



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE ENERGETICĂ

## REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

# **Influența funcționării în condiții de ancrasare asupra eficienței sistemelor HVAC**

**autor:** ing. Marian VOINEA  
**cadru didactic îndrumător:** prof.dr.ing. Horia NECULA

## CUPRINS

INTRODUCERE .....	3
1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘTIINȚIFICE .....	4
1.1 Aspecte tehnice.....	4
1.2 Aspecte de management .....	4
1.3 Articole publicate .....	4
2. DESCRIEREA TEHNICĂ A INSTALAȚIEI HVAC ANALIZATĂ.....	5
3. EFECTELE ANCRASĂRII ȘI DESCRIEREA STUDIULUI DE CAZ.....	6
3. 1 Descrierea studiului de caz .....	6
4. CALCULUL CICLULUI FRIGORIFIC AL INSTALAȚIEI EXPERIMENTALE .....	6
5. REZULTATELE CALCULELOR ȘI ANALIZA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE.....	7
5.1 Tabele cu măsurători și rezultatele calculelor.....	7
5.2 Reprezentarea și analiza grafică a rezultatelor obținute .....	7
6. ANALIZA ECONOMICĂ.....	9
7. MĂSURI DE EFICIENTIZARE A MENTENANȚEI.....	10
8. CONCLUZII .....	11
9. PERSPECTIVE DE CERCETARE .....	12
BIBLIOGRAFIE.....	13

**Cuvinte cheie:** ancrasare, HVAC, schimbătoare de căldură, filtre, mentenanță, eficiență.

# INTRODUCERE

În prezent, concomitent cu degradarea calității aerului din cauza poluării, climatizarea a devenit o cerință esențială.

Procesul de condiționare a aerului are o largă răspândire și o continuă dezvoltare tehnologică a echipamentelor, cunoscute sub abrevierea de *HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning)*. Condiționarea aerului presupune tratarea aerului în mediile interioare (clădiri de birouri, locuințe, spații comerciale, hale industriale), crearea și menținerea unui climat în anumite condiții de temperatură, umiditate și circulație a aerului, astfel încât acesta să producă efectele dorite asupra ocupanților din spațiile condiționate, sau aplicațiilor de climă precisă pentru depozite [1].

## IMPORTANȚA ȘI ACTUALITATEA SUBIECTULUI:

Pentru a menține confortul termic dorit în spațiile condiționate, sistemele de climatizare trebuie să funcționeze la parametri optimi ai eficienței. Funcționarea pe termen lung a acestor echipamente fără a lua în calcul un plan eficient de management în activitatea de mentenanță, conduce la diminuarea eficienței și a fiabilității sistemului de climatizare, concomitent cu creșterea costurilor de exploatare și a numărului de intervenții corective ulterioare.

Apar astfel erori și defecțiuni care cresc considerabil costurile în exploatare și costurile cu intervențiile corective (cele de reparație sau înlocuire a pieselor defecte).

## CONTRIBUȚII ORIGINALE:

Principalele contribuții originale desprinse în urma studiului realizat au fost:

- Analiza în studiu a unei durate de funcționare îndelungate (două sezoane a câte șase luni fiecare), în regimurile de răcire și încălzire, deci condițiile de cercetare reale, semnificative pentru instalațiile de tip HVAC;
- Analiza influenței lunare pe care fenomenul de ancrasare o are asupra parametrilor electrici și termodinamici ai instalației, pentru fiecare sezon de funcționare;
- Determinarea timpului optim de intervenție pentru activitatea de mentenanță, pe baza unei analize tehnico-economice;
- Ierarhizarea parametrilor tehnici care influențează funcționarea în condiții de ancrasare;
- Evidențierea importanței operațiunii de mentenanță optime pentru funcționarea în condiții de eficiență a instalațiilor HVAC;
- Propunerea tipurilor de acțiuni de mentenanță necesare a fi efectuate pentru asigurarea funcționării cu eficiență ridicată a instalațiilor HVAC;

# 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘTIINȚIFICE

## 1.1 Aspecte tehnice

Pentru a menține confortul termic interior dorit, energia trebuie extrasă sau introdusă în spațiul în care are loc condiționarea aerului. Astfel, energia sub formă de căldură sensibilă sau căldură latentă trebuie furnizată în sezonul rece și extrasă în sezonul cald, din spațiul condiționat. Ancrasarea schimbătoarelor de căldură și a filtrelor este un fenomen des întâlnit și cu un impact deosebit de important în ceea ce privește influența pe care o are asupra eficienței și fiabilității instalațiilor HVAC.

Neglijarea acestui fenomen conduce la scăderea eficienței de răcire/încălzire și creșterea consumului de energie electrică [5]. Succesiunea etapelor fenomenului de ancrasare pe filtre sau pe suprafețele de schimb de căldură ale schimbătoarelor termice, are loc după cum urmează: faza inițială de depunere, transportul pe suprafață, depunerea pe suprafața respectivă, o parte din depuneri este îndepărtată odată cu trecerea debitului de agent termic secundar (fluxul de aer), îmbătrânirea depozitelor de particule [4].

## 1.2 Aspecte de management

Trendul actual când vine vorba de o investiție pentru un echipament HVAC nou, presupune a se lua în calcul nu doar costul de achiziție al acestuia, ci trebuie avut în vedere costul total al echipamentului.

Un sondaj al diferitelor mărci arată că 70% din costul total al unui echipament de climatizare este reprezentat de consumul de energie. Pentru ca acest consum să fie menținut în parametri optimi, staful tehnic și conducerea sectorului pentru care se dorește implementarea soluției HVAC, trebuie să cunoască foarte bine performanțele energetice ale echipamentului. Reglementările europene actuale pun mult accent pe certificări ale echipamentelor, ca de exemplu, ErP (Energy related Products) 2018 sau chiar ErP 2021.

Abordarea subiectului mentenanței se face proactiv sau reactiv. Mentenanța proactivă elimină problemele înainte ca acestea să apară. John E. Day, Jr. (1993) a făcut lucrări excelente dezvoltând conceptul de întreținere proactivă [64].

## 1.3 Articole publicate

Ca punct de plecare în cercetarea științifică a tezei, a fost realizat articolul „[Aspects regarding fouling of the heat exchanger coils and filters on the performance of packaged air to air HVAC system](#)”, susținut la conferința IEEE (CIEM), București, 2017 [69].

După o durată de funcționare de 1 an în exploatare a sistemului HVAC de tip rooftop analizat, fără a se interveni cu mentenanța, au fost analizate în aceleași condiții (în sezonul cald), patru

cazuri de funcționare a instalației cu filtrele și schimbătoarele de căldură în condiții curate, respectiv condiții de ancrasare. Rezultatele studiului au aratat următoarele aspecte :

- Ancrasarea filtrelor are un impact mult mai mare asupra consumului de energie electrică, decât ancrasarea schimbătoarelor de căldură.  
Astfel, comparativ cu condițiile de eficiență maximă (condițiile curate de funcționare), ancrasarea schimbătoarelor de căldură generează un consum electric cu 8% mai mare, în timp ce ancrasarea filtrelor de aer generează un consum electric cu 19% mai mare.
- Ancrasarea filtrelor diminuează eficiența frigorifică a instalației cu 7% mai mult față de ancrasarea schimbătoarelor de căldură.
- Ancrasarea simultană a filtrelor și schimbătoarelor de căldură diminuează eficiența frigorifică cu până la 22%, iar temperatura de suflare în spațiul condiționat crește cu 6°C.

Articolul anterior este consolidat de un alt studiu: „[Experimental fouling analysis in HVAC rooftop units](#)”, articol publicat în 2020, în Buletinul Științific UPB [70], prin care este scoasă în evidență importanța realizării intervențiilor de mentenanță la timp și evitarea funcționării instalației în condiții de ancrasare.

Cercetarea are la bază o durată de analiză de șase luni, la funcționarea instalației în sezonul cald. Pe durata exploatării, sunt analizate lunar influențele ancrasării filtrelor și schimbătoarelor de căldură asupra parametrilor tehnici ai instalației.

Articolul arată importanța managementului în activitatea de mentenanță, astfel încât aceasta să se realizeze corect și optim. Pentru acest lucru trebuie să se țină cont nu doar de cheltuielile cu frecvența intervențiilor de mentenanță, ci și de cheltuielile de exploatare (date în cea mai mare parte de consumul cu energia electrică).

Cele două articole descrise anterior reprezintă punctele de plecare și realizare a tezei.

## **2. DESCRIEREA TEHNICĂ A INSTALAȚIEI HVAC ANALIZATĂ**

Instalația analizată este o centrală HVAC aer-aer reversibilă, dublu-flux, cuplată la un modul termic în condensatie. Domeniul de aplicabilitate pentru acest tip de centrală este destinat spațiilor comerciale (galerii comerciale, zona de restaurante), unde se pune accent nu doar pe introducerea, ci și pe extracția aerului.

Centrala HVAC analizată este de tip rooftop aer-aer dublu flux, regimurile de funcționare ale acesteia fiind:

- pompă de căldură;
- aer condiționat (proces termodinamic);
- răcire cu aerul exterior (free-cooling);
- pompă de căldură + cazane în condensatie;
- cazane în condensatie.

### **3. EFECTELE ANCRASĂRII ȘI DESCRIEREA STUDIULUI DE CAZ**

În acest capitol sunt prezentate aspectele referitoare la efectele care pot apărea în urma ancrasării concomitente a filtrelor și a condensatorului, în timpul funcționării instalației pe o perioadă de șase luni în sezonul cald și șase luni în sezonul rece. Centrala HVAC analizată este amplasată exterior, la înălțime (deasupra unui centru comercial), fenomenul de ancrasare este puternic influențat de depunerile de praf care provin atât din recircularea aerului din spațiul condiționat, dar și din mediul exterior odată cu admisia aerului proaspăt, aer care este încărcat cu particule de praf și care provine din învecinătatea urbană aflată în curs de dezvoltare.

#### **3.1 Descrierea studiului de caz**

În această lucrare este efectuată analiza ciclului frigorific în condiții de eficiență maximă (condiții curate de funcționare) și condiții de ancrasare.

Așadar, timp de șase luni a fost analizată concomitent influența ancrasării filtrelor și a condensatorului asupra parametrilor instalației HVAC, atât la funcționarea în sezonul cald, cât și la funcționarea în sezonul rece.

Parametrii ciclului frigorific au fost analizați lunar de-a lungul perioadei de șase luni, valorile fiind înregistrate timp de o oră la fiecare etapă de măsurători. Parametrii înregistrați cu aparatul Testo 550 sunt: presiunile la admisie și refularea compresorului, temperaturile de vaporizare și condensare, temperatura la intrarea în compresor, temperatura la ieșirea din condensator, gradul de supraîncălzire, gradul de subrăcire.

### **4. CALCULUL CICLULUI FRIGORIFIC AL INSTALAȚIEI EXPERIMENTALE**

Acest capitol prezintă descrierea instalației din punct de vedere teoretic în diagramele termodinamice  $\lg-p$  și  $T-s$ . De asemenea, sunt prezentate relațiile pentru calculul eficienței instalației, în ambele regimuri de funcționare, pe seama măsurătorilor termodinamice realizate.

## **5. REZULTATELE CALCULELOR ȘI ANALIZA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE**

### **5.1 Tabele cu măsurători și rezultatele calculelor**

Acest subcapitol prezintă centralizarea valorilor medii ale parametrilor mășurați și calculați, la funcționarea în regim de răcire și încălzire, atât pentru agentul termic secundar (aerul), cât și pentru agentul termic primar (agentul frigorific de tip R410A).

Valorile măsurate și calculate pentru cele șase luni au fost înregistrate la sfârșitul fiecărei luni corespunzătoare sezonului analizat. Parametrii de eficiență maximă sunt înregistrați în prima lună de funcționare; indiferent că sunt la începutul sau la sfârșitul acesteia, diferențele sunt ne semnificative. Influențele asupra parametrilor încep să fie vizibile din luna a doua de funcționare.

Comparând funcționarea instalației în sezonul cald cu funcționarea acesteia în sezonul rece, efectele ancrasării ce cauzează restricționarea debitului de aer prin filtre și schimbătoarele de căldură, sunt mult mai pronunțate la funcționarea instalației în sezonul cald.

Astfel s-au constatat următoarele aspecte:

- după 6 luni de funcționare în sezonul cald:
  - ancrasarea filtrelor influențează diminuarea debitului de aer la trecerea prin vaporizator cu 20%;
  - puterea frigorifică a vaporizatorului este diminuată cu 33%;
  - puterea termică a condensatorului este diminuată cu 26%;
  - temperatura de introducere în spațiul condiționat crește cu 24% față de valoarea optimă de 15.5°C;
- după 6 luni de funcționare în sezonul rece:
  - ancrasarea filtrelor influențează diminuarea debitului de aer la trecerea prin condensator cu 16%;
  - puterea frigorifică a vaporizatorului este diminuată cu 28%;
  - puterea termică a condensatorului este diminuată cu 20%;
  - temperatura de introducere în spațiul condiționat scade cu 7% față de valoarea optimă de 33°C;

### **5.2 Reprezentarea și analiza grafică a rezultatelor obținute**

Presiunile de vaporizare și condensare au o evoluție a parametrilor destul de apropiată în primele trei luni de funcționare, în ambele regimuri de funcționare, diferențele încep să fie vizibile din luna a patra de funcționare, deoarece gradul de colmatare al filtrelor și al condensatorului crește. În condiții avansate de ancrasare, valorile presiunilor cresc, în special pentru presiunea de condensare la funcționarea în sezonul cald, iar tendințele de variații devin

instabile pentru valorile presiunilor înregistrate în ultima luna de funcționare; evoluția grafică nu mai este constantă, ci prezintă fluctuații.

Reprezentările grafice ale presiunii de condensare arată faptul că aceasta este influențată să crească foarte mult la funcționare în sezonul cald. Motivul ar putea fi pus pe seama a trei factori: ancrasarea filtrelor din calea vaporizatorului, ancrasarea condensatorului, schimbul termic al condensatorului cu mediul exterior la o temperatura mult mai ridicată în sezonul cald, comparativ cu funcționarea în sezonul rece.

Conform reprezentărilor grafice, la nivelul condensatorului se remarcă următoarele aspecte:

- Intensificarea fenomenului de ancrasare la funcționarea în sezonul cald, face ca răcirea condensatorului prin schimbul termic cu mediul exterior să fie afectată din cauza restricționării fuxului de aer la trecerea prin fasciculele de țevi. Totodată și temperatura ridicată a mediului exterior îngreunează degajarea caloriilor, prin urmare, după o perioadă de funcționare de șase luni, temperatura de condensare crește cu 34 %, iar temperatura la ieșirea din condensator crește cu 47%.
- Intensificarea fenomenului de ancrasare la funcționarea în sezonul rece este mai puțin intensă în ceea ce privește influența asupra creșterii temperaturilor. Temperatura de condensare crește cu 15%, în timp ce temperatura la ieșirea din condensator crește cu 30%.

Pe măsură ce debitul de aer la trecerea prin vaporizator este redus cu 20% (echivalentul a 4530 m<sup>3</sup>/h pentru cazul analizat), datorită colmatării filtrelor, transferul termic către agentul termic secundar este și el influențat. Astfel, temperatura agentului secundar (aerul introdus în spațiul condiționat) la ieșirea din vaporizator crește cu 23.6%.

La funcționarea în sezonul rece, ancrasarea filtrelor diminuează debitul de aer la trecerea prin condensator cu 16%, prin urmare, temperatura fluxului de aer introdus în spațiul condiționat este redusă cu 7.5%.

Titlul vaporilor la intrarea în vaporizator pentru cazul de analiză în condiții de eficiență maximă, are valoarea 0.25 - 0.26, în timp ce titlul vaporilor la intrarea în vaporizator pentru cazul de analiză în condiții de ancrasare se deplasează spre dreapta la valoarea 0.38.

Deplasarea spre dreapta a titlului vaporilor la intrarea în vaporizator indică o micșorare a puterii frigorifice și termice specifice, efectul se observă și în figura 5.15 de mai jos.

- În sezonul cald, puterea frigorifică specifică este redusă de la 171 kJ/kg la 138 kJ/kg, iar puterea termică specifică este redusă de la 207 kJ/kg la 185 kJ/kg.
- În sezonul rece, puterea frigorifică specifică este redusă de la 173 kJ/kg la 149 kJ/kg, iar puterea termică specifică este redusă de la 210 kJ/kg la 201 kJ/kg.



## 6. ANALIZA ECONOMICĂ

Scopul acestui capitol este de a scoate în evidență planificarea intervențiilor de mentenanță nu doar din punct de vedere al aspectelor tehnice, ci și economice.

Pentru această etapă au fost analizate cheltuielile, care pot fi defalcate în două categorii:

- *Cheltuieli de exploatare*, care sunt reprezentate date de energia electrică consumată;
- *Cheltuieli de mentenanță* propriu-zisă, care sunt reprezentate în principal de activitățile ce presupun achiziționarea și înlocuirea filtrelor, cheltuieli de deplasare, etc;

După ce aceste aspecte sunt realizate, se identifică timpul optim pentru realizarea intervenției de mentenanță preventivă.

### 6.1 Analiza consumului cu energia electrică

Consumatorii electrici principali ai instalației sunt compresoarele și ventilatoarele de introducere și extracție aer. Sunt evidențiate consumurile electrice și costurile cu energia electrică, la funcționarea în ambele sezoane, pentru fiecare lună analizată.

Ancrasarea filtrelor și schimbătoarelor de căldură are următoarele efecte:

- restricționarea debitului de aer și implicit înrăutățirea transferului termic;
- creșterea lucrului mecanic de compresie, ceea ce influențează creșterea puterii electrice consumate a compresoarelor;
- creșterea puterii electrice consumate a ventilatoarelor de introducere și extracție aer;

Efectele enumerate mai sus se produc în ambele regimuri de funcționare. Acestea se intensifică lunar și nu fac decât să prelungească timpul de funcționare al centralei de climatizare, concomitent cu creșterea cheltuielilor de exploatare, cheltuieli ce cresc exponențial pe măsură ce se diminuează eficiența instalației.

### 6.2 Analiza costurilor cu mentenanța

Conform concluziilor ce țin cont de aspectele tehnice prezentate, perioada optimă de intervenție pentru înlocuirea / curățarea filtrelor este la fiecare 3 luni. Dacă ne raportăm la analiza sezonieră de 6 luni, iar această intervenție s-ar efectua o singură dată, costul cu mentenanța de acest tip ar fi minim. Însă din punct de vedere tehnic instalația ar avea de suferit.

Totodată, planificările de mentenanță mai dese de 3 luni, pentru a preveni funcționarea în condiții de ancrasare sunt eficiente din punct de vedere tehnic pentru instalație, dar sunt ineficiente din punct de vedere al costurilor generate.

Timpul optim de intervenție corectivă pentru curățare depinde de cât de intens are loc procesul de ancrasare. În unele cazuri pot fi programate intervenții regulate (de două ori pe an sau o dată anual), altele intervențiile necesită a fi efectuate mai frecvent, aspect ce depinde de condițiile de funcționare ale întregului sistem HVAC.

### 6.3 Timpul optim de intervenție pentru mentenanță

Funcționarea pe termen lung a sistemelor de climatizare, fără a lua în calcul un plan adecvat de management în activitatea de mentenanță, conduce la diminuarea eficienței și a fiabilității acestora, concomitent cu creșterea costurilor de exploatare și a numărului de intervenții corective ulterioare.

Astfel, pentru a analiza din punct de vedere economic timpul optim de intervenție pentru mentenanța ce presupune funcționarea în condiții curate a sistemului HVAC, au fost analizate lunar costurile cu mentenanța și costurile de exploatare. Prin urmare, sunt reprezentate grafic costurile, punctul de intersecție al celor două curbe reprezentând timpul optim pentru a face mentenanța.

## 7. MĂSURI DE EFICIENTIZARE A MENTENANȚEI

Abaterea parametrilor a fost analizată la 3 și 6 luni deoarece:

- Rezultatele prezentate în capitolele anterioare ale acestei lucrări au aratat faptul că din punct de vedere tehnico-economic, intervenția optimă pentru funcționarea sistemului de climatizare în condiții de eficiență maximă, este necesar să fie efectuată la sfârșitul celei de-a treia luni de funcționare;
- Practicile au aratat faptul că sistemele de climatizare funcționează câte șase luni în fiecare sezon (rece/cald), iar de cele mai multe ori se obișnuiește ca intervențiile de mentenanță ce presupun curățarea/înlocuirea filtrelor, să fie efectuate la șase luni de funcționare. Curățarea schimbătoarelor de căldură este de multe ori neglijată chiar și după această perioadă.

**Principalii indicatori tehnici și economici, ușor de monitorizat / verificat**, care presupun intervenția echipei de mentenanță pentru a efectua acțiunile corective (curățare/inlocuire filtre și curățare schimbătoare de căldură) sunt:

❖ **Indicatori tehnici:**

- Căderea de presiune pe suprafața de filtrare
- Temperatura de suflare

❖ **Indicator economic:**

- Creșterea cheltuielilor operaționale

## 8. CONCLUZII

Centrala de climatizare de tip rooftop, reversibilă, descrisă în această lucrare este analizată în regim de răcire (lunile aprilie-septembrie) și regim de încălzire (lunile octombrie-martie) pe durata a șase luni de funcționare în fiecare sezon. Au fost analizați parametrii termodinamici ai instalației concomitent cu ancrasarea de-alungul timpului a filtrelor și schimbătoarelor de căldură.

### **Restricționarea simultană a debitului de aer la trecerea prin vaporizator și condensator, cauzată de fenomenul de ancrasare, are următoarele efecte:**

Ori de câte ori există un flux de aer redus pe suprafața vaporizatorului, puterea frigorifică specifică a acestuia este diminuată. Ca o consecință, agentul frigorific nu vaporizează în totalitate, efect ce ne indică un grad de supraîncălzire foarte mic al agentului frigorific la intrarea în compresor. Chiar dacă presiunea de aspirație și temperaturile vaporizatorului sunt scăzute, debitul masic de agent frigorific este de asemenea diminuat.

Dacă condensatorul nu poate elimina căldura către mediul exterior, presiunea la nivelul acestuia va crește. Odată ce suprafața de schimb de căldură a acestuia se ancrasează, capacitatea de degajare a căldurii scade. Deoarece căldura extrasă prin procesul de vaporizare, aspirație, cedată de motorul compresorului și cea rezultată din compresie este transmisă în condensator, suprafața de schimb de căldură a condensatorului trebuie păstrată curată, cu cantitatea corespunzătoare de flux de aer pentru a asigura schimbul termic. Altfel, sistemul va funcționa la o temperatură de refulare și presiune ridicată de condensare și provoacă ineficiențele nedorite care rezultă din rapoarte de compresie ridicate.

Când instalația funcționează la presiune mare de condensare, cu ineficiențe nedorite, presiunea de aspirație va avea tendința de creștere. Presiunea de aspirație mai mare decât cea normală este cauzată de debitul masic de agent frigorific mic, care la rândul lui este afectat de diminuarea eficienței volumetrice, rezultată din presiunea ridicată de condensare.

Pentru instalația analizată, amplasată exterior, unde în apropiere se află o zonă în plină dezvoltare urbană ce presupune cantități mari de praf degajate în atmosferă, măsurătorile înregistrate și calculele efectuate pentru cele două regimuri de funcționare, indică faptul că:

- **Din punct de vedere tehnic**, efectele ancrasării filtrelor și condensatorului influențează semnificativ parametrii din luna a 4-a de funcționare, ceea ce arată că la interval de 3 luni de funcționare este necesară intervenția de mentenanță pentru înlocuirea/curățarea filtrelor și verificarea/curățarea condensatorului.
- **Din punct de vedere economic**, s-a constatat faptul că în primele 2 luni de funcționare, cheltuielile cu mentenanța sunt mari față de cheltuielile de exploatare, la 3 luni de funcționare cheltuielile cu mentenanța sunt ușor mai mici (cu circa 3÷5 %) față de cheltuielile de exploatare, unde acestea din urmă cresc pe seama consumului electric înregistrat de ventilatoare și compresoare.

**Astfel, frecvența optimă de mentenanță este la 3 luni de funcționare.**

## 9. PERSPECTIVE DE CERCETARE

Această teză de doctorat reprezintă o completare a diverselor studii efectuate în domeniu, de autori, cu privire la influențele fenomenului de ancrasare asupra instalațiilor HVAC.

Studiul face referire la o instalație de tip rooftop ce deservește clima într-un spațiu comercial. Subiectul tezei este unul aplicat, va prezenta interes și pe viitor, și poate fi luat în considerare de operatorii de mentenanță pentru toate echipamentele similare aflate în exploatare. Analiza tehnică și a reprezentărilor grafice, precum și a activităților de mentenanță preventivă pot fi dezvoltate în continuare în vederea simulării funcționării și menținerii în parametri optimi a instalațiilor de acest gen.

Direcțiile de cercetare pot fi folosite pentru perfecționarea diferitelor componente ale instalațiilor de acest gen:

- ❖ Din punct de vedere constructiv, compartimentele interioare de tratare aer, în special secțiunea în care se află schimbătorul de căldură și filtrele, să fie construit etanș și prevăzut cu orificii de scurgere la exterior, astfel încât în cadrul mentenanței să permită curățarea cu jet de apă și soluție degresantă/igienizare a întregului compartiment, fără a exista riscul scurgerilor în interiorul rețelei de tubulatură.
- ❖ Implementarea unui controller centralizat în rooftop (nu în doar o interfață în spațiul condiționat), astfel încât să permită local testarea/verificarea/ajustarea tuturor parametrilor în cadrul intervențiilor de mentenanță. Instalația analizată în această teză dispune de un astfel de controller în compartimentul tehnic, însă există echipamente similare care nu au în dotare acest controller, ceea ce îngreunează operațiunile de mentenanță tehnică;
- ❖ În prezent există semnale de alarme/avertizare la încărcarea filtrelor cu particule de praf. De cele mai multe ori acestea sunt neglijate de operatorii de mentenanță. Consider că această alarmă de filtre ancrasate trebuie să fie suplimentată de informații cu privire la creșterea puterii electrice consumate și de diminuarea puterilor frigorifice și termice. Astfel, operatorul de mentenanță ar fi mult mai bine informat asupra diminuării performanței sistemului la funcționarea în condiții de ancrasare.

De altfel la perspectivele de cercetare pot fi adăugate următoarele aspecte:

- ❖ Analiza diferitelor categorii de poluanți asupra performanțelor HVAC;
- ❖ Analiza performanțelor HVAC pentru diverse zone de amplasare (regiuni, niveluri de înălțime, etc);
- ❖ Introducerea elementelor de inteligență artificială în monitorizarea funcționării instalațiilor HVAC cu posibilitatea curățării automate.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Brujan, E., A., „*Ventilația și condiționarea aerului*”, Editura Printech, București, 2004.
- [2] Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Maestre, I.R., „*The map of energy flow in HVAC systems*”, Iulie 2011.
- [3] Athanasovici, V., „*Gestiunea Energiei Termice În Industrie*”, Editura AGIR, București 2016.
- [4] Kuppan, T., „*Heat Exchanger Design Handbook, Second Edition*”, CRC Press, Mai 2013
- [5] Qureshi, B.A., Zubair, S.M., „*The impact of fouling on the condenser of a vapor compression refrigeration system: An experimental observation*”, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, August 2013.
- [6] Tomczyk, J., „*HVACR Service Troubleshooting*”, the NEWS, 2012
- [7] Cheong Peng Au-Yong, Azlan Shah Ali, Faizah Ahmad, „*Improving occupants' satisfaction with effective maintenance management of HVAC system in office buildings*”, 8 Martie, 2014
- [8] Rongpeng Zhang, Tianzhen Hong, „*Modeling of HVAC operational faults in buildings performance simulation*”, Mai 2017.
- [9] Sobral, J.,C., Guedes Soares „*Preventive Maintenance of Critical Assests based on Degradation Mechanism and Failure Forecast*”, IFAC (International Federation of Automatic Control) 2016.
- [10] Hui Pu, Guo-liang Ding, „*Effect of biofouling on air-side heat transfer and pressure drop for finned tube heat exchangers*”, International Journal of Refrigeration, August 2009.
- [11] Casanueva, J.F., Sanchez, J., Garcia-Morales, J.L., Lopez, J.A., „*Portable pilot plant for evaluating marine biofouling growth and control in heat exchangers-condensers*”. Water Science and Technology 47 (5), 99-104, 2003
- [12] Eguia, E., Vidart, T.F., Bezanilla, J.A., Amieva, J.J., Otero, F.M., „*Monitoring and control of biofouling growth in heat exchanger in a ship*”, Proceedings of the International Conference on Marine Technology, ODRA, 285-294, 1997.
- [13] Sarfraz,O., Bach, Christian, „*A literature review on heat exchanger air side fouling in HVAC applications*”, Purdue University 2016
- [14] Siegel, J.A., Nazaroff, W.W., „*Predicting particle deposition on HVAC heat exchangers*”, Atmospheric Environment 37, 2003
- [15] Siegel, J.A., „*Particle fouling of HVAC heat exchangers*”, Ph. D. Thesis, University of California, Berkelet, USA, 2002.
- [16] Sarfraz,O., Bach, Christian, „*A literature review on heat exchanger air side fouling in HVAC applications*”, Purdue University 2016

- [17] Yang, L., Braun, J.,E., „*The impact of evaporator fouling and filtration on the performance of packaged air conditioners*”, August 2006
- [18] Yunhua Li, Mingsheng Liu, Josephine Lau, „*Experimental study on electrical signatures of common faults for packaged DX rooftop units*”, Aprilie 2014
- [19] Necati Kocyigit , Huseyin Bulgurcu , Cheng-Xian Lin, „*Fault diagnosis of vapor compression refrigeration system with hermetic reciprocating compressor based on p-h diagram*”, Iunie 2014.
- [20] Isermann, R., „*Process fault detection based on modeling and estimation methods - A survey*”. Automatica 20, 387-404, 1984.
- [21] Braun, J.E., „*Automated fault detection and diagnostics for vapor compression cooling equipment*”. J. Sol. Energy Eng., 125, 1-10, 2003.
- [22] Akhilesh Arora, Naveen Solanki, „*Effect of Condenser Fouling on Performance of Vapor Compression Refrigeration System*”, August 2015.
- [23] Veldman, J., Klingenberg, W., Worthmann, H., „*Managing condition-based maintenance technology: A multiple case study in the process industry*”, J. Qual. Maint. Eng., 2011.
- [24] *Maximising the performances of your rooftop units to reduce energy consumption in shopping centres*, Sursa online: <https://www.ett-hvac.com/en/offer/retail/>
- [25] García-Casals, X., „*Analysis of building energy regulation and certification in Europe: their role, limitations and differences*”, Energy Build 38(5):381–92, 2006.
- [26] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., González, R., Maestre, I.R., „*A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes*”, Energy Build 41(3):272–8, 2009
- [27] Whitman, B., Johnson, B., Tomczyk, J., Silberstein, E., „*Refrigeration & Air Conditioning Technology, Seventh Edition*”, DELMAR CENGAGE Learning, 2013
- [28] ASHRAE Standard 180-2008. „*Standard practice for inspection and maintenance of commercial building HVAC systems*”, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2008.
- [29] „*LEED rating system for existing buildings: operations & maintenance rating system*”, US Green Building Council, 2009.
- [30] ETT (Energie Transfert Thermique), Sursa internă proiect Coresi Shopping Resort
- [31] Energie Transfert Thermique, sursa: <http://www.energie-transfert-thermique.fr/>
- [32] Bălan, M., Pleșa, A., „*Instalații frigorifice*, sursa: <http://www.termo.utcluj.ro/ccfif/ccfif.pdf>

- [33] „*Advanced efficiency, precision cooling*”, sursa:  
[http://files.danfoss.com/FRCCPB023A802\\_VZH%20inverter%20scroll%20compressor%20brochure\\_6-pages\\_LR\\_4.pdf](http://files.danfoss.com/FRCCPB023A802_VZH%20inverter%20scroll%20compressor%20brochure_6-pages_LR_4.pdf)
- [34] „*Air Conditioning with scroll and reciprocating technologies*”, sursa:  
[http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/17/FRCCPB026A302\\_Compressors%20for%20AC\\_Oct2014\\_2.pdf](http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/17/FRCCPB026A302_Compressors%20for%20AC_Oct2014_2.pdf)
- [35] „*Emerson scroll compressors*”, sursa: [http://www.emersonclimate.com/en-CA/Products/Compressors/Scroll\\_Compressors/Pages/scroll\\_compressors.aspx](http://www.emersonclimate.com/en-CA/Products/Compressors/Scroll_Compressors/Pages/scroll_compressors.aspx)
- [36] “*Copeland Scroll™ ZPK6 Compressor*”, sursa: [http://www.emersonclimate.com/en-CA/Products/Compressors/Scroll\\_Compressors/copeland\\_scroll\\_residential/Pages/copeland-scroll-zpk6-compressor.aspx](http://www.emersonclimate.com/en-CA/Products/Compressors/Scroll_Compressors/copeland_scroll_residential/Pages/copeland-scroll-zpk6-compressor.aspx)
- [37] Șerban, A., Chiriac, F., “*Instalații Frigorifice*”, Editua AGIR, București 2010.
- [38] „*How Copeland Scroll Compressors Work*”, sursa: <http://climate.emerson.com/en-us/products/heating-and-air-conditioning/commercial-scroll-compressors>
- [39] Carrier Corporation, „*High efficiency compression for commercial and industrial applications*”, Syracuse, New York, october 2004.
- [40] Danfoss, „*Application guidelines-Danfoss scroll compressors SH090 to SH485 -single*”
- [41] Shan,K., Wang, „*Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*”, second edition.
- [42] Michael, M., Cui, „*Investigation on the oil supply system of a scroll compressor*”, Trane air conditioning, International Compressors Engineering Conference, 2004.
- [43] „*Understanding Compressor Modulation in the Air Conditioning Applications*”, sursa:  
[http://www.emersonclimate.com/Documents/Products/Compressors/ebooks/019383-CompsrMdltn-eBook\\_v2.pdf](http://www.emersonclimate.com/Documents/Products/Compressors/ebooks/019383-CompsrMdltn-eBook_v2.pdf)
- [44] „Space temperature set point and control bands”, sursa:  
[https://www.airah.org.au/Content\\_Files/HVACRNation/2015/08-15-HVACR-003.pdf](https://www.airah.org.au/Content_Files/HVACRNation/2015/08-15-HVACR-003.pdf)
- [45] ETT (Energie Transfert Thermique), „*Analyse fonctionnelle V13*”, sursa: intern
- [46] HVAC/R Technician Training, „*Thermostatic expansion valve*”, sursa: <http://avti-online.com/m1-c9-s8/>
- [47] „*Tech Tips for Thermostatic Expansion Valves*”, sursa: <https://www.achrnews.com/articles/85048-tech-tips-for-thermostatic-expansion-valves>
- [48] „*Manualul frigotehnistului*”, sursa: <http://sebeca.md/wp-content/uploads/2011/11/manualul-frigotehnistului.pdf>
- [49] Badea, A.,A., „*Bazele transferului de căldură și masă*”, Editura Academiei Române, 2004.

- [50] „*Temperature profile inside the evaporator*”, sursa: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/6.-evaporators/asas8/>
- [51] „*Temperature profile inside the condenser*”, sursa: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/7.-condensers/asd5/>
- [52] Necula, H., “*Instalații Frigorifice*”, Editura BREN, București 2005.
- [53] Kuppan, T., “*Heat Exchanger Design Handbook, Second Edition*”, CRC Press, Mai 2013
- [54] „*Restricted Condenser Airflow*”, sursa <https://www.achrnews.com/articles/91887-restricted-condenser-airflow>
- [55] „*The Professor: Restricted Airflow over an Evaporator*”, sursa: <https://www.achrnews.com/articles/110463-the-professor-restricted-airflow-over-an-evaporator>
- [56] „*Condenser*”, sursa <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/7.-condensers/>
- [57] Duinea A., „*Echipamente și instalații termice – notițe de curs*”, sursa: <http://retele.elth.ucv.ro/Duinea%20Adelaida/Echipamente%20si%20instalatii%20termice%20I/ECHIPAMENTE%20SI%20INSTALATII%20TERMICE%20I%20-%20suport%20de%20curs.pdf>
- [58] Necula, H., Badea, A., Ionescu, C., „*Schimbătoare de căldură compacte*”, Editura AGIR.
- [59] Gavrița, L. “*Fenomene de Transfer, Vol. II*”, Editura ALMA MATER, Bacău 2000
- [60] Meyers, J., M., “*Heat Transfer Convection Relation for External Flows*”, ME courses, University of California, 2019
- [61] Bejan, A. “*Convection Heat Transfer*”, Fourth Edition, 2013
- [62] Testo 550 – Manifold digital, sursa: <https://www.testo.com/ro-RO/testo-550/p/0563-1550>
- [63] Anemometru flexibil cu palete BA16 [https://www.trotec24.ro/instrumente-de-masura/flux-de-aer/anemometru-flexibil-cu-palette-ba16.html?rc=0aef170f2e&gclid=CjwKCAiAnfjyBRBxEiWA-EECLBHTLuUSTFt\\_VojBAAg7yAERMLMeb6wW9B-SdwYXtyjq8bG54ELvFRoCS-kQAvD\\_BwE](https://www.trotec24.ro/instrumente-de-masura/flux-de-aer/anemometru-flexibil-cu-palette-ba16.html?rc=0aef170f2e&gclid=CjwKCAiAnfjyBRBxEiWA-EECLBHTLuUSTFt_VojBAAg7yAERMLMeb6wW9B-SdwYXtyjq8bG54ELvFRoCS-kQAvD_BwE)
- [64] Palmer, D., Richard, “*Maintenance Planning and Scheduling Handbook*”, McGraw-HILL HANDBOOKS, Second Edition, 2006
- [65] Peterson, Brad, “*The central issue: to centralize or decentralize maintenance. Maintenance Technology*”, December, 1998
- [66] Kelly, A., “*Strategic Maintenance Planning*”, British Library, 2006
- [67] Ben-Daya, M., Duffuaa, O., S., Raouf, A., Knezevic, J., Ait-Kadi, D., “*Handbook of Maintenance Management and Engineering*”, Springer-Verlag London Limited, 2009



- [68] Dhillon, B.,S., “*Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers*”, Taylor & Francis Group, 2006
- [69] Voinea, M., Necula. H., Bitir-Istrate, I., „*Aspects regarding fouling of the heat exchanger coils and filters on the performance of packaged air to air HVAC system*” , International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (IEEE), Bucharest, 2017.
- [70] Voinea, M., Necula. H., „*Experimental fouling analysis in HVAC rooftop units*” , Scientific Bulletin Series C, UPB, Vol 82, Iss.3, 2020.
- [71] Micallef, D., „*Fundamentals of refrigeration thermodynamics*”, first edition, 2014.
- [72] Ronald H. Howell, William J. Coad , Harry J. Sauer, Jr., „*Principles of Heating Ventilation and Air Conditioning*”, 7<sup>th</sup> Edition, 2013 ASHRAE Handbook
- [73] TRANE Engineers Newsletter , „*Cooling Coil Heat Transfer*”, Volume 31, N<sup>o</sup>1, American Standard Inc. 2002.
- [74] Quingfeng, W., et al. „*Development and application of equipment maintenance and safety integrity management system*”, July, 2011.