-i răsplăti, prin rezultatele mele profesionale, pentru generozitatea, priceperea, delicatețea și răbdarea cu care m-au călăuzit în subtilul proces de formare umană și profesională, de împlinire și desăvârșire în cariera ce se construiește cu migală, sacrificiu și muncă din belșug.

Ing. Mioara Vinceriu

CUPRINS

INTRODUCERE	3
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE	
ÎN DOMENIUL TEZEI	4
CAPITOLUL 2. BAZE TEORETICE	5
CAPITOLUL 3. SIMULARE MATEMATICĂ	7
CAPITOLUL 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ȘI VALIDĂRI	15
CAPITOLUL 5. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII	
PERSONALE	22
BIBLIOGRAFIE	25

INTRODUCERE

Conținutul tezei de doctorat

Sistemele frigorifice studiate în cadrul tezei de doctorat au fost realizate la Universitatea Tehnică de Construcții București (U.T.C.B) - Complexul de Laboratoare Colentina. Tematica aleasă are la bază necesitatea fundamentării cercetării teoretice și practice în ceea ce privește realizarea și utilizarea agenților frigorifici (AF) ecologici. De asemenea teza cu titlul „ **Cercetări privind contribuția sistemelor frigorifice, de aer condiționat și pompe de căldură la încălzirea globală**” are în vedere implementarea legislației UE în domeniul sistemelor frigorifice, pompe de căldură și aer condiționat.

Agenții frigorifici (AF) ecologici propuși în cadrul acestei teze științifice sunt substanțe chimice obținute prin amestecarea în diferite proporții a diverși agenți actuali ecologici cu una sau mai multe substanțe naturale sau sintetice ecologice ce au valori zero ale potențialului de distrugere a stratului de ozon (ODP) și scăzute ale potențialului de încălzire globală (GWP).

În această lucrare se are în vedere optimizarea factorului TEWI pe domenii de aplicare a frigului artificial (pompe de căldură, industrial, aer-condiționat).

Valorificarea rezultatelor celor doisprezece ani de studiu în domeniul AF s-a materializat în peste 50 articole și publicații cu prilejul conferințelor, expozițiilor și workshop-urilor la nivel național și internațional.

❖ Obiective și modalități de abordare

- ❖ **Obiectivul general** → realizarea de cercetări științifice în vederea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră;
→ realizarea de validări experimentale, pentru diverși agenți frigorifici.

- ❖ **Obiectivul principal** → studierea sistemelor frigorifice atât din punct de vedere ecologic cât și al eficienței energetice.

❖ Obiective secundare

- Realizarea unui stand experimental - pompă de căldură destinat determinării performanțelor instalației frigorifice ce poate funcționa cu R134a, MV3T, MV3TN în Laboratorul de protecția atmosferei, Complex laboratoare Colentina din cadrul Universității Tehnice de Construcții București;
- Analiza stadiului actual al cercetărilor privind domeniul agenților frigorifici ecologici ce se pot utiliza în sistemele frigorifice;
- Crearea de diagrame și tabele cu proprietăți termodinamice ale amestecurilor de agenți frigorifici propuși MVIZ1, MVIZ2, MVIZ3, MV3T și MV3TN;
- Determinarea ecuațiilor de stare ale amestecurilor;
- Dezvoltarea unui domeniu nou de cercetare în cadrul UTCB - Facultatea de Inginerie a Instalațiilor și anume acela al agenților frigorifici;
- Analizarea unor variante de sisteme frigorifice cu diverse fluide frigorifice și propunerea de soluții eficiente energetic și ecologice;
- Utilizarea de programe de simulare performante pentru cercetarea în domeniul tezei.

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE ÎN DOMENIUL TEZEI

La nivel internațional în ultimii 10 ani din punctul de vedere al studierii AF s-au făcut multe cercetări în domeniu (cf. tabel centralizator), ținând cont de restricțiile severe stipulate legislativ: Protocolul de la Kyoto, Regulamentul (EU) 517/2014, Acordului de la Paris/2015, Amendamentul Kigali /2016 /Protocolului de la Montreal .



- ❑ 1 ianuarie 2019 a intrat în vigoare amendamentul Kigali ref. la reducerea producției și consumului de hidrofluorocarburi (HFC), gaze cu efect de seră (creșterea temperaturii 0.4 °C).
- ❑ Toate țările semnatare ale Protocolului de la Montreal vor elimina treptat HFC-urile cu mai mult de 80 % în următorii 30 de ani (înlocuire alternative ecologice).
- ❑ Amendamentul de la Kigali (eliminarea până la 80 de miliarde de tone CO₂ de emisii până în anul 2050).
- ❑ Contribuție semnificativă la obiectivul Acordului de la Paris de limitare a creșterii temperaturii medii globale cu cel mult 2° C.

Tabel centralizator cu cele mai noi cercetări

CERCETĂTORI	DENUMIRE ARTICOL / SISTEM FRIGORIFIC	AGENȚII FRIGORIFICE STUDIATE HFC-134a, HFO-1234yf, amestecuri AF
1	2	3
Sofia K .Mylona Thomas J. Hughes, Amina A.Saeed, Darren Rowland, Juwoon Park, Tomoya Tsuji, Yukio Tanaka, Yoshio Seiki, Eric F.May, 2019	<i>Thermal conductivity data for refrigerant mixtures containing R1234yf and R1234ze(E)</i>	R1234yf, R-1234ze(E)
Leandro Pereira, Gleberson Humia, Ali Khosravi, Rémi Revellin, Jocelyn Bonjour, Luiz Machado, Juan J.Garcia Pabo, 2019	<i>A study on the fluid refrigerant charge in a two-phase mechanically pumped loop system using R134a and R1234yf</i>	R1234yf, R134a
Giovanni A. Longo, Simone Mancin, Giulia Righetti, Claudio Zilio, 2019	<i>R1234yf and R1234ze(E) as environmentally friendly replacements of R134a: assessing flow boiling on an experimental basis</i>	R1234yf, R-1234ze(E) , R134a
Saif ZS. Al Ghafri, Darren Rowland, Masoumeh Akhfarsh, Arash Arami-Niya, Martin Khamphasith, Xiao Xiong, Tomoya Tsuji, Yukio Tanaka, Yoshio Seiki, Eric F.May, Thomas J.Hughes, 2019	<i>Thermodynamic properties of hydrofluoroolefin (R1234yf and R1234ze(E)) refrigerant mixtures: Density, vapour-liquid equilibrium, and heat capacity data and modelling</i>	R1234yf, R-1234ze(E)
Catherine C.Sampson, Mobolaji Kamson, Matthew G. Hopkins, Paul L. Stanwix, Eric F.May, 2019	<i>Dielectric permittivity, polarizability and dipole moment of refrigerants R1234ze(E) and R1234yf determined using a microwave re-entrant cavity resonator</i>	R1234yf, R-1234ze(E)
Li Zhaohua, Liang Kun, Jiang Hanying, 2019	<i>Thermodynamic analysis of linear compressor using R1234yf</i>	R1234yf, R134a
F.Illán-Gómez J.R.García-Cascales, 2019	<i>Experimental comparison of an air-to-water refrigeration system working with R134a and R1234yf</i>	R1234yf, R134a
Zhaohua Li, Kun Liang, Hanying Jiang, 2019	<i>Experimental study of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in an oil-free refrigeration system</i>	R1234yf, R134a
Jaime Sieres, José Manuel Santos, 2018	<i>Experimental analysis of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a small power refrigerating system</i>	R1234yf, R134a
Gaurav and Raj Kumar, 2018	<i>Thermo economic analysis of environmental friendly refrigerant mixtures for replacement of R134a</i>	R1234yf, R134a , R600a, Reco1, Reco2, Reco3
Gaurav1 and Raj Kumar, 2018	<i>Sustainability of Automobile Air- Conditioning System Using Refrigerant R1234yf Instead of R134a</i>	R1234yf, R134a, R744
Zhaofeng Meng, Hua Zhang, Mingjing Lei, Yanbin Qin, Jinyou Qiu, 2018	<i>Performance of low GWP R1234yf/R134a mixture as a replacement for R134a in automotive air conditioning systems</i>	R1234yf, R134a
SergioBobbo, Giovanni Di Nicola, Claudio Zilio, J. Steven Brown, LauraFedele, 2018	<i>Low GWP halocarbon refrigerants: A review of thermophysical properties</i>	R1234yf, R1234ze
Kamel Sigar Hmooda, Horatiu Pop, Valentin Apostol, Ahmed Qasim Ahmed, 2017	<i>Refrigerants Retrofit as Alternative for R12 and R134a in Household Refrigerators</i>	R1234yf, R134a, R600a, R290, R12
Huber, M.L., and M.J. Assael. 2016	<i>Correlations for the viscosity of 2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) and trans-1,2,2,2-tetrafluoropropene (R1234ze(E)).</i>	R1234yf

CAPITOLUL 2. BAZE TEORETICE

2.1. Noțiuni generale de termodinamică chimică a agenților frigorifici ecologici. Ecuații de stare.

Termodinamica chimică [3] este acea ramură a chimiei fizice, având ca obiect studiul transformărilor chimice și fizico-chimice, folosind metodele termodinamicii generale.

2.2 Proprietăți termodinamice și termofizice ale agenților frigorifici, avantaje și dezavantaje.

Proprietăți termodinamice ale agentului frigorific HFC-134a

Proprietăți termodinamice ale agentului frigorific HFO-1234yf

Proprietăți termodinamice ale agentului frigorific R404A

2.3 Impactul agenților frigorifici asupra mediului și asupra performanțelor sistemelor frigorifice

Acquis-ul comunitar — Protocolul de la Montreal

— Protocolul de la Kyoto

2.3.1. Distrugerea stratului de ozon

Întreaga viață pe Pământ [5,6,17] depinde de existența unui scut subțire de gaz „otrăvitor”, plasat la partea superioară a atmosferei: stratul de ozon.

„Găurile” din stratul de ozon. La începutul anilor '70 au început să fie exprimate opinii, conform cărora stratul de ozon al Pământului devenise subțiat, astfel încât putea să producă pagube, datorită emisiilor substanțelor chimice cunoscute sub denumirea de halocarburi, componente conținând cloruri, fluoruri, bromuri, carbon și hidrogen.

2.3.2. Încălzirea globală a atmosferei

Termenii „încălzire globală” sau „efect de seră” sunt utilizați, de obicei, pentru a descrie creșterea în timp a temperaturii medii la suprafața Pământului. În cadrul Protocolului de la Kyoto, Uniunea Europeană s-a angajat să-și reducă considerabil emisiile de gaze cu efect de seră.

La nivel mondial au fost dezvoltate deja, cu mare efort reglementările legale pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră. În UE s-a impus Regulamentul nr. 517/2014 cunoscut și sub denumirea de „F-Gas” [16].

Impactul de încălzire echivalentă total (TEWI) [10,16], este o cale către evaluarea încălzirii globale prin combinarea contribuției directe a emisiilor agentului frigorific în atmosferă cu o contribuție indirectă a emisiilor dioxidului de carbon, rezultat din necesitatea consumării energiei pentru funcționarea sistemului frigorific.

Relația de calcul pentru TEWI este prezentată în detaliu în SR EN 378-1/2017 [10] și ține cont de cantitatea de agent frigorific din instalație, cantitatea de agent expandabil din izolații, de cantitatea de CO₂ eşapat în atmosferă la producerea unității de energie de antrenare a instalației frigorifice, energia consumată pentru acționarea instalației frigorifice pe durata ei de funcționare, eficiența cât și etanșeitatea instalației frigorifice, modul de producere al energiei electrice de antrenare a instalației frigorifice, de durata de viață a agentului frigorific.

În concluzie din punct de vedere ecologic agentul frigorific trebuie ales astfel încât conform reglementărilor legislației actuale, să aibă ODP nul și GWP și TEWI cât mai mici.

Referitor la cerințele de siguranță pe care trebuie să le îndeplinească agenții frigorifici acestea sunt prevăzute prin standarde atât la nivel național cât și internațional și se referă la: inflamabilitate, pericolul de explozie, toxicitate, pericol de contaminare biologică cât și la efectele pe care le pot avea asupra produselor care trebuie răcite. De asemenea trebuie ținut cont de locul de amplasare al instalației frigorifice (locuințe, locuri publice, zone industriale) cât și de cantitatea de agent frigorific conținută în instalație.

Cu privire la cerințele economice trebuie ținut cont de prețul agentului frigorific, asigurarea unor cheltuieli în exploatare cât mai mici cât și la posibilitatea producerii în țară. În orice caz alegerea agentului frigorific trebuie făcută în urma unor analize tehnico-economice riguroase pentru a avea o instalație cât mai eficientă și ecologică.

2.3.3. Factorul TEWI

Așa cum a fost menționat mai devreme, atunci când se alege un agent frigorific sau se proiectează o instalație frigorifică, de aer condiționat sau o pompă de căldură se evaluează factorul TEWI (calculul efectului încălzirii globale în perioada de funcționare). În acest fel, toate aspectele economice nu sunt luate în considerare. Dar când se face evaluarea tehnologică și se iau deciziile de investiție, pe lângă aspectele ecologice, aspectele economice devin în mod obiectiv, extrem de importante. În privința sistemelor frigorifice, reducerea impactului asupra mediului implică frecvent costuri mari. Astfel, în multe firme, discuții despre minimizarea problemelor ecologice sunt adesea neglijate (întrucât costurile de investiții sunt decisive).

2.4. Principalii agenți frigorifici utilizați

În figura 3 este prezentată strategia de înlocuire a agenților frigorifici pe termen scurt, mediu și lung. Date referitoare la agenții frigorifici definiții, clasificare, TEWI, alegere etc. se regăsesc în SR EN 378-1 (anexele A, B, C, D, E, F, G, ZA, ZB) [10] și REGULAMENTUL (CE) NR. 517/2014 F-Gas [16].

AGENȚI FRIGORIFICI PE TERMEN SCURT, MEDIU ȘI LUNG.

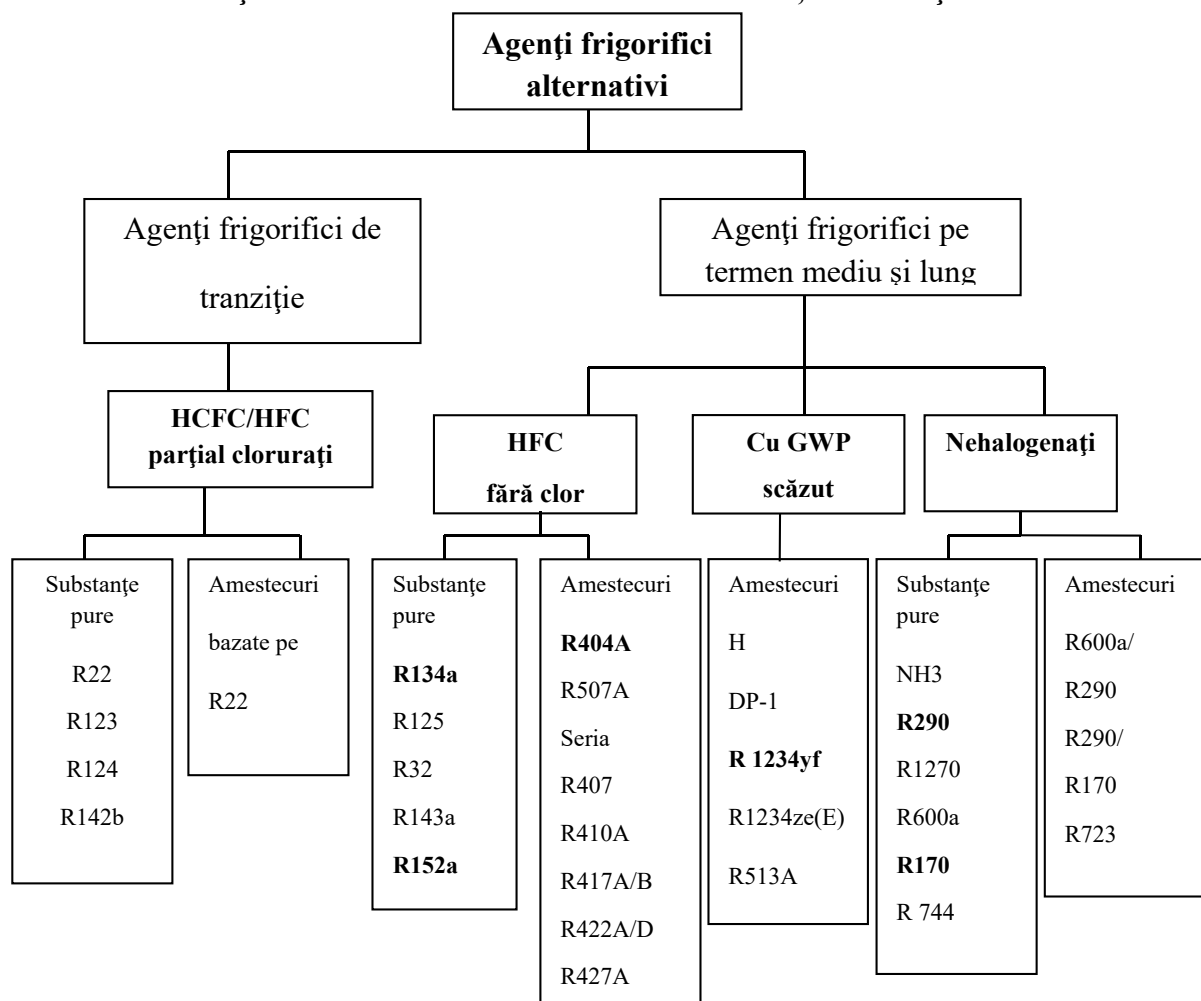


Fig. 2.5. Clasificarea agenților frigorifici [8]

CAPITOLUL 3. SIMULARE MATEMATICĂ

3.1. Programe de calcul

3.1.1. Generalități

În proiectare, cercetare, ofertare la nivel internațional sunt utilizate programe de calcul.

3.1.2. DUPREX versiunea 3.0

Programul DUPREX al firmei DuPont [14] este o versiune specială a programului KMKreis care poate construi un ciclu frigorific utilizând diferiți agenți frigorifici în diferite sisteme frigorifice.

3.1.3. KANSREF versiunea 1.4

Programul KANSREF [13] utilizează numai agenți frigorifici naturali. Acest program se aplică în industrie și anume în sectorul proiectării instalațiilor de frig și aer condiționat. Kansref-ul construiește ciclul frigorific și calculează factorul TEWI.

3.1.4. KLEACALC versiunea 5.0

Programul KleaCalc conține mai multe module de calcul care utilizează modele termodinamice și termofizice ale agenților frigorifici.

3.1.5. FORANE versiunea 3.0

Acest soft este realizat de ATOFINA pentru instalații frigorifice și aer condiționat. În program se introduc parametrii inițiali ai instalației, iar programul generează calculul coeficientului de performanță COP.

3.1.6. COOLPACK versiunea 1.46

Programul CoolPack este un program de simulare care se poate folosi în proiectarea, dimensionarea, analiza și optimizarea instalației frigorifice.

3.1.7. SOLKANE versiunea 6

Noul program SOLKANE [12] versiunea 6 calculează proprietăți termodinamice pentru agenții frigorifici sub marca SOLKANE.

3.1.8. REFUTIL versiunea 1.1

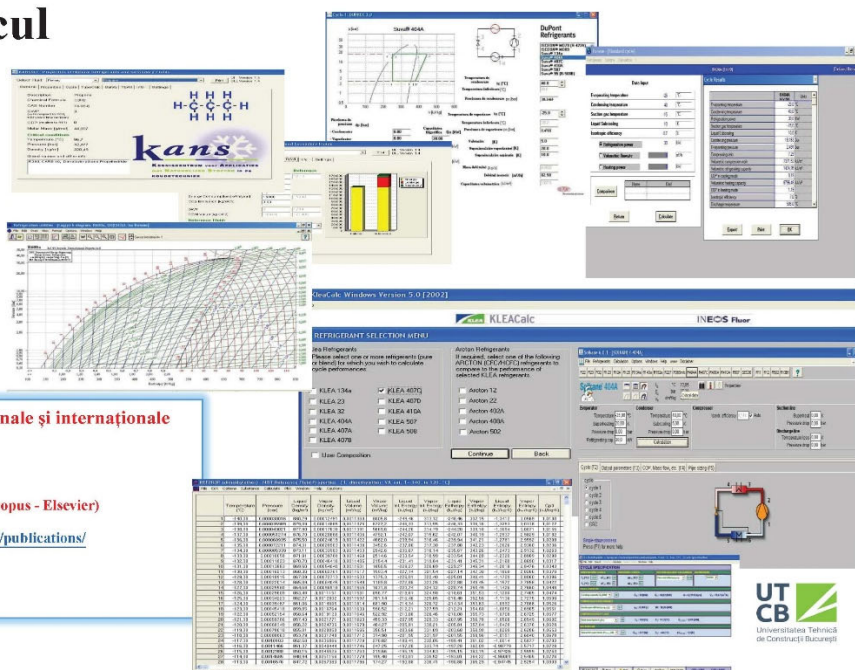
Programul Refutil versiunea 1.1 utilizează o multitudine de agenți frigorifici utilizând patru tipuri de instalații frigorifice :

3.1.9. Refprop versiunea 8.0

Programul Refprop redă proprietățile termodinamice ale fluidelor pure dar și a amestecurilor de substanțe.

Programe de calcul

Duprex
Kansref
KleaCalc
Forane
CoolPack
Solkane
Refutil
Refprop



publicații la diverse congrese și manifestații naționale și internaționale
13- articole se regăsesc pe site-ul IIFIR

25 – Google Academic (din 2014-prezent)

8 - articole pe site-ul <https://orcid.org/0000-0003-0079-1562> (Scopus - Elsevier)

14 - <https://publons.com/researcher/3110311/vinceriuc-mioara/publications/>

Web of Science ResearcherID [Y-1626-2019](https://orcid.org/0000-0003-0079-1562)

1- <http://www.riss.kr/search>

Am implementat un model matematic în EES (Engineering Equation Solver) – contribuție personală

Rezultatele simulărilor realizate cu ajutorul programului performant EES (Engineering Equation Solver) pentru agentul frigorific R 134a (Fig. 3.1) în cazul pompei de căldură aer-apă. Unde : T_0 - reprezintă temperatura de vaporizare; T_c - reprezintă temperatura de condensare; P_k - Puterea totală de comprimare; l_k – lucru mecanic de comprimare; Q_m – debit masic de freon, P_0 - presiunea de vaporizare, P_c - presiunea de condensare , Φ_0 - puterea frigorifică

Rezultate simulări cu programul EES pentru R134a

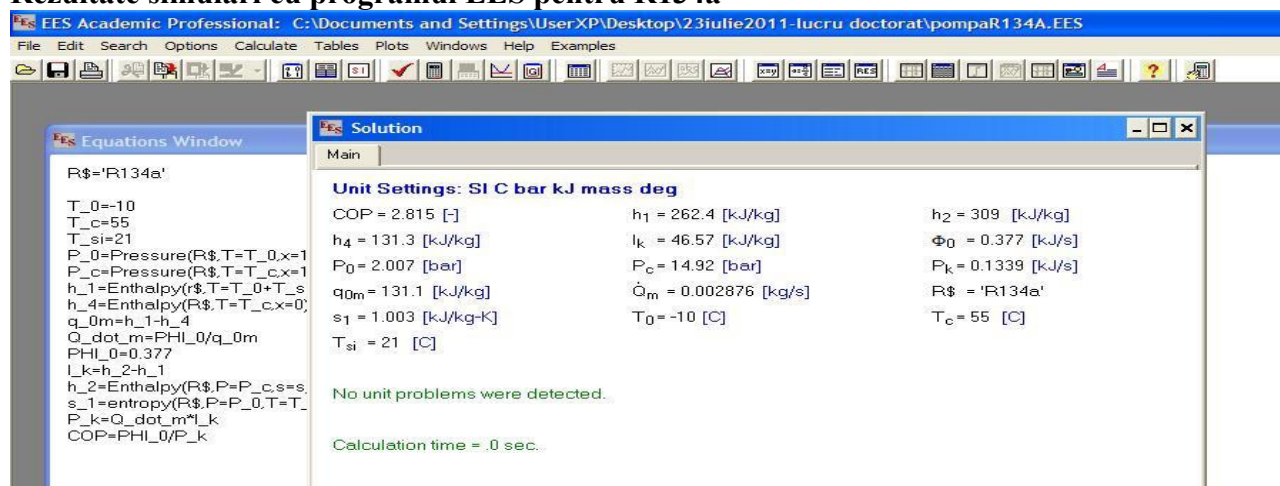


Fig. 3.1. Rezultate simulări cu programul EES pentru R134a

Rezultate simulări cu programul EES pentru R 152a

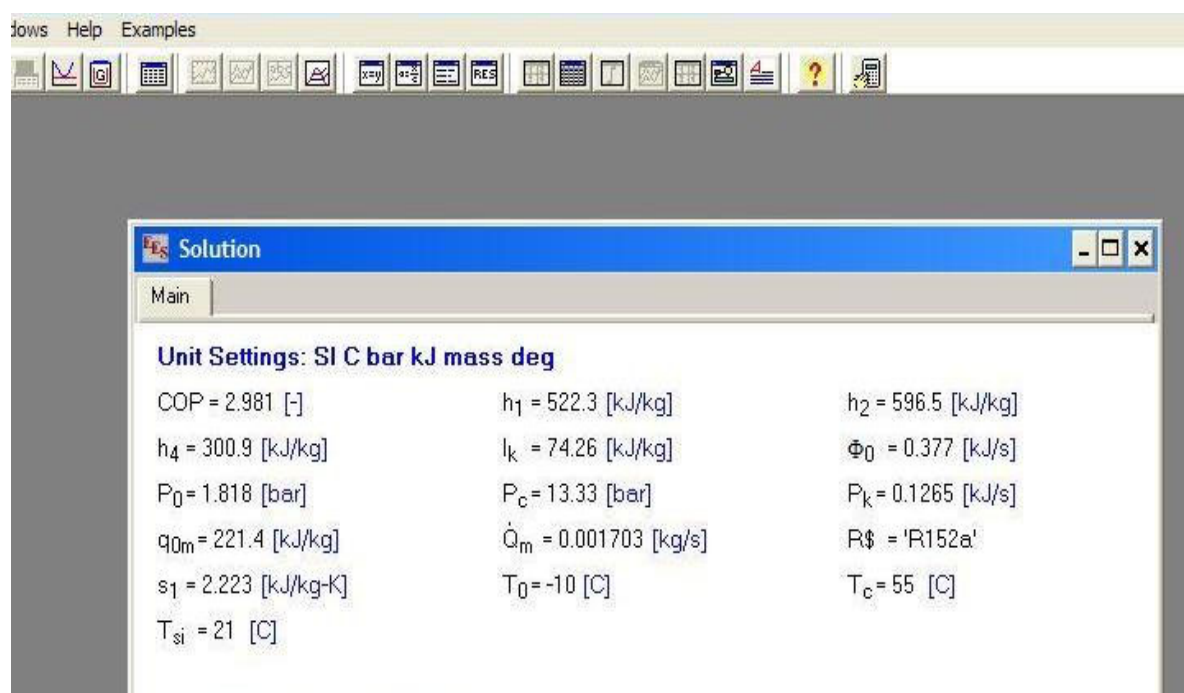


Fig. 3.2. Rezultate simulări cu programul EES pentru R152a

Rezultate simulări cu programul EES pentru R1234yf

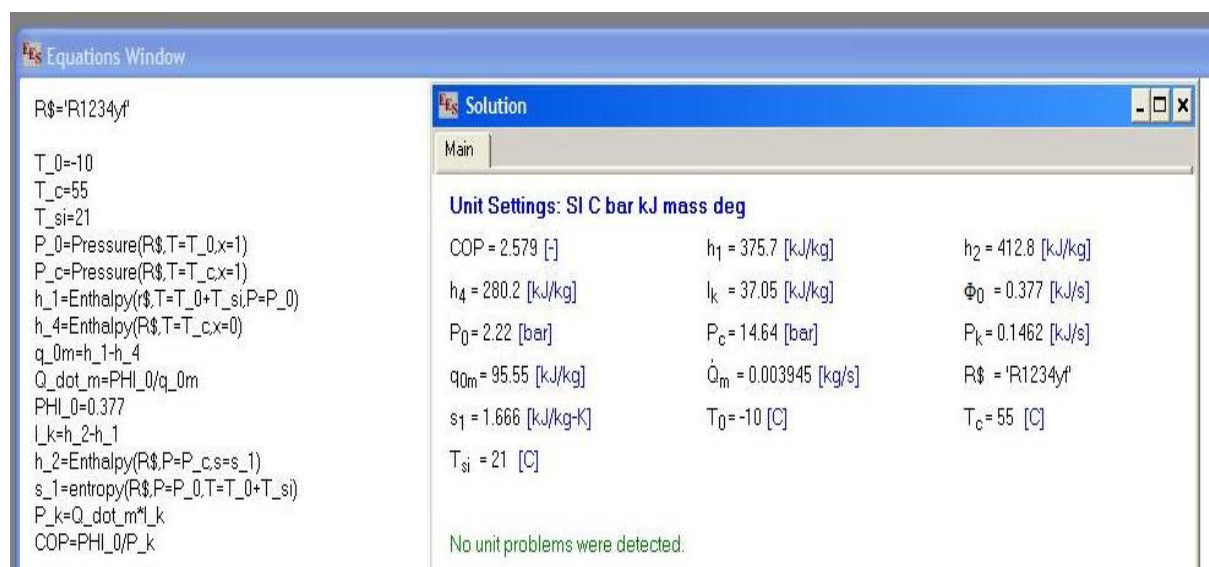


Fig. 3.3. Rezultate simulări cu programul EES pentru R 1234yf

Modelare matematică a proceselor termodinamice aferente sistemului frigorific R 134a, MV3T , MV3TN

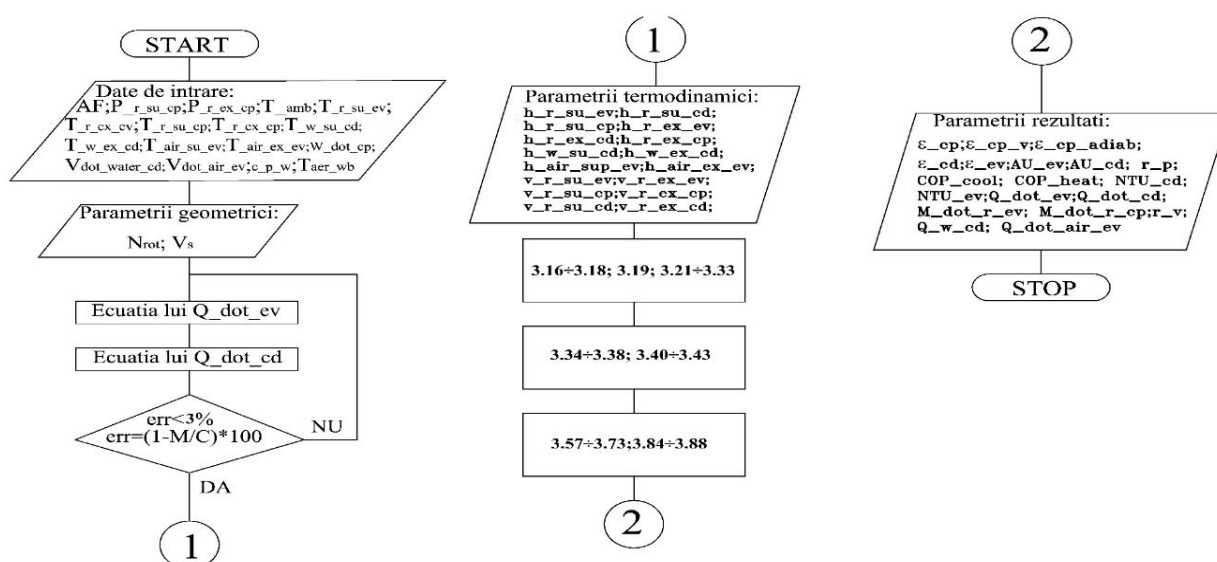


Fig. 3.4 Schema logică de calcul aferentă modelului matematic- contribuție personală

Modelare matematică a proceselor termodinamice aferente sistemului frigorific

Parametrii introduși

- presiunea de vaporizare ($P_{r_su_cp}$),
- presiunea de condensare ($P_{r_ex_cp}$),
- temperatura mediului ambiant exterior (T_{amb}),
- temperatura agentului intermediar la intrarea și ieșirea condensatorului ($T_{w_su_cd}$, $T_{w_ex_cd}$)
- temperatura agentului intermediar la intrarea și ieșirea vaporizatorului ($T_{air_su_ev}$, $T_{air_ex_ev}$),
- temperatura agentului frigorific la intrarea și ieșirea din vaporizator ($T_{r_su_ev}$, $T_{r_ex_ev}$),
- temperatura agentului frigorific la intrarea și ieșirea din compresor ($T_{r_su_cp}$, $T_{r_ex_cp}$),
- puterea electrică consumată de compresor (W_{dot_cp}),
- temperatura bulbului umed al aerului (T_{aer_wb})
- debitul volumic al agentului intermediar pentru apă la condensator ($V_{dot_water_cd}$)
- debitul volumic al agentului intermediar pentru aer la vaporizator ($V_{dot_air_ev}$)
- căldura specifică a apei (c_{p_w})

Parametrii rezultați

- debitul masic de agent frigorific al vaporizatorului și compresorului ($\dot{M}_{dot_r_ev}$, $\dot{M}_{dot_r_cp}$),
- randamentul volumic al compresorului (e_{cp_v})
- randamentul izentropic al compresorului (e_{cp})
- randamentul adiabatic al compresorului (e_{cp_adiab})
- raportul de comprimare al compresorului (r_p)
- coeficienții globali de transfer de căldură pentru fiecare componentă a sistemului frigorific (condensator-AU_{cd} și vaporizator AU_{ev})
- coeficientul de performanță la răcire (COP_{cool}) și la încălzire (COP_{heat})
- randamentul condensatorului (e_{cd}) și a vaporizatorului (e_{ev})
- numărul de transfer de unități termice pentru vaporizator (NTU_{ev}) și condensator (NTU_{cd})
- puterea frigorifică la vaporizator (Q_{dot_ev})
- puterea termică la condensare (Q_{dot_cd})
- raportul volumic al compresorului (r_v)
- puterea termică a apei la condensator (Q_{w_cd})
- puterea termică de răcire la vaporiz. a aerului ($Q_{dot_air_ev}$).

Interfață de calcul aferentă modelului matematic al proceselor termodinamice pentru sistemul PC AER-APĂ R134a

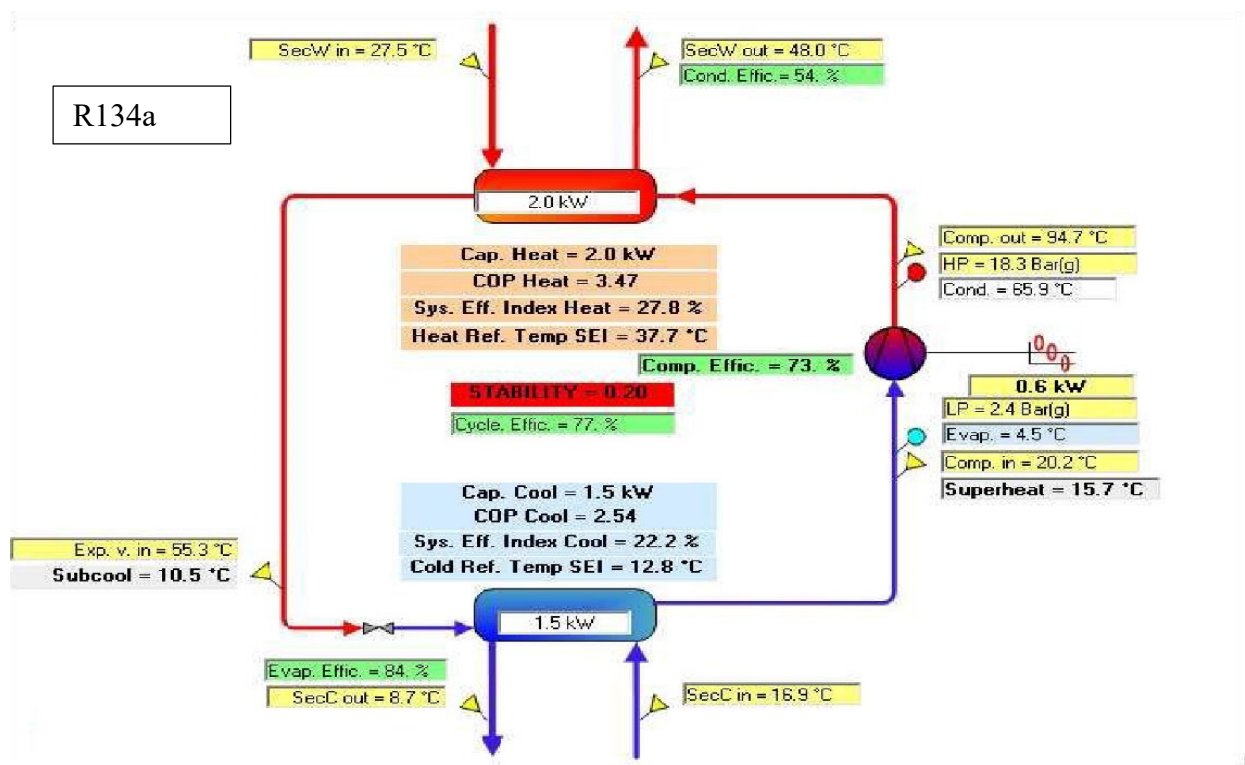


Fig.3.5 Interfață de calcul pentru sistemul PC AER-APĂ R134a

Modelare matematică a proceselor termodinamice aferente sistemului frigorific funcționând cu agentul frigorific MVIZ3 și MVIZ1

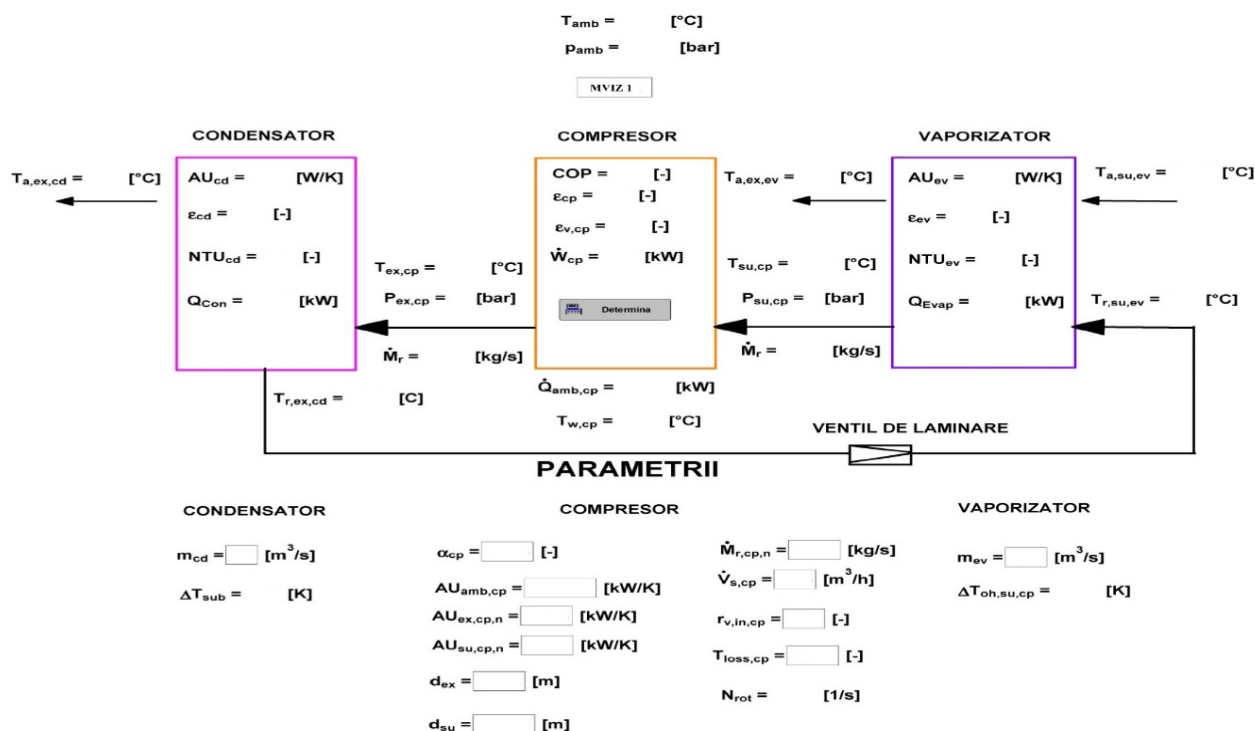


Fig. 3.6 Interfață de calcul aferentă modelului matematic MVIZ1 al proceselor termodinamice pentru sistemul frigorific cu compresoare scroll [9]

Simulare de proprietăți termodinamice ale agenților frigorifici R 134a, R152a, MV3T , MV3TN și HFO 1234yf - model experimental PC AER-APĂ

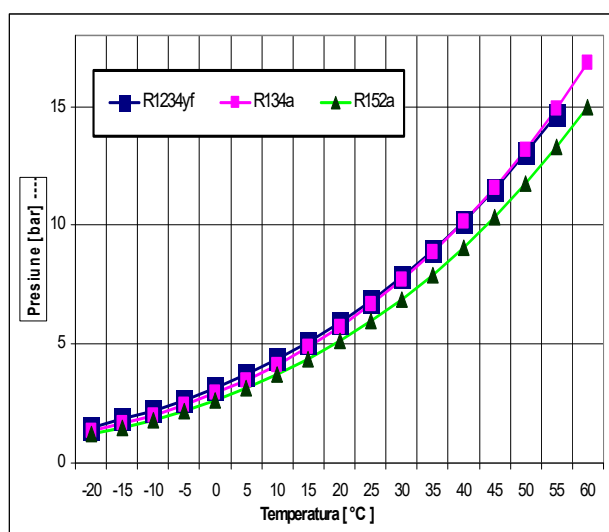


Fig. 3.7 Presiunile celor trei agenți frigorifici R1234yf, R134a și R152a în funcție de temperatură

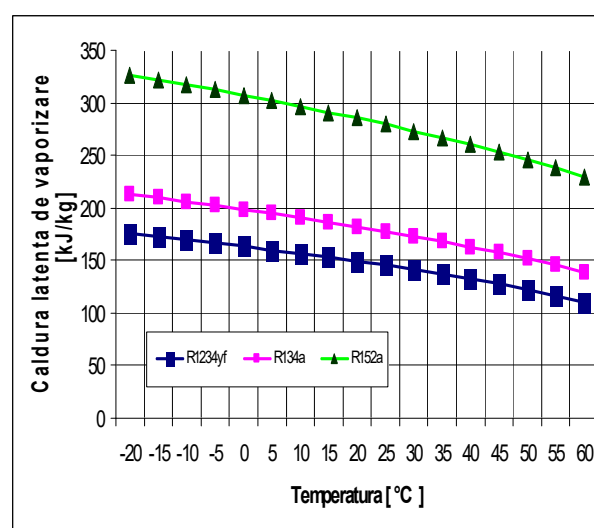


Fig. 3.8 Căldura latentă de vaporizare pentru agenții frigorifici R134a și R152a în funcție de temperatură

Simulare de proprietăți ale alternativelor ecologice pentru agentul frigorific R404A

Simulările au fost realizate în cazul modelului experimental al unui sistem frigorific cu compresor scroll digital.

Suplimentar în teză a fost prezentat o analiză comparativă între agentul frigorific R404A și alte două alternative (MVIZ1, MVIZ3).

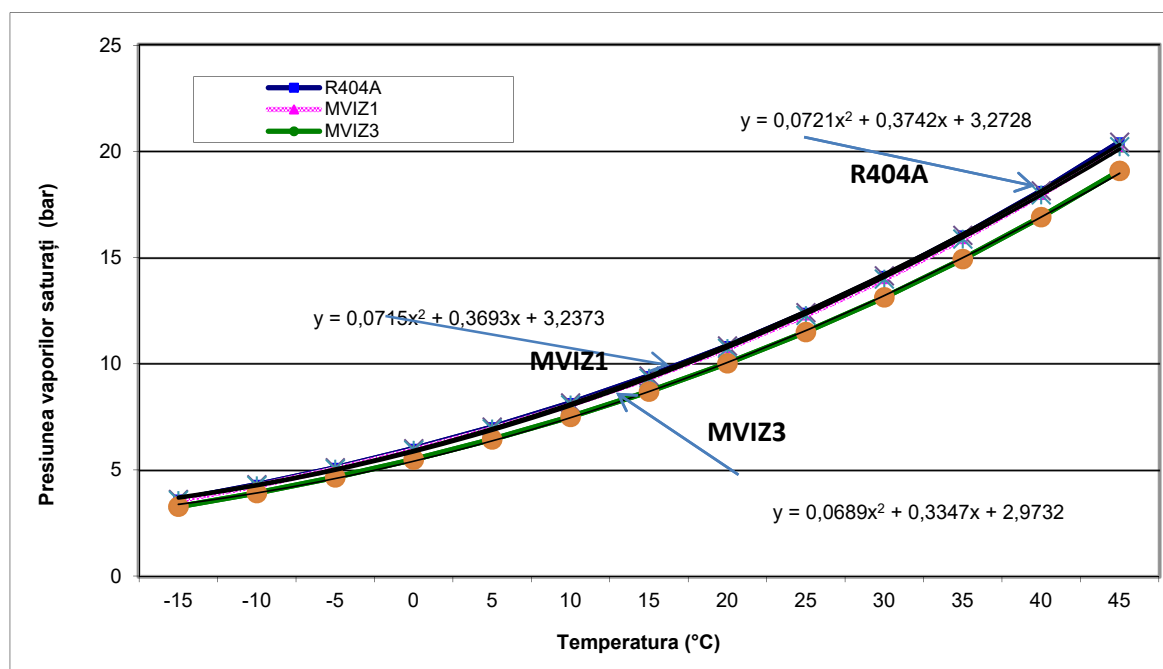


Fig. 3.9 Regimul de presiuni al agenților frigorifici în funcție de temperatură

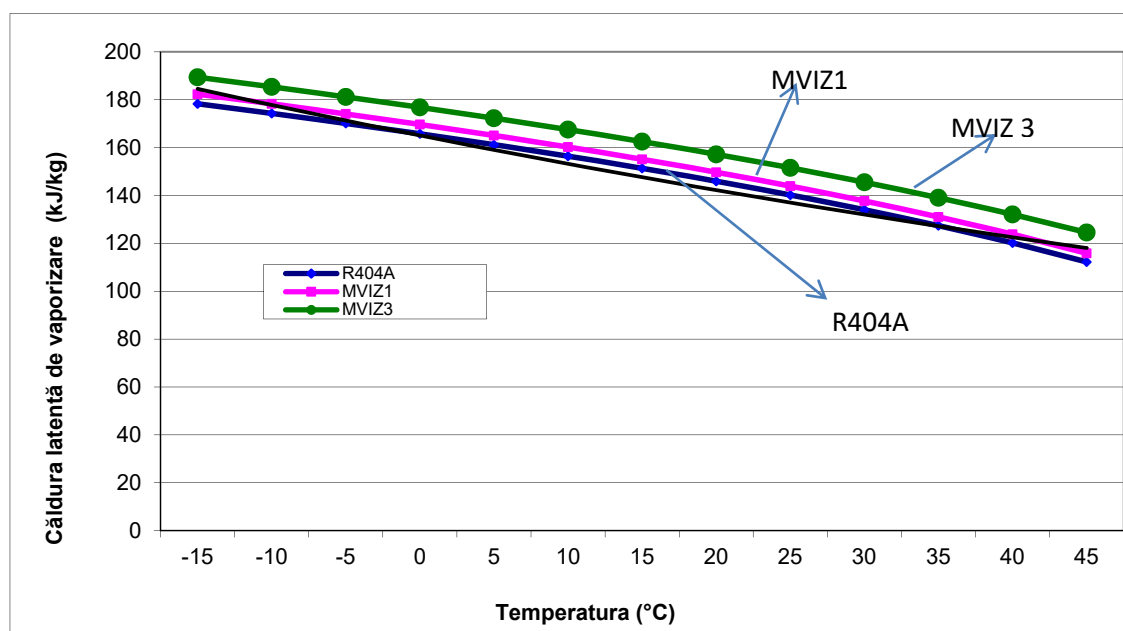


Fig. 3.10 Căldura latentă de vaporizare în funcție de temperatură

Simulare de proprietăți ale alternativelor ecologice pentru agentul frigorific R404A

Simulările au fost realizate în cazul modelului experimental al unui sistem frigorific cu compresor scroll digital.

Analiza comparativă între agentul frigorific R404A și alte două alternative (MVIZ1, MVIZ3)

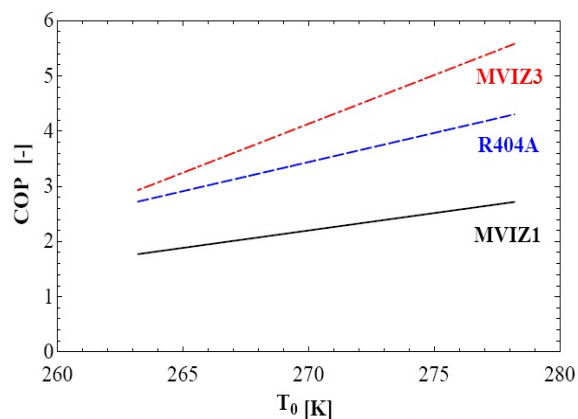


Fig. 3.11 COP-ul instalației în funcție de temperatură

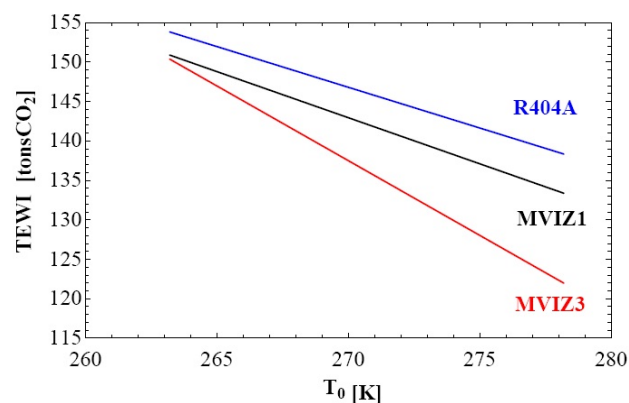


Fig. 3.12 Factorul TEWI în funcție de temperatură

Simulare de proprietăți termodinamice ale agenților frigorifici R 134a, MV3T , MV3TN și HFO 1234yf

În cazul modelului experimental PC AER-APĂ[58] se prezintă studii comparative pentru alternativele MV3T, MV3TN, R1234yf și R134a. Din Fig. 3.13 observăm că cea mai mică (avantajoasă) presiune de lucru o are MV3TN .

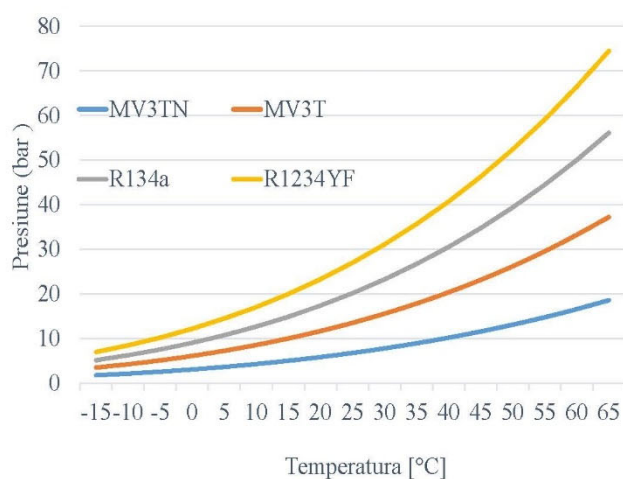


Fig. 3.13 Presiune vs. temperatură

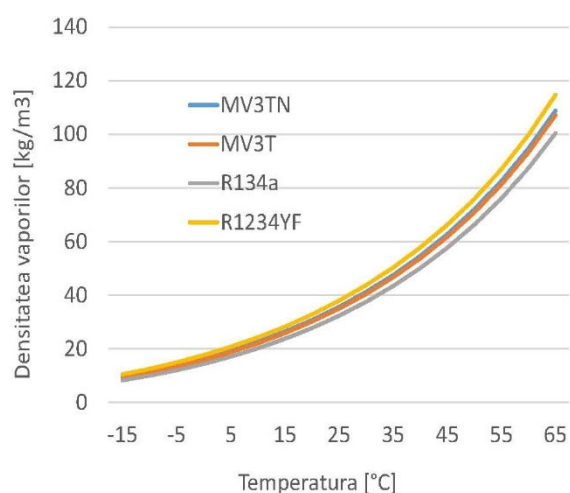


Fig. 3.14 Densitate vs. temperatură

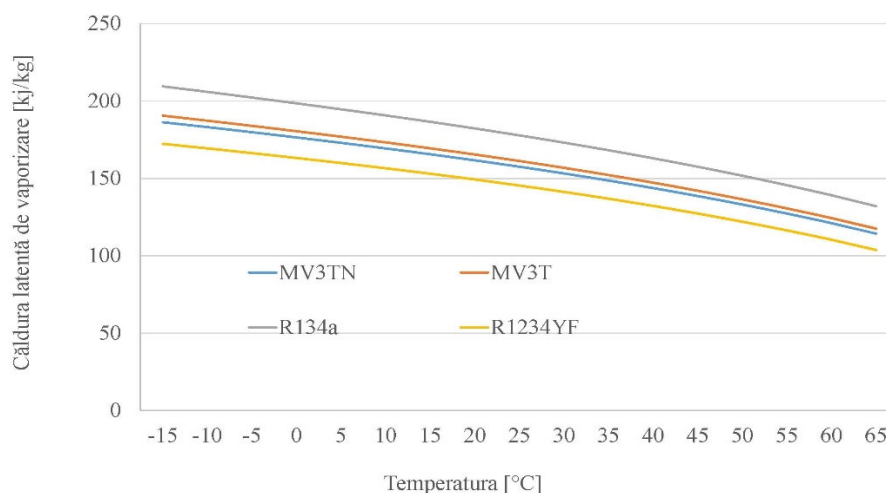
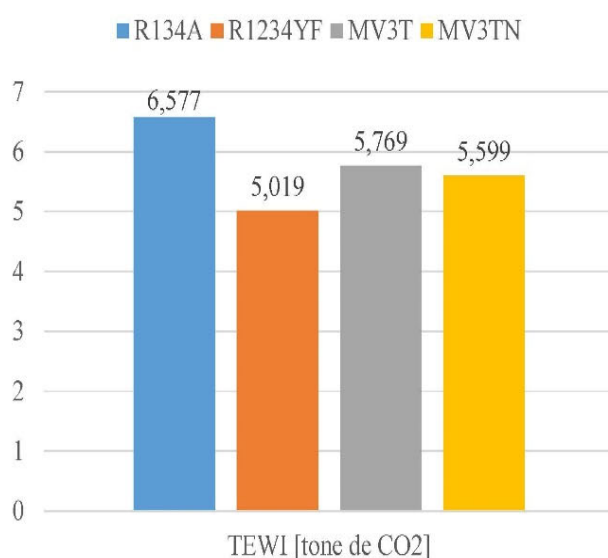


Fig.3.15 Temperatură vs. căldura latentă de vaporizare

- Amestecul MV3T are căldura latentă mai mare decât MV3TN fiind mai avantajoasă.



Agentul frigorific	R134a	R1234yf	MV3T	MV3TN
GWP [-]	1430	4	717	560
L [kg/s]	0,0624	0,0580	0,0601	0,0596
n [an]	15	15	15	15
m [kg]	0,78	0,725	0,751	0,745
$\alpha_{recuperare}$ [-]	0,8	0,8	0,8	0,8
E_{anual} [kWh /an]	1153,62	1153,62	1153,62	1153,62
β [kg/kWh de CO ₂]	0,28985	0,28985	0,28985	0,28985
$GWP \times L \times n$	1338,48	3,48	646,40	500,75
$GWP \times m(1 - \alpha_{recuperare})$	223,08	0,58	107,73	83,46
$n \times E_{anual} \times \beta$	5015,65	5015,65	5015,65	5015,65
TEWI [in kg CO ₂]	6577,21	5019,71	5769,78	5599,86
TEWI [in tone CO ₂]	6,577	5,019	5,769	5,599

Fig.3.16 Factorul TEWI

Din figurile de mai sus se poate observa că :

- Cea mai mică (avantajoasă) presiune de lucru o are MV3TN (Fig.3.13);
- Amestecurile MV3T și MV3TN au valori medii (avantajoase);
- Amestecul MV3T (Fig.3.15) are căldura latentă mai mare decât MV3TN fiind mai avantajoasă.

Din punct de vedere ecologic (Fig.3.16) amestecul MV3TN (GWP = 560) este cel mai avantajos în comparație cu R134a (GWP = 1430).

CAPITOLUL 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ȘI VALIDĂRI

4.1. Modelul experimental pompă de căldură aer-apă

4.1.1. Prezentare generală.

În esență prin această teză de doctorat s-a urmărit dezvoltarea unei direcții de cercetare privind obținerea unor noi amestecuri de agenți frigorifici ecologici ce ar putea înlocui agenții frigorifici utilizați în prezent în instalațiile frigorifice care au un ODP zero și GWP cât mai mic și realizarea unui stand experimental echipat cu o instalație frigorifică cu comprimare mecanică de vapori într-o treaptă (Fig.4.1 - 4.2) cu posibilitate de conectare viitoare la un panou solar, care să permită utilizarea energiilor neconvenționale astfel încât consumul de energie să fie cât mai scăzut în cadrul Universității Tehnice de Construcții București (U.T.C.B) - Complexul de Laboratoare Colentina. Pompa de căldură (PC) aer-apă poate utiliza trei tipuri de surse de energie: aerul ambiant, soarele și energia electrică, pentru producerea de apă caldă menajeră.

Cu toate că pompa aer-apă are cel mai scăzut *COP* dintre toate pompele la care facem referire, ea este, alături de PDC sol-apă, una dintre cele mai întâlnite din Europa. Sistemul aer-apă este un sistem relativ simplu de montat și nu necesită lucrări speciale de amenajare (săpături, foraje, etc.). Dezavantajul major al sistemului este faptul că nu poate funcționa monovalent la temperaturi foarte scăzute (începând de la cca. -15°C).

Pot funcționa bivalent- paralel monoenergetic prin folosirea unei rezistențe electrice care intră în funcțiune la temperaturi foarte scăzute (sub -15°C). Datorită acestui fapt puterea de încălzire este limitată.

4.1.2. Descrierea standului experimental

Pompa de căldură aer-apă (Fig.4.1) utilizată în teza de doctorat, are în componență următoarele echipamente:

- compresor ermetic cu piston;
- condensator cu spirală din aluminiu într-o carcasă dublă;
- vaporizator cu conductă cu lamele (Cu/Al);
- ventil de laminare termostatic;
- ventilator (2 trepte);
- boiler din oțel dublu emailat cu un volum de 270 dm^3 .

Agenții frigorifici propuși pentru înlocuirea agentului frigorific R134a sunt MV3TN și MV3T iar domeniul de aplicabilitate al pompei de căldură aer-apă este de la $+6^{\circ}\text{C}$ până la $+35^{\circ}\text{C}$. Presiunea de lucru este cuprinsă între $6\div 12\text{ bar}$, iar temperatura maximă de lucru este de 55°C .

În scopul reducerii emisiilor directe există multiple restricții UE (Directiva MAC - 2006/40/EC) [41] și a Regulamentului (UE) 517/2014 [16].

În consecință, agentul frigorific R134a care a fost utilizat până în prezent va trebui înlocuit cu un alt agent frigorific care să aibă GWP cât mai scăzut.

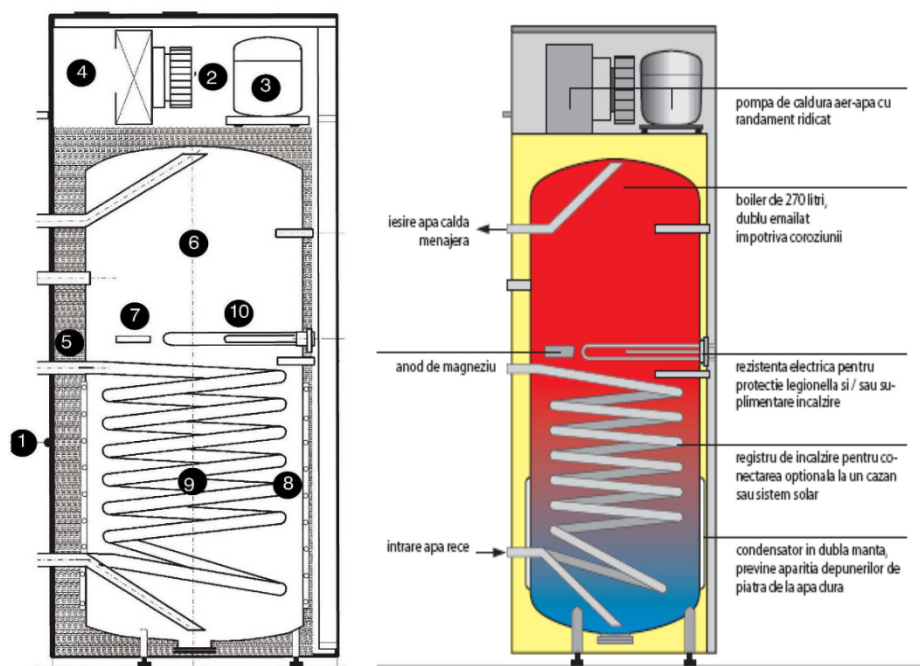


Fig. 4.1 Construcția pompei de căldură aer-apă

Modelul experimental analizat din punct de vedere tehnico-construcțiv are rolul de a prepara apă caldă pentru 13 studenți pe parcursul întregului an, indiferent de anotimp, iar frigul rezidual este folosit pentru scăderea temperaturii dintr-un laborator didactic de cca 48 mp.

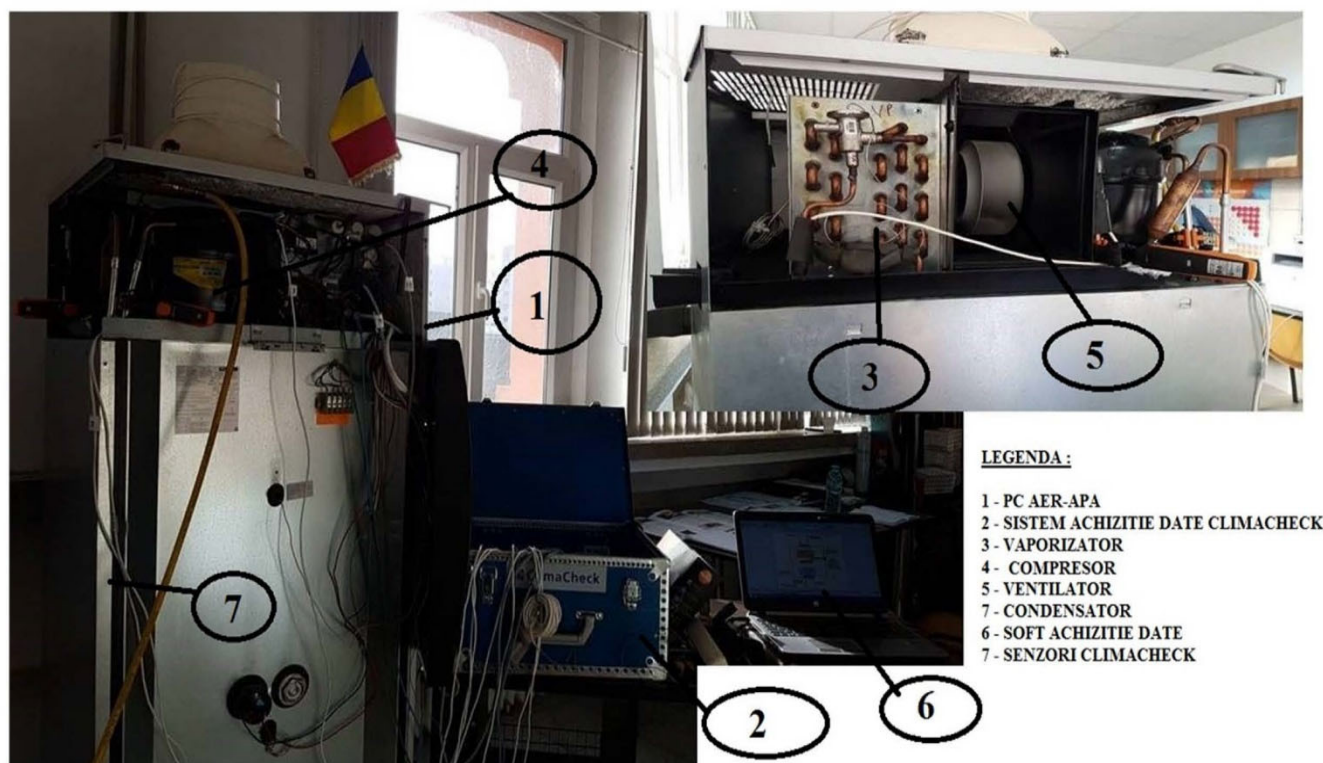


Fig. 4.2 Modelul experimental pompă de căldură aer-apă

Echipamente și aparatură de măsură utilizate



Unitatea de control a sistemului solar ESR 21-R



Butelii de agent frigorific și tipuri de ulei



Manifoldul digital utilizat în cadrul standului experimental

Echipament ClimaCheck



Detector de scăpări utilizat în cadrul standului experimental



Ventilator antiex utilizat în cadrul standului experimental



Analizor de agent frigorific GA500PLUS



Cantar electronic utilizat în cadrul standului experimental



Pompa de vid și echipament de recuperare agent frigorific utilizat în cadrul standului experimental



4.3. Analizarea și interpretarea date experimentale

4.3.1. Cazul agentului frigorific R134a

În figura de mai jos se prezintă scăderea normală a COP-ului pentru funcționarea pompei de căldură aer-apă în regim de răcire și încălzire odată cu creșterea raportului de comprimare.

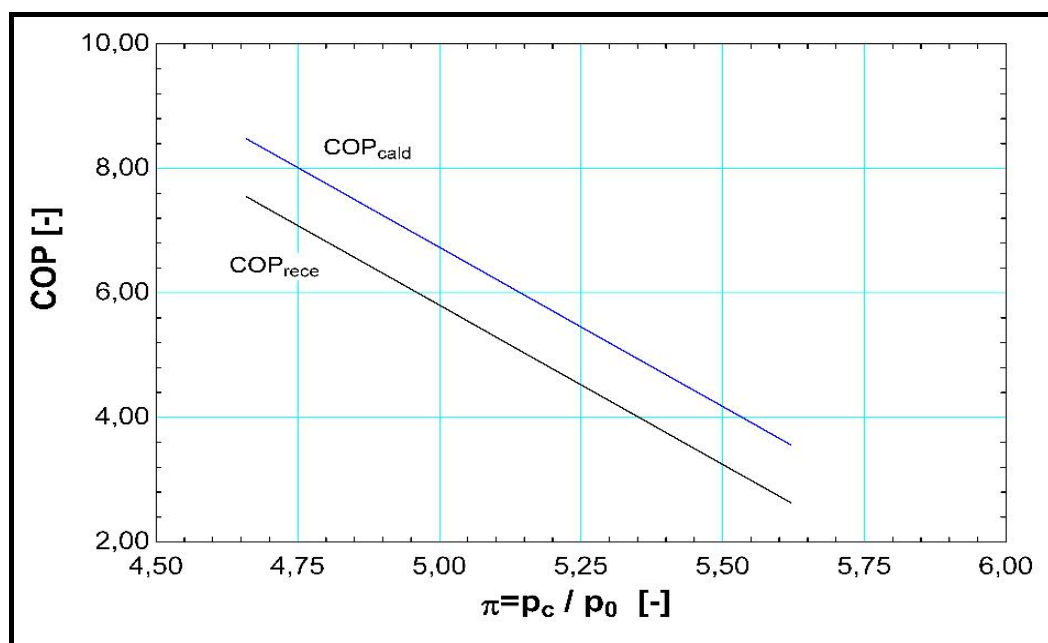


Fig. 4.3 Variația COP ului pe răcire și încălzire în funcție de raportul de comprimare .

4.3.2 Cazul agentului frigorific MV3T

În figura de mai jos se prezintă scăderea normală a COP-ului pentru funcționare în regim de răcire și încălzire odată cu creșterea raportului de comprimare în funcție de raportul de comprimare .

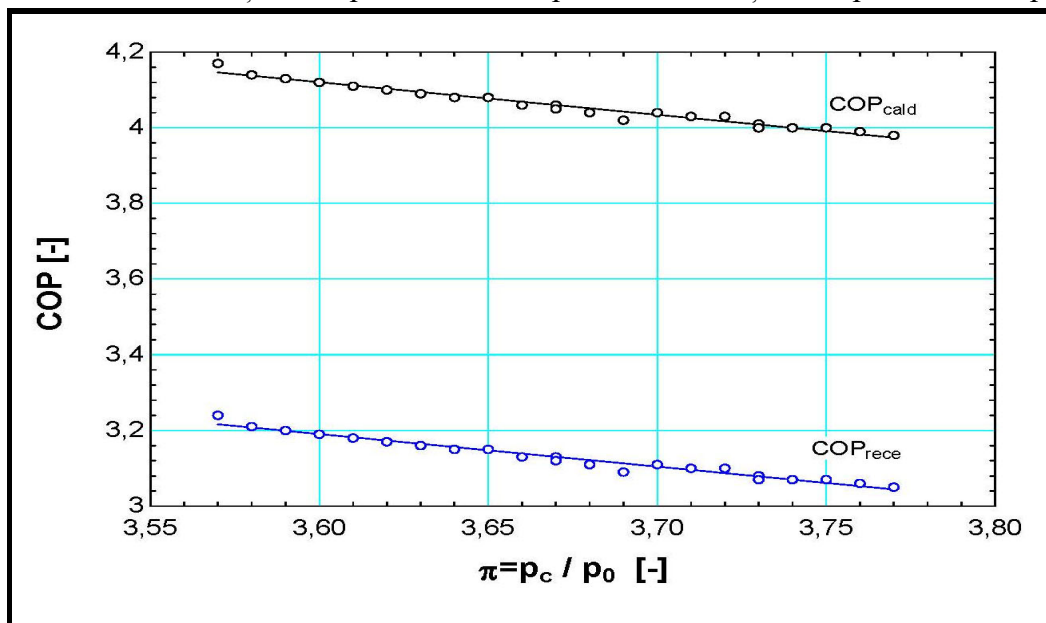


Fig. 4.4 Variația COP ului pe răcire și încălzire în funcție de raportul de comprimare .

4.3.3 Cazul agentului frigorific MV3TN

În Fig. 4.5 este prezentată variația COP pe partea de răcire în funcție de sarcina de răcire în procesul de vaporizare. Se observă o creștere a coeficientului de performanță a PC cu creșterea sarcinii de răcire.

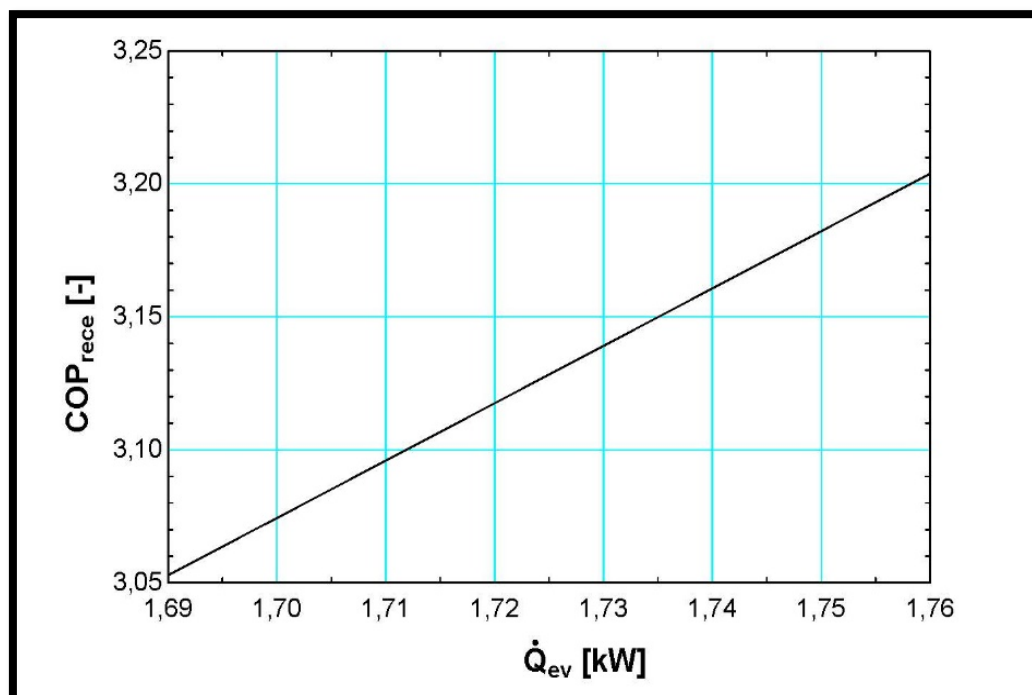


Fig. 4.5 Variația COP pe partea de răcire în funcție de sarcina de răcire

4.4. Validare date experimentale cu modelul matematic

4.4.1. Cazul agentului frigorific R134a

Autoarea lucrării a considerat important studiul sarcinii de răcire calculată în comparație cu cea măsurată pentru agentul frigorific R134a utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ.

În Fig.4.6 de mai jos se prezintă pentru sarcina de răcire dovada validării modelului experimental cu cel matematic, observându-se un grad de eroare mai mic de 3% ce se încadrează sub eroarea tehnică acceptabilă. În Fig.4.7 de mai jos se prezintă COP-ul pe partea de răcire calculat în comparație cu cel măsurat pentru agentul frigorific R134a utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ.

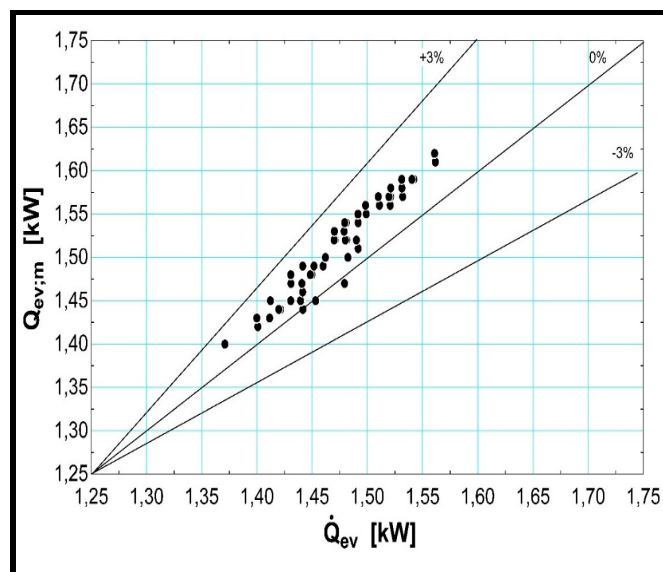


Fig.4.6 Sarcină de răcire calculată vs. măsurată a agentului frigorific R134a utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

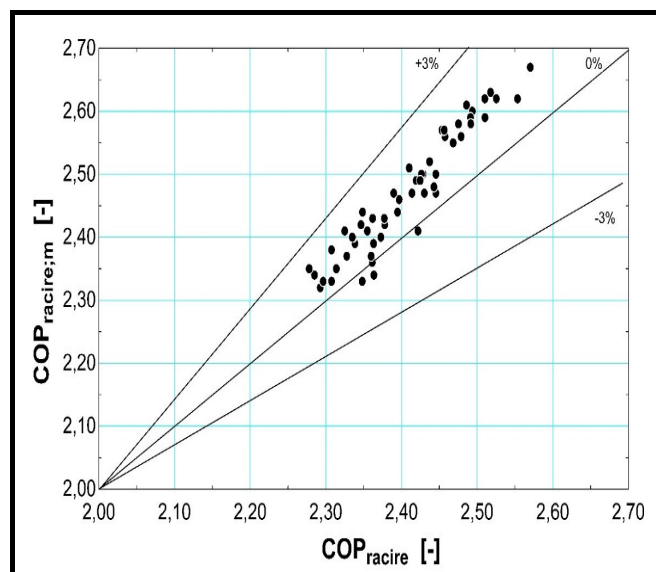


Fig.4.7 COP-ul pe partea de răcire calculat vs. măsurat al agentului frigorific R134a utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

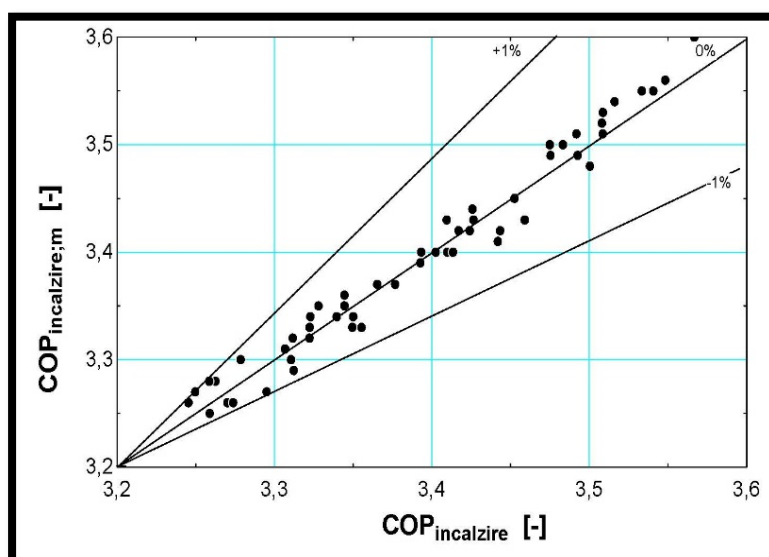


Fig.4.8 COP-ul pe partea de încălzire calculat vs. măsurat al agentului frigorific R134a utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

4.4.2 Cazul agentului frigorific MV3T

În Fig.4.9 de mai jos se prezintă pentru sarcina de răcire dovada validării modelului experimental cu cel matematic [61], observându-se un grad de eroare mai mic de 4% ce se încadrează sub eroarea tehnică acceptabilă.

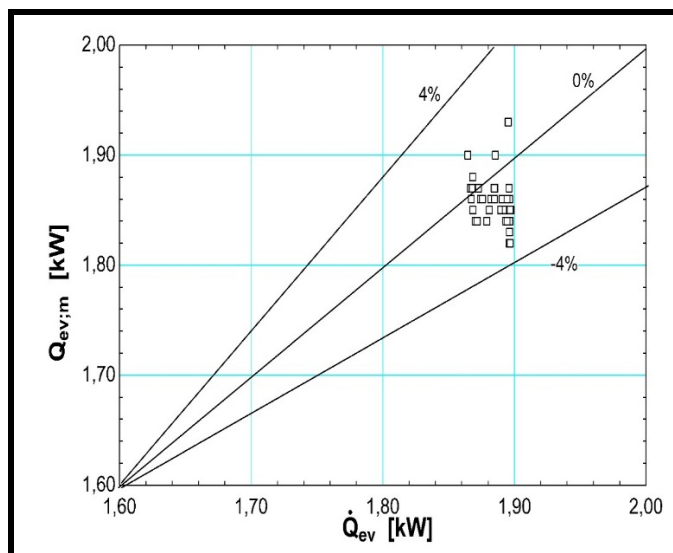


Fig.4.9 Sarcina de răcire calculată vs. măsurată a agentului frigorific MV3T utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

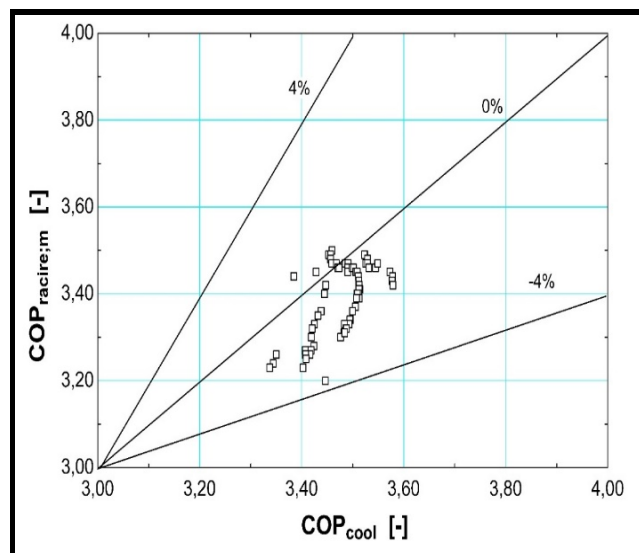


Fig.4.10 COP-ul pe partea de răcire calculat vs. măsurat al agentului frigorific MV3T utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

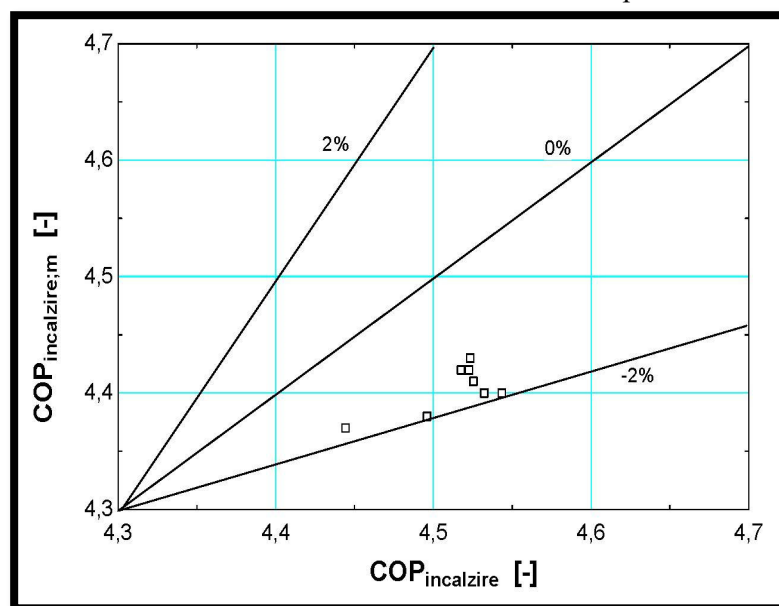


Fig.4.11 COP-ul pe partea de încălzire calculat vs. măsurat al agentului frigorific MV3T utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

De asemenea și în acest caz se observă un grad de eroare mai mic de 4% care se încadrează sub eroarea tehnică acceptabilă.

4.4.3 Cazul agentului frigorific MV3TN

În Fig.4.12 de mai jos se prezintă pentru sarcina de răcire dovada validării modelului experimental cu cel matematic, observându-se un grad de eroare mai mic de 4% ce se încadrează sub eroarea tehnică acceptabilă.

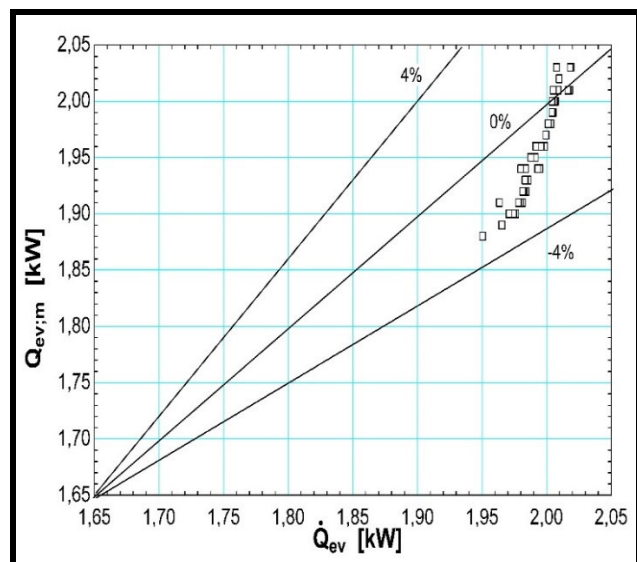


Fig.4.12 Sarcina de răcire calculată vs. măsurată a agentului frigorific MV3TN utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

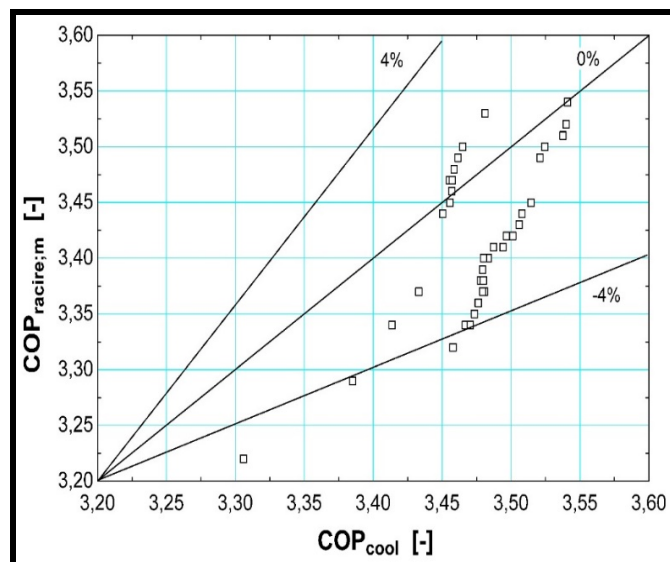


Fig.4.13 COP-ul pe partea de răcire calculat vs. măsurat al agentului frigorific MV3T utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

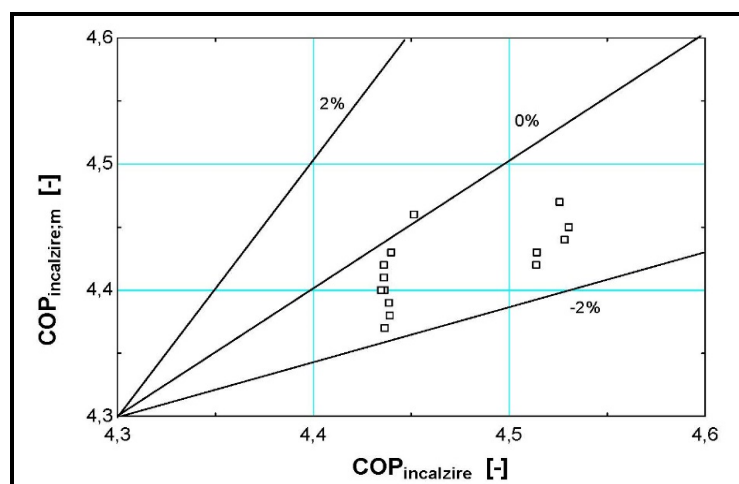


Fig. 4.14 COP-ul pe partea de încălzire calculat vs. măsurat al agentului frigorific MV3TN utilizat în cadrul standului experimental PC AER-APĂ

CAPITOLUL 5. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

5.1. Concluzii generale

Programul de cercetare propus în cadrul tezei doctorale „**Cercetări privind contribuția sistemelor frigorifice, de aer condiționat și pompe de căldură la încălzirea globală**” a îndeplinit **obiectivul principal** al lucrării de studiere a sistemelor frigorifice atât din punct de vedere ecologic cât și al eficienței energetice, cu accent pe contribuția agenților frigorifici, prin efect de seră, la încălzirea globală.

De asemenea **obiectivul general** al tezei, de realizare de cercetări științifice în vederea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră, cu referire particulară la agenții frigorifici care contribuie la încălzirea globală și schimbări climatice, în vederea respectării legislației internaționale în domeniu, a fost atins.

Teza de doctorat cu titlul: „**Cercetări privind contribuția sistemelor frigorifice, de aer condiționat și pompe de căldură la încălzirea globală**”, a avut ca obiectiv și realizarea unui stand experimental pompă de căldură aer-apă, destinat determinării performanțelor instalației frigorifice funcționând cu agentul frigorific R134a și găsirea unor noi agenți frigorifici ecologici de tip amestec MV3T, MV3TN.

În această teză se combină sinteza unui material bibliografic de actualitate cu rezultatele propriilor studii teoretice și experimentale desfășurate în cadrul unui program de cercetare complex.

Pe plan **internațional** cât și **național**, problematica agenților frigorifici care contribuie la încălzirea globală nu este încă rezolvată, acesta fiind un subiect de actualitate. La nivel **național** sunt foarte puține cercetări, dat fiind lipsa unor specialiști în domeniul termodinamicii chimice cât și a echipamentelor dedicate (gaz cromatograf, spectrofotometru, analizor) care să poată determina experimental caracteristicile termofizice și chimice ale unor amestecuri de agenți frigorifici cu diverse concentrații.

În teză s-au analizat teoretic atât substanțele simple cât și amestecurile propuse pe baza mai multor programe specifice agenților frigorifici printre care soft-ul REFPROP și a unui soft de calcul EES (Engineering Equation Solver) cu ajutorul cărora s-au simulat COP-ul instalației și factorul TEWI pentru fiecare agent frigorific propus. S-a prezentat stadiul actual în domeniu și un material bibliografic privind cercetarea amestecurilor de agenți frigorifici de către marii producători la nivel internațional. Pe parcursul elaborării tezei rezultatele parțiale teoretice au fost publicate și comunicate în reviste și manifestări științifice de specialitate atât național cât și internațional.

5.2. Contribuții personale

În cadrul tezei de doctorat au fost aduse următoarele contribuții personale cu caracter de originalitate, îndeplinindu-se și obiectivele secundare ale tezei de doctorat:

- Analiza stadiului actual al cercetărilor privind domeniul agenților frigorifici ecologici ce se pot utiliza în sistemele frigorifice (**Capitol 2**);
- Crearea de diagrame și tabele cu proprietăți termodinamice ale amestecurilor de agenți frigorifici propuși MV3T, MV3TN, precum și MVIZ1, MVIZ2, MVIZ3;
- Determinarea ecuațiilor de stare ale amestecurilor (**Capitol 3**);
- Dezvoltarea unui domeniu nou de cercetare în cadrul UTCB - Facultatea de Inginerie a Instalațiilor și anume acela al agenților frigorifici;
- Analizarea diferitelor variante de sisteme frigorifice cu diverse fluide frigorifice și propunerea de soluții optime din punct de vedere energetic și ecologic (**Capitol 3**);

- Utilizarea de programe de simulare performante pentru analiza ecologică și a eficienței energetice pentru diverse aplicații în domeniul frigului și aerului condiționat (EES, REFPROP, CLIMACHECK) (**Capitolul 3**);
- Realizarea unui stand experimental - pompă de căldură destinat determinării performanțelor instalației frigorifice ce poate funcționa cu R134a, MV3T, MV3TN în Laboratorul de protecția atmosferei, Complex Laboratoare Colentina din cadrul Universității Tehnice de Construcții București (**Capitolul 4**).

Alte contribuții personale:

- Realizarea unei documentări tehnice referitoare la cercetări în domeniul agenților frigorifici la nivel internațional din ultimii 10 ani (**Capitol 1**);
- Utilizarea de diverse programe de simulare existente la nivel internațional, pentru analiza ecologică și a eficienței energetice pentru aplicații în domeniul frigului și aerului condiționat (**Capitol 3.-subcapitolul 3.1**);
- Realizarea unei documentări tehnice referitoare la **contribuția sistemelor frigorifice, de aer condiționat și pompe de căldură la încălzirea globală** evidențiată de bibliografia prezentată;
- Propunerea unor noi agenți frigorifici ecologici de tip amestec pentru care participațiile masice au fost stabilite în urma unei analize termodinamice (**Capitol 3**) pentru un stand experimental grup compresor – condensator digital cu modularea compresorului scroll [9];
- Realizarea unor diagrame și obținerea unor proprietăți termodinamice pentru amestecurile de agenți frigorifici propuși pentru standul experimental grup compresor – condensator digital cu modularea compresorului scroll [29];
- Elaborarea unui algoritm de calcul, un model matematic și un program de simulare propriu pentru *sistemul pompă de căldură aer-apă funcționând cu agentul frigorific R134a*, MV3T, MV3TN;
- Obținerea în vederea alinierii la legislația europeană a unor mixturi de agenți frigorifici și anume MV3T, MV3TN cu GWP mai mic de 750 [conform Regulamentului (UE) 517/2014] [16];
- Prelucrarea datelor experimentale a condus la rezultate comparabile cu cele din utilizarea modelului matematic (**Capitol 4**), la validarea modelului experimental cu cel matematic, observându-se un grad de eroare mai mic de 3% (0.75-2.9) ce se încadrează sub eroarea tehnică acceptabilă.

În acord cu subiectul tezei s-au elaborat un număr de peste **50 de articole științifice** după cum urmează:

- ▶ - 13- articole se regăsesc pe site-ul IIFIIR
- ▶ - 25 – Google Academic (din 2014-prezent)
- ▶ - 8 - articole pe site-ul <https://orcid.org/0000-0003-0079-1562> (Scopus - Elsevier)
- ▶ - 14 <https://publons.com/researcher/3110311/vinceriuc-mioara/publications/>
- Web of Science Researcher ID Y-1626-2019
- ▶ - 1- <http://www.riss.kr/search>

Dintre lucrările menționate anterior, 5 sunt publicate în calitate de prim autor la manifestări științifice naționale și internaționale cum ar fi SGEM 2018, CLIMA 2019, BELGRAD 2019, TIMIȘOARA 2019, DSC 2020.

5.3.Probleme de perspectivă

Teza poate fi considerată o continuare a cercetărilor desfășurate în domeniul agenților frigorifici la nivel național.

Direcțiile de cercetare viitoare pot implica:

- Găsirea de alternative ecologice cu GWP scăzut sau zero în vederea alinierii la legislația UE;
- Utilizarea unei instalații deja existente (proiectată în condiții optime) care este supusă unor regimuri funcționale diferite față de cel nominal cu amestecurile MVIZ1, MVIZ2, MVIZ3 și altele pentru standul experimental al grupului compresor – condensator digital cu modularea compresorului scroll;
- Descoperirea de noi agenți frigorifici ecologici care să nu contribuie direct la încălzirea globală (GWP =0, ODP=0);
- Dezvoltarea standului experimental al grupului compresor – condensator digital cu modularea compresorului scroll și utilizarea sa pentru validarea rezultatelor teoretice obținute în urma direcțiilor de cercetare menționate anterior;
- Analiza performanțelor termodinamice și ecologice ale agenților frigorifici pentru sisteme de climă auto cu realizarea unor simulări matematice urmate de validări experimentale;
- Valorificarea rezultatelor cercetării în domeniul agenților frigorifici pentru diverse domenii.

Analizele realizate în teza cu titlul: „ **Cercetări privind contribuția sistemelor frigorifice, de aer condiționat și pompe de căldură la încălzirea globală**” pot constitui o bază pentru studiile viitoare în domeniul instalațiilor frigorifice ce utilizează energii regenerabile (ex: energie solară) în vederea implementării în sistemele cu pompe de căldură aer-apă cu panouri solare.

În teză capitolul bibliografie cuprinde 131 de referințe dintre care au fost prezentate cele mai importante și care se regăsesc în rezumatul tezei de doctorat.

Bibliografie selectivă :

- [1]. A. Leca, I. Prisecaru, *Proprietăți termofizice și termodinamice solide, lichide și gaze*, Editura Tehnică, București, 1994.
- [2]. A. A. Akopian, „*Termodinamică chimică*”, traducere din limba rusă, Editura didactică și pedagogică, București, 1968.
- [3]. I. Antohi, *Termodinamică Tehnică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1971
- [4]. F. Chiriac, F. Băltărețu, C. Mihăilă, *Termodinamică chimică*, Editura Agir, București, 2006
- [5]. Țârlea G, *Instalații frigorifice ecologice*, ECOLEX, București, 2002.
- [6] Codul bunelor practici – *Domeniul frigului și aerului condiționat*, Editura AGIR, București, 2008-2009
- [7]. The National Institute of Standards and Technology (NIST) - *Refprop version 8.0*, USA, 2007
- [8]. Bitzer - *Refrigerent Report 2008, 2012, 2018*
- [9]. Ion Zabet - *Teza de doctorat- Contributii la studiul eco- eficientizării sistemelor frigorifice*, 2012
- [10]. Standard European *EN 378-1:2008*, 2017
- [11]. SR EN378- *Refrigerating systems and heat pumps - safety and environmental requirements*”, 2005, European standard, CEN.
- [12]. SOLKANE versiunea 6.0
- [13] KANS, *KansRef*, Datasysteem voor natuurlijke koudemiddelen en koudedragers, versie 1.4
- [14]. DuPont *Refrigerant Expert™*
- [15]. *ClimaCheck Performance Analyser 8:7* (2008 - Ver 2.2X.Y)
- [16]. *Regulation (EU) no 517/2014* of the European Parliament and of the council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014R0517>
- [17]. *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer* (2000), Secretariat for the Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer & the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer.
- [18]. *Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change*, United Nations Framework Convention on Climate Change, 1997
- [19-40]. Ing. Mioara Vinceriuc, Prof.univ.dr.ing.Grația Maria Tarlea, et all. - articole publicate în reviste și în volume ale conferințelor internaționale în perioada 2009-2018;
- [41]. *Directiva 2006/40/CE a Parlamentului European și a Consiliului* din 17 mai 2006 privind emisiile provenite de la sistemele de climatizare ale autovehiculelor și de modificare a Directivei 70/156/CEE a Consiliului
- [42]. *Regulamentul de punere în aplicare (UE) 2015/2067* al comisiei din 17 noiembrie 2015
- [43]. EES Software (*Engineering Equation Solver*)
- [44]. *Amendment to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer Kigali*, 15 October 2016
- [45]. EN 14511-3:2007 - *Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling - Part 3: Test methods*- English Version
- [46]. Kamel Sgar Hmooda*, Horatiu Popb, Valentin Apostol, Ahmed Qasim Ahmedd - *Refrigerants Retrofit as Alternative for R12 and R134a in Household Refrigerators*, American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) ISSN (Print) 2313-4410, ISSN (Online) 2313-4402

- [47]. Gaurav and Raj Kumar- *Thermo economic analysis of environmental friendly refrigerant mixtures for replacement of R134a*, Vol. 13, No. 4, 2018
- [48]. https://ec.europa.eu/clima/news/eu-ratifies-kigali-amendment-montreal-protocol_en
- [49]. Standard AHRI 700 - *Specifications for Refrigerants*, 2017
- [50]. Standard for *Performance Rating of Unitary Air-conditioning & Air-source Heat Pump Equipment*, 2017
- [51] Vinceriuc M., Țârlea G , Tarlea A.- *Air-Water-Heat Pump with low GWP refrigerant* - CLIMA 2019
- [52] Lemmon, E.W., M.L. Huber, and M.O. McLinden, *NIST standard reference database 23, NIST reference fluid thermodynamic and transport properties—REFPROP*, v. 9.2. Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2016
- [53] ASHRAE - *Designation and safety classification of refrigerants*. ANSI/ ASHRAE Standard 34-2016
- [54] Calm, J. C., G. C. Hourahan, A. Vonsild, D. Clodic, and D. Colbourne - *2014 Report of the refrigeration, air conditioning, and heat pumps technical options committee, Ch. 2: Refrigerants*. United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, Nairobi, [ozone.unep.org /en/assessment-panels/technology-and-economic-assessment-panel](https://ozone.unep.org/en/assessment-panels/technology-and-economic-assessment-panel), 2015
- [55] M. Vinceriuc, G. Tarlea - *Retrofit cu amestecuri de agenți frigorifici cu GWP redus*, Conferința: Instalații pentru Construcții Energie, Eficiență, Confort, 2019, ISSN 2559-6985
- [56] M. Vinceriuc – *Low GWP alternative for R404A refrigerant* publicata in volumul conferintei cu participare internationala, Instalatii pentru constructii si confortul ambiental , Editia 28, 12 aprilie Timisoara 2019, pagina 79 -84, Ed.Politehnica ISSN 1842-9491
- [57] Mioara Vinceriuc, Gratiela TARLEA- *Mathematical And Experimental Mv3tn Heat Pump Validation*, 2nd Conference of the UTCB Doctoral School, 25th of October 2019, Hydrotechnics Faculty
- [58]. Mioara Vinceriuc, Gratiela Tarlea - *Comparative refrigerants study of R134a, R1234YF, MV3T and MV3TN*, 50-International Hvac&R Congress And Exhibition (KGH), 299-301 pp, 2019, Belgrad,
- [59]. Gratiela Tarlea, Mioara Vinceriuc, Ion Zabet- *Air-Water Heat Pump Modelling*, 50-International Hvac&R Congress And Exhibition (KGH), 2019, Belgrad
https://kgk-kongres.rs/images/2019/prezentacije/66_Gratiela_Tarlea.pdf
- [60] Vinceriuc Mioara and Tarlea Gratiela - *TEWI Calculation for AC Technological Application*, 3rd Conference of the UTCB Doctoral School, 27th of November 2020, Bucharest, TUCB; <https://sd.utcb.ro/dsc-2020/programme-2020/>
- [61] Mioara Vinceriuc and Gratiela TARLEA- *Numerical and Experimental Analysis of the MV3T Refrigerant*, Building Services and Energy Efficiency, Modernizing and increasing performance of Building Services, July 2nd, 2020 - July 3rd, 2020, Iași; DOI: 10.2478/9788395720413-004, <https://sciendo.com/de/chapter/9788395720413/10.2478%2F9788395720413-toc>
- [62] Gratiela Tarlea, Mioara Vinceriuc, Ana Tarlea -*A Natural Refrigerant DME and HC Eco- Efficient Mixture Alternative*, PAPER ID: 1181, 14th Gustav Lorentzen Conference, Kyoto, Japan, 6th- 9th December, 2020, ISSN: 0151-1637, ISBN: 978-2-36215-040-1, Publication: IIF-IIR - Paris – France, IIR Conference; DOI: <http://dx.doi.org/10.18462/iir.gl.2020.1181>, <https://biz.knt.co.jp/tour/2020/12/gl2020/pdf/program.pdf>
- [63]. Prof. Gratiela Maria Tarlea PhD, Drd.Ing. Mioara Vinceriuc, *Air Conditioning Total Equivalent Warming Impact Comparison*, Presentation at 51. MEĐUNARODNI KONGRES I IZLOŽBA O KGH, 2-4 December 2020; <https://kgk-kongres.rs/index.php/sr/program>
- [64] M Vinceriuc¹ and G M Tarlea¹ - *Total equivalent warming impact calculation for air conditioning technological application*, Published under licence by IOP Publishing Ltd, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 664, The 7th Conference of the Sustainable Solutions for Energy and Environment 21-24 October 2020, Bucharest, Romania, Online ISSN: 1755-1315, Print ISSN: 1755-1307; DOI:10.1088/1755-1315/664/1/012078