

**Universitatea POLITEHNICA din Bucuresti**  
**Facultatea de Energetica**

**Teza de doctorat - Rezumat**

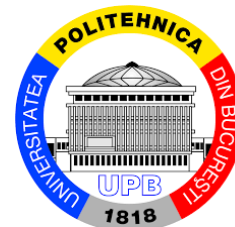
**Optimizarea eficienței energetice a  
cladirilor rezidentiale prin utilizarea  
inteligentei artificiale**



**Autor:**  
Ing. Andrei Liviu NEGREA

**Directori:**  
Prof. Dr. Ing. Adrian BADEA  
Prof. Dr. Ing. Christian GHIAUS

**Bucuresti 2020**



N°d'ordre NNT : 2020LYSEI090

## THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON

Opérée au sein de

**INSA Lyon**

en cotutelle internationale avec

**Université POLITEHNICA de Bucarest**

**École Doctorale N° 162**

**Mécanique, Énergétique, Génie Civil, Acoustique (MEGA)**

**Spécialité de doctorat : Thermique et Énergétique**

Soutenue publiquement le 24/11/2020 par :

**Negrea LIVIU ANDREI**

---

# Optimization of energy efficiency for residential buildings by using artificial intelligence

---

Devant le jury composé de :

Professeur	George DARIE (Université POLITEHNICA de Bucarest)	Examineur
Professeur	Frank TILLENKAMP (ZHAW, Suisse)	Rapporteur
Professeur	Florica COLDA (UTCB, Roumanie)	Rapporteur
Professeur	Ion Hazyuk ( INSA Toulouse, France)	Rapporteur
Professeur	Christian GHIAUS (INSA Lyon, France)	Co-directeur de thèse
Professeur	Adrian BADEA (UPB, Roumanie)	Directeur de thèse

# Cuprins

---

**Mulumiri**

**Abstract**

**Nomenclatura**

**Abrevieri**

**Cuprins**

**Lista de figuri**

**Lista de tabele**

## **Capitolul I – Introducere generala**

- 1.1. Starea problemei
- 1.2. Conturul tezei
- 1.3. Prezentare generala a algoritmilor de control
  - 1.3.1. Clasic – PID
  - 1.3.2. Control modern: spatiu de stare si optimizare
  - 1.3.3. Control inteligent: retene neuronale fuzzy si artificiale

## **Capitolul II – Casa Experimentala**

- 2.1. Introducere
  - 2.1.1. Sistemul de incalzire, ventilare si aer conditionat
  - 2.1.2. Panouri instalate
  - 2.1.3. Sistemul off-grid
  - 2.1.4. Sistemul de solutii inteligent
- 2.2. Conceptul de casa pasiva
- 2.3. Cerinte privind locuitele pasive
- 2.4. Caracteristici fizice ale locuintei
- 2.5. Sistemul de incalzire
- 2.6. Sistemul de monitorizare
  - 2.6.1. Programul folosit pentru sistemul de monitorizare
  - 2.6.2. Stocarea datelor si baza de date
  - 2.6.3. Sistemul de comunicare
- 2.7. Concluzii

## **Capitolul III – Masuratori si achizitia de date**

- 3.1. Introducere
- 3.2. SMX (extensia smart meter)
- 3.3. Pornirea aplicatiei SMX
  - 3.3.1. Interactiunea mecanismului de publicare-abonare
  - 3.3.2. Interactiunea intre SMX – HMI
- 3.4. Descrierea modulelor SMX

- 3.5. Pornirea modulelor SMXCore
  - 3.5.1. Modulul MeterVirtual
  - 3.5.2. Modulul controlului fizic
  - 3.5.3. Modulul bazei de date
  - 3.5.4. Modulul MQTTClient
  - 3.5.5. Modulul de stocare
  - 3.5.6. Modulul MeterDLMS modules
- 3.6. Achizitionarea parametrilor de intrare fizici si electrici
  - 3.6.1. Colectarea datelor si detaiioe peretelilor casei
  - 3.6.2. Tipuri de date colectate
  - 3.6.3. Clasificarea datelor de achizitionare
- 3.7. Colectarea datelor si integrarea in IoT
- 3.8. Analiza statistica a predicitei meteo
  - 3.8.1. Achizitionarea datelor meteo
  - 3.8.2. Algoritmul de date intrate meteo
- 3.9. Exemple de rezultat
  - 3.9.1. Achizitionarea parametrilor prin IoT
- 3.1. Rezultate si interpretare datelor colectate prin IoT
- 3.2. Concluzii

#### **Capitolul IV – Predicita energetica bazata pe cantitati mici de informatii: modele grad-zi-day si cutie gri**

- 4.1. Metoda grad-zi
  - 4.1.1. Temperatura de baza (punct de echilibru) 23
  - 4.1.2. Incalzirea/racirea prin calcul grad-zi
- 4.2. Modele cutie-gri
  - 4.2.1. Introducere
  - 4.2.2. Modelul de identificare cutie-gri
  - 4.2.3. Concluzii

#### **Capitolul V – Monitorizarea si controlul energiei**

- 5.1. Introducere
- 5.2. Confort termic in caldiri folosind logica fuzzy
- 5.3. Algoritmul fuzzy
- 5.1. Rezultate si interpretari
- 5.2. Concluzii

#### **Capitolul VI – Concluzii si perspective**

- 6.1. Introducere
- 6.2. Obiectivul tezei
- 6.3. Contributiile tezei

## 6.4. Perspectiva tezei

### 7. Apendice

#### 7.1. Casa experimentală

#### 7.2. Codul MATLAB pentru peretele casei

#### 7.3. Codul exemplificativ pentru polite

#### 7.4. Conținutul modulelor exemplificare în capitolul 3

##### 7.4.1. Modulele

##### 7.4.2. Modulele Virtuale ale captorilor

##### 7.4.3. Modulele captorilor IEC6205621

##### 7.4.4. Modulele bazei de date Mongo

##### 7.4.5. Modulele MQTTClient

##### 7.4.6. Modulele fișierelor de stocare

##### 7.4.7. Modulele captorilor DLMS

#### 7.5. Implementarea algoritmului de date meteo

### **Bibliografie**

## *Introducere*

---

Problema consumului de energie din lume a devenit unul dintre subiectele cele mai atrăgătoare ale anului 2020, datorită progresului în urbanizare cat și a promovării relaționării în societate [1]. Planeta este amenințată de o criza energetică din cauza epuizării resurselor des folosite și a încălzirii globale, produse de gazele nocive. Prin urmare, ideile și proiectele privind modalitate de economisire a energie, sunt printre cele mai frecvente subiecte abordate în societate. Prin urmare, trebuie găsite noi modalități de producere a energiei pentru a combate aceasta criza energetică.

Subiectul propus în această teză răspunde preocupărilor din prezent și a necesității de a reduce consumul de energie generat în clădiri, în special în sectorul rezidențial. Un raport de date privind eficiența energetică a clădirilor, realizat de ENERGDATA în 2014, arată că prețul energiei a crescut cu 64 % din 2004 până în prezent. Costurile de energie din sectorul rezidențial au atins un vârf de consum de 40 % pentru întreaga Europă, în timp ce în România prețurile au fost aproape de 44,4 % din prețul energiei electrice [2].

Datorită planului strategic de energiei aprobat de România pentru perioada 2007-2020, a fost identificată o potențială reducere a consumului de energie pentru sectorul rezidențial. În urma unei analize statistice, potențialul de reducere a energiei în România este estimat, în funcție de sectorul din care fac parte, la 30 – 50 % pentru sectorul rezidențial și la 13 – 19 % pentru sectorul terțiar. Consumul de încălzire a spațiilor în clădiri din Europa reprezintă 67 % din energia totală consumată în clădiri (România având un consum total de 50 %), atragând atenție asupra potențialelor economii de energie ce pot fi realizate.

Această teză are ca scop utilizarea inteligenței artificiale pentru a optimiza performanțele energetice ale clădirilor rezidențiale, subliniind un impact uriaș asupra dezvoltării durabile din două puncte de vedere. Primul punct consta în optimizarea managementului energiei pentru clădirile rezidențiale, reprezentând o creștere a eficienței energetice care duce la o dezvoltarea durabilă dar și la captarea energiei regenerabile din surse nelimitate.

Al doilea aspect este integrarea tehnologiilor curate prin intermediul inteligenței artificiale având ca scop creșterea performanțele energetice ale clădirilor. Adoptarea acestui tip de tehnologie reduce incidența materialelor nocive asupra mediului prin prevenirea poluării cat și prin economii [3]. În general, prin eficiența energetică obținem:

- reducerea utilizării materiilor prime,
- reducerea emisiilor poluante,
- reducerea deșeurilor,
- economii,
- dobânzi mai mici la importurile de gaze,
- reducerea consumului de energie

- îmbunătățirea calității aerului,
- îmbunătățirea condițiilor de viață.

Prin urmare, predicția cererii de energie pentru sarcinile de încălzire și răcire prezintă principalii factori în identificarea măsurilor de reducere a consumului de energie. Teza își propune să dezvolte un set de servicii care să permită modelarea, verificarea și controlul echipamentelor de laborator de testare. Pentru a crea condițiile unui confort termic adecvat, anumite metode pot fi aplicate. Aceste metode implică faptul construcția unei baze de date ce are ca date de intrare un set de parametri mășurați (temperatura interioară, temperatura exterioară, consumul de energie, radiația solară, umiditatea sau energia generată din surse regenerabile de energie, fluxul de energie) dar și un set de caracteristici fizice ale clădirii (materiale de construcție) pentru a furniza o predicție a energiei cu erori scăzute, pentru a reduce utilizarea energiei în clădiri.

De observat faptul că cel mai mare consumator atunci când vorbim despre nevoile umane este confortul termic. "*A state in which there are no driving impulses to correct the environment by the behavior*" este caracterizarea confortului termic, după explicația oferită de Hensen [4]. Pentru a completa propoziția, ASHRAE a subliniat acest fenomen ca fiind "*the condition of mind in which satisfaction is expressed with the thermal environment*" [5]. Pe baza interpretărilor de mai sus, confortul termic ar putea fi identificat ca o stare de spirit, corp, proces cognitiv, și nu se referă la o stare de condiție. În rândul oamenilor, percepția termică poate diferi radical, chiar dacă acestea sunt situate în același mediu. O explicație detaliată despre metodele de confort termic, confortul fiziologic, modelarea matematică a transferului de energie între organismul uman și mediul înconjurător poate fi găsită în lucrarea științifică prezentată de N. Djongyang [6].

## Continutul tezei

Un model matematic a fost dezvoltat bazat pe măsurători experimentale pentru a simula comportamentul clădirii. Sistemul a fost implementat într-o casă pasivă din campusul U.P.B., cu o perspectivă de dezvoltare imensă: campus studentesc sau cartier rezidențial.

Protocolul experimental a fost implementat urmărind anumite etape:

- Construcția unei baze de date a parametrilor de intrare - indicând senzorii,
- Colectarea datelor meteorologice (aportul solar, vânt, umiditate, acoperirea norilor) – de exemplu, aportul solar este un aspect important pentru laborator, deoarece parametrii externi influențează comportul termic al casei,
- Aportul fluxurilor auxiliare (debitul injectat de sistemul HVAC),
- Controlul temperaturii interioare ale casei.

Modelul pentru intrări și ieșiri ale sistemului se bazează pe trei domenii semnificative. Prima parte conține informații despre datele de intrare ale sistemului, exemplificate prin datele meteorologice și debitul de căldură auxiliar. A doua parte reprezintă un model matematic capabil să proceseze datele de intrare și să prezică datele de ieșire, care sunt, de fapt, date de intrare ale sistemului pentru a furniza o temperatură dorită. Modelul este responsabil pentru conexiunea dintre intrări și ieșiri. A treia parte este dedicată calculului de date de ieșire, care are rol dublu. Datele de ieșire sunt utilizate pentru:

- recoltarea variabilelor necesare pentru sistem (cum ar fi temperatura interioară sau consumul de energie),
- furnizarea de date de intrare pentru funcția de transfer (datele de ieșire devenind intrări pentru noul sistem).

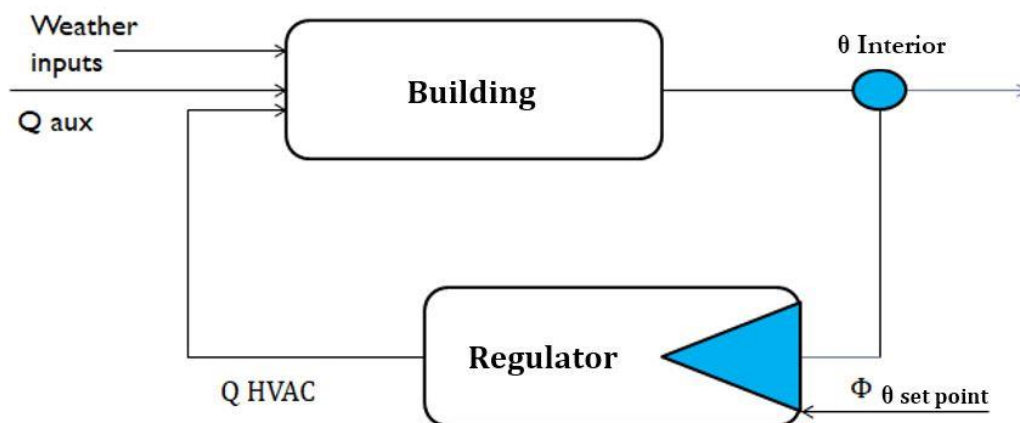


Fig. 1 Diagram for mathematical model in-use

Modelul sistemului datelor de intrare și ieșiri este exemplificat în Fig. 1 prin implementarea unui sistem de control. Debitul de căldură a sistemului HVAC este calculat ca o dată de intrare nouă pentru modelul matematic, astfel încât temperatura



interioară sa fie controlată. O altă modificare adusă sistemului este punerea în aplicare a temperaturii de referință, ca sistemul de control pentru modelul matematic să primească o nouă intrare.

Pentru obținerea modelului numeric, este necesară o analiză completă a aspectului fizic al casei. Pentru a rezolva și analiza modelul matematic, putem folosi mai multe modele:

- cutie albă – cunoștințe complete despre sistemul implementat,
- cutie neagră – zero cunoștințe despre sistemul implementat,
- cutie gri – câteva cunoștințe despre sistemul implementat, atât fizic cât și statistic.

Un model de tip cutie gri a fost folosit în teză, ca o metodă hibridă care ajută la identificarea sistemului într-o manieră rapidă, deoarece este capabil să simuleze comportamentul termic al casei și să optimizeze parametrii de intrare. Folosind această metodă, predicția consumului de energie poate fi justificată științific. De obicei, un model de tip cutie gri este necesar atunci când aspectul fizic al casei este cunoscut și atunci când este incomplet sau nu oferă suficiente detalii despre sistem.

În concluzie, cunoașterea consumului de energie al casei passive poate genera următoarele perspective[7]:

- Estimarea și calcularea parametrilor unei clădiri (dimensionarea instalațiilor termice și a sistemelor de răcire).
- Calcularea costurilor de consum.
- Optimizare reducerii costurilor.

# *Scurta prezentare a capitolelor prezentate in teza*

---

**Capitolul 1** este prezinta problema consumului mondial de energie, în special în mediul urban. Această teză răspunde preocupărilor din zilele noastre și necesității de a reduce consumul de energie în clădiri. Reducerea consumului de energie în România arată un potențial crescut conform statisticilor din UE. Conținutul tezei este acoperit în secțiunea următoare, împreună cu prezentarea algoritmilor de control.

**Capitolul 2** detaliază caracteristicile de bază ale casei experimentale din cadrul Universitatii POLITEHNICA București. Proprietățile de bază includ cunoștințe despre materiale de construcții, sistemul de răcire/încălzire (HVAC), sistem off-grid, implementarea soluției inteligente, sau sistemul de panouri fotovoltaice și solare. Această secțiune acordă o atenție deosebită informațiilor esențiale, legate de cerințele necesare acreditării conceptului de casă pasivă, în special a sistemului de supraveghere.

**Capitolul 3** subliniază modul în care datele și măsurătorile au fost obținute în scopul realizării obiectivului tezei. O scurtă introducere despre dispozitivele care colectează date în timp real, contoare inteligente este oferită la începutul acestui capitol. De asemenea, se prezintă și interacțiunea dintre utilizator și contoare inteligente prin software HMI. Diferite module ale SMXcore sunt descrise ca o soluție pentru colectarea datelor. În plus, datele privind achizițiile fizice și electrice sunt subliniate printr-o analiză statistică a intrărilor meteorologice. Pentru justifice, exemple și interpretări de rezultate sunt oferite la finele capitolului.

**Capitolul 4** prezintă predicția energetică bazată pe metode de tip grad-zi și cutie gri. Aceste metode sunt folosite pentru estimarea consumului de energie al laboratorului de testare, având o cantitate foarte mică de date disponibilă.

**Capitolul 5** explică monitorizarea energiei și controlul acesteia, prin evidențierea tehnicii fuzzy logic. O scurtă introducere a controlului energiei și cea generată în interiorul Casei Pasive este prezentată ca o soluție optimizată a consumului de energie al clădirilor. Pentru a obține un confort termic adecvat, se utilizează tehnica fuzzy logic. Obiectivul constă în măsurarea procentelor gradelor de dependență logică. Software-ul LABVIEW a fost utilizat pentru a simula și valida procesul în conformitate cu un sistem de management al politelor.

**Capitolul 6** concluzionează obiectivul tezei de optimizare a eficienței energetice a clădirilor rezidențiale prin utilizarea tehnicilor de inteligență artificială. Consumul de energie depinde de trei lucruri diferite: eficiența energetică a clădirilor, eficiența energetică a sistemelor dar și de modul de exploatare a energiei (comportamentul uman și algoritmi de control) care corespunde nevoilor din zilele noastre. Contribuția tezei include dezvoltarea și punerea în aplicare pe o casă reală a unui controler fuzzy. În plus, acest capitol subliniază perspectivele tezei conducând la luarea în ecuație a comportamentului uman dar și a implementării detaliate a algoritmului meteorologic. În ultimul **capitol, 7**, anexa și bibliografia sunt prezentate.

# Prezentare generala a algoritmilor de control

---

## PID - clasic

Strategiile de control al clădirilor, expertiza, perturbările interne și exterioare au fost luate în calcul pentru realizarea comportamentului termic al sistemului. Astfel, sarcina principală a unui controler este de a regla condițiile termice [8]. Un controler P.I.D este compus din:

- P - controler proporțional,
- I - integrator,
- D - derivativul.

Controlerul proporțional ajustează eroarea prin înmulțirea deviației dintre punctul de referință și o constantă. Integratorul (I) corectează semnalul de control prin integrarea erorii în timp. Prin includerea integrală a activității sistemelor, se risipește offset-ul, dar scade stabilitatea sistemului. Pentru a combate aceste situații, derivativul (D) corectează defectele de frecvență joasă, colectate de integrator. Beneficiul utilizării derivativului se datorează capacității sale de a modifica rapid valorile erorilor, fără a lua în considerare valorile întârziate. În scopul obținerii unor rezultate optime și precise ale unui control PID, trebuie luat în calcul configurația specifică și de configurarea constantă.

PID interacționează cu sistemul care este controlat. Sistemul prezintă variabile de intrare și ieșire. Intrările sunt prezentate ca semnalul real transmis ecosistemului, atâta timp cât rezultatul de ieșire aparține variabilelor controlate. Ideea de bază a sistemului de control este de a înțelege cum se generează semnalul de intrare pentru ca sistemul să producă variabila controlată adică temperatura interioară.

## Reprezentarea stărilor de stare

Acest subcapitol se concentrează pe reprezentarea modernă a spațiului de stare și a controlului optim. Unul dintre avantajele utilizării reprezentării spațiului de stare este faptul că sistemele dinamice pot fi modelate prin ecuații diferențiale [9]. Proprietatea sistemului de a se schimba la un moment dat este funcție de starea sa actuală. De exemplu, modul în care sistemul se schimbă din cauza accelerației este o funcție a poziției sale [10].

Pentru un sistem dinamic arbitrar, putem calcula modul în care energia se schimbă analizând relația dintre stările sale și derivații acestora [11], [12]. De exemplu, dacă energia sistemului este disipată în timp, atunci putem pretinde că sistemul actual este stabil. Mai mult decât atât, cu cât energia este disipată mai repede, sistemele devin mai stabile. Stabilitatea, este proprietatea sistemului ca stările și derivatele să fie legate între ele:

$$\dot{x} = f(x) \tag{1}$$

unde,

$\dot{x}$  – derivata în timp,

$f(x)$  – funcția de stare

De remarcat că orice sistem poate fi mutat și influențat de orice energie externă, ca data de intrare aditionale. Prin urmare, derivații sistemului dinamic sunt o funcție a stărilor sale curente și a intrărilor externe, precum Tashtoush a prezentat[13]:

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (2)$$

unde  $u$  – date de intrare.

Un rol important este jucat de variabila de stare datorită numeroaselor sale apariții în ecuațiile spațiului de stare. Ea este concepută ca un set minim de variabile care descrie întreaga structură pentru a prezice predicția comportamentul sistemului.

În concluzie, Nijse a realizat o bună descriere a reprezentării spațiului de stare în lucrarea [14], care compară rezultatele obținute cu răspunsuri de impuls finite de la FIR, în cadrul sistemelor de aer condiționat.

### **Control inteligent: fuzzy logic**

Algoritmii logici fuzzy sunt bazati pe reguli IF-THEN reprezentând o cunoaștere mai amanuntita a comportamentului uman în cadrul interacțiunii cu sistemul HVAC. De exemplu, o regulă poate fi create în momentul în care temperatura interioară este mai mică decât confortul standard, scazand rapid și pornind astfel sistemul de încălzire. Algoritmii fuzzy sunt considerați a fi sisteme complicate de programare, ce duce la un algoritm de control neliniar. Regulile sunt alcătuite din valori calitative, în timp ce algoritmii neliniari depind de variabile cantitative, provocând o lipsă importantă de informații. Avantajul utilizării algoritmilor fuzzy este capacitatea de a modela strategii complexe de control și de a transforma variabilele cantitative în număr real. Astfel, un algoritm de control fuzzy este o funcție statică neliniară. În plus, în funcție de regulile neliniare de presetate, algoritmul poate fi robust sau nu. La fel de important, atunci când cunoaștem variația parametrilor sistemului, poate fi dezvoltat un algoritm de control fuzzy care este mai sensibil la variații decât un algoritm liniar robust. Un astfel de algoritm poate fi comparat cu teoria prezentată de Astrom și Wittenmark [15], unde se specifica faptul că algoritmul de control fuzzy este mai robust atunci când are cunoștințe despre variația parametrilor de proces.

Faptul că algoritmii fuzzy sunt potriviți proceselor neliniare, constă în dependența variabilelor de intrare alese. De exemplu, un algoritm PID care acționează pe logica fuzzy este superior unui algoritm PID liniar când se abordează un proces neliniar, atâta timp cât neliniaritățile sistemului sunt cunoscute.

Sistemele de control fuzzy pot fi abordate din două perspective: teoretic și pragmatic. Această teză se va concentra pe punct de vedere pragmatic, datorită interferenței locale a normelor fuzzy. Un algoritm de control fuzzy este considerat a fi o relație statică, neliniară, între intrări și ieșiri, indiferent de variația lor în timp.

În sistemul de control fuzzy, există două tipuri de reguli exemplificate de: Mamdani (modele fuzzy lingvistice) și Sugeno (modele neclare liniare). Diferența este realizată de consecințele regulilor. Regulile fuzzy Mamdani sunt primele reguli utilizate în sistemele de aplicare fuzzy de control, astfel (3) [16]:

$$r_k: \quad IF \ a_1 \text{ is } A_1^k \text{ and } a_n \text{ is } A_n^k \text{ THEN } b_1 \text{ is } B_1^k \text{ and } \dots \text{ and } b_w \text{ is } B_w^k \quad (3)$$

În ciuda utilizării metodei de deducție *max-min*, limitările sunt prezentate ca fiind cauza utilizării consecințelor regulilor unui singur set fuzzy, definit pe seturile de ieșire.

În același timp, Takagi și Sugeno au introdus un alt operator fuzzy având ca formă generală (4) [17][18]:

$$r_k: \quad IF \ a_1 \text{ is } A_1^k \text{ and } a_n \text{ is } A_n^k \quad (4)$$

$$THEN$$

$$b_1 = f_{1,k}(a_1 \dots a_n) \ , \dots \ , y_w = f_{w,k}(a_1 \dots a_n) \quad (5)$$

Consecința regulilor de ieșire sunt funcții de membru, unde Sugeno a utilizat funcția liniară, ce poate fi interpretată ca un set de funcții locale, liniare, în care trecerea de la un algoritm de control la altul, se întâmplă foarte ușor. O altă interpretare a regulilor Sugeno este modificarea parametrilor algoritmului de control liniar de către un supraveghetor fuzzy. De fapt, controlerul Sugeno calculează o medie ponderată de ieșire a diferitelor funcții locale.

Aplicabilitatea algoritmilor de control fuzzy este vastă: camere, mașini de spălat, televizor color, controlul transmisiei mașinii, climatizare sau chiar încălzire, ventilație sau aer condiționat.

## *Casa experimentală*

---

Casa experimentală din campusul U.P.B. a fost construită ca o casă duplex standard cu un etaj. Acesta este împărțit în două case în oglindă, ca fiind partea de est și de partea de vest. Partea Estică casei servește ca laborator de cercetare studenților, având un sistem EAHX, care utilizează temperatura solului pentru a păstra o temperatură constantă în interiorul casei. Partea vestică are aceleași proprietăți termice ca partea estică, care este echipată cu un sistem HVAC diferit: o unitate aer - aer de recuperare a căldurii, plus o pompă de căldură geotermală.

Clădirea a fost proiectată ca o casă pasivă pentru a reduce sarcina termică printr-o izolare eficientă și etanșitate esențială. Fiecare perete are un minim de trei straturi distinctive, caracterizate prin un nivel bun de conductivitate termică. Ferestrele cu geam triplu sunt poziționate în partea de sud a clădirii, spre soare.

Pentru a crește eficiența sistemului HVAC, a fost folosit un put canadian, din cauza temperaturii constante a solului. O pompă colectează aerul din mediu și îl introduce în unitatea de recuperare a încălzirii printr-un tub de 40 m în forma de U.

Un sistem solid de monitorizare a fost instalat în casa experimentală de către o echipă de cercetători și ingineri, testând eficiența HVAC dar și tehnologiile digitale. Sistemul de monitorizare colectează informații precum: temperatura, calitatea aerului și energia electrică. Fiind echipat atât cu soluții software, cât și cu soluții hardware, sistemul de monitorizare oferă o politică de consum redus de energie în funcție de nevoile utilizatorului. Sistemul de monitorizare este compus din mai mulți senzori cu fir și fără fir, organizați strategic în interiorul clădirii, oferind informații utile despre parametri selectați. Din acest motiv, un editor de politici rulează ca o aplicație de calculator. Codul HTML este necesar pentru a controla sistemul HVAC, edita politicele și seta rezistența electrică.

Laboratorul experimental din U.P.B. este prezentat în imaginea de mai jos, oferind condiții optime pentru măsurarea și achiziționarea de date, în special conectarea contoarelor inteligente la rețeaua IoT. În capitolul următor, sunt furnizate mai multe informații despre colectarea și fluxul de date.



## *Achiziționarea și colectarea datelor*

---

În secțiunea următoare vom detalia informațiile despre metodele de achiziție a datelor, precum și a diferitelor tehnici de măsurare. Este necesar un sistem de contoare inteligente pentru a măsura cantitatea de energie electrică utilizată. Acestea sunt cele mai noi produse de inginerie care vizează înlocuirea contoarelor obișnuite de sisteme de gaze și energie electrică până în 2020, potrivit Comisiei Europene [19]. Acest sistem este necesar pentru a măsura consumul de energie și utilizarea clădirilor 24/7 în timp ce trimite date furnizorului de servicii, fără fir. Utilizarea sistemului de contor inteligent economisește mult timp datorită faptului că nu se mai utilizează citirea manuală și facturile estimate incorect. Cu ajutorul contoarelor inteligente, datele sunt transmise instant unui furnizor, având date energetice precise cum ar fi sistemul implementat în casa experimentală. Diferența dintre furnizor și casa experimentală este că toate datele din laboratorul de testare sunt colectate către un anumit server și menținute sub observație constantă.

Sistemul de contor inteligent al casei pasiva poate colecta trei tipuri distincte de date: date în timp real, date persistente și date arhivate. Fiecare dată este legată de un contor inteligent echipat cu un slot SD unde este instalat un sistem de operare Raspbian.

Mai multe aplicații se execută pe sistem dovedind colectarea constantă a datelor. Interacțiunea dintre SMX și HMI se face prin intermediul unui computer de la distanță conectat la internet. Numeroase module funcționează în cadrul contorului inteligent, creând un flux de lucru fluent cu sistemul.

Cerințele energetice și consumul sistemelor influențează cu precizie performanța oricărei clădiri în ceea ce privește costurile și confortul. În acest capitol, vor fi prezentate două metode de estimare a consumului de energie:

1. modelarea directă
2. modelarea bazată pe date.

Două proceduri de bază pot fi aplicate oricărui model matematic, în interesul determinării celei de-a treia componente sau a rezultatului:

1. abordarea directă,
2. abordarea bazată pe date.

Abordarea directă este utilizată pentru a prognoza parametrii de ieșire ai unui prototip declarat, luând în considerare cunoștințele despre arhitectură și parametri în momentul în care utilizatorul introduce datele de intrare. Abordările directe utilizează o caracterizare fizică a sistemului structurii sau a elementului de interes. Cu alte cuvinte, locația, proprietățile clădirii, poziția casei, sistemul HVAC sau materialul construcției sunt cunoscute.

Abordarea bazată pe date implică cunoașterea unui număr mare de date privind intrările și ieșirile. Avantajul major al acestei metode este ușurința de punere în aplicare a sistemului care nu necesită caracteristici fizice pentru a prognoza comportamentul clădirii. Acest tip de metodă se efectuează în condiții optime atunci când informațiile

sunt accesibile pentru analiză. În concluzie, a doua abordare identifică prototipul sistemului cu o predicție riguroasă a eficienței structurii.

Diferența dintre abordări constă în numărul de parametri adunați ca urmare a datelor reduse și recurente incluse în baza de date. În general, abordările directe sunt mai permissive decât metodele bazate pe date atunci când vine vorba de estimarea energetică a caracteristicilor clădirii.

O dezvoltare recentă a sistemului de contoare inteligente a făcut posibilă conectivitatea fiecărui dispozitiv la sistemul IoT, atâta timp cât sistemul este conectat la internet. În plus, ecosistemul IoT poate face schimb de informații cu orice dispozitiv conectat, în orice moment sau locație prin intermediul unei platforme unice.

Un contor inteligent indică cantitatea totală de energie utilizată, în timp real, plus costurile totale ale situației în moneda țării. Unul dintre avantajele majore ale utilizării unei platforme SMX este comunicarea la distanță pe care o poate avea fiecare dispozitiv, datorită faptului că, atâta timp cât este disponibilă conexiunea de date mobile, pot fi întreprinse acțiuni cu o aplicație terță. Plățile și soldurile locuințelor pot fi văzute direct printr-o conexiune la distanță cu contorul inteligent economisind timp și resurse. Utilizarea managementului poate fi înregistrată și configurată în funcție de preferințele utilizatorului, implementând un control mai bun asupra consumului de energie.

În scopul acestei teze, datele meteorologice au fost colectate direct de la senzorii externi, precum și din confruntarea actualizărilor zilnice de pe site-urile de prognoză: Accuweather, Wunderground, Prognoza meteo sau Ventusky. Baza de date complexă a fost creată prin monitorizarea mai multor orașe din Europa (Lyon, Roma, Berlin, București), inclusiv date prognozate pe 30 de zile. În plus, site-ul Energy Plus a fost utilizat pentru a identifica intrările meteorologice.

Predicția meteo este o problemă importantă a tezei din cauza impactului direct asupra clădirii. Luând în considerare aspectele meteorologice, orice clădire este supusă modificărilor de temperatură, astfel încât pot apărea pierderi de consum de energie. Parametrii de mediu au impact direct asupra consumului din orice structură rezidențială fiind capabil de a crește temperaturile în camere, răcirea temperaturii aerului interior sau chiar declanșarea sistemului pentru încălzire inutilă.

Pentru predicția datelor cu algoritmul propus, trebuie recunoscute două metode distincte. Algoritmul cutiei gri este specific pentru capacitatea sa de a emite anumiți parametri, precum și pentru intrările multiple. În scopul acestei teze, propunem doi algoritmi care se bazează pe modele Grey Box, care sunt capabili să adune și să prezică atât parametrii fizici, cât și statistici.

Primul algoritm se referă la partea fizică a clădirii, cum ar fi: materialele utilizate pentru construcția clădirii, forma casei, orientare, mai multe straturi de componente ale clădirii sau pierderile de energie de la podurile termice.

Al doilea algoritm este un algoritm statistic utilizat pentru a crea o bază de date a datelor de intrare în ceea ce privește parametrii selectați pentru vreme. Datele meteo pot



fi descărcate de pe diferite site-uri autorizate, ar fi: Accuweather, Wunderground, Prognoza meteo sau o soluție complexă, Ventusky.

Pentru dezvoltarea bazei de date meteorologice, au fost aleși anumiți parametri, cum ar fi: temperatura, umiditatea, precipitațiile, viteza vântului, acoperirea norilor, presiunea, ora (data, ora). Perioada anului este foarte importantă, deoarece parametrii meteorologici pot varia din ianuarie până în august. Pentru a dovedi o bună acuratețe a achiziției de date, au fost efectuate teste pentru o anumită perioadă a lunilor selectate.

Luând în considerare faptul că algoritmul de predicție meteo citește intrările și prezintă ieșirile pentru o perioadă de 30 de zile în avans, au fost adunați mai mulți parametri de intrare de pe următoarele site-uri web:

[www.accuweather.com](http://www.accuweather.com) [20]

<https://www.wunderground.com> [21]

<http://www.weather-forecast.com>[22]

Patru orașe au fost monitorizate pentru baza de date de intrare, luând în considerare poziția geografică. Orașele au fost alese între o distanță de 1000 km, cu condiția de a avea climat meteorologic opus. Asadar, pentru o mai bună înțelegere a algoritmului de predicție meteo, pentru o perioadă de două luni au fost monitorizate patru orașe: București (ca referință), Lyon, Roma, Berlin.

Parametrii meteorologici pe oră sunt colectați ca intrări pentru calculul algoritmului. Pe parcursul unei perioade de 24 de ore, au fost selectați următorii parametri pentru a obține o precizie superioară: temperatura exterioară, temperatura reală a simtului, nivelul de umiditate, starea (cer senin sau noros), nivelul precipitațiilor, viteza vântului, acoperirea norilor, presiunea.

Obiectivul algoritmului propus este de a identifica condițiile meteorologice de intrare de pe site-ul Web Energy Plus [23] și de a crea un fișier capabil să convertească datele meteorologice într-un format lizibil. Mai mult decât atât, algoritmul poate găsi radiația solară pe o suprafață intitulată care afișează și vizualizează datele. În plus, modelele de analiză fizică și de stat-spațiu identifică stabilitatea și precizia sistemului analizat.

Un fișier EPW are mai multe texte inutile și trebuie să fie potrivit pentru citirea algoritmului. Pe primul rând al fișierului EPW sunt afișate locația și datele exacte ale orei, urmate de parametri precum: temperatura maximă, temperatura minimă, temperatura medie, temperatura solului, umiditatea relativă etc.

Odată cu conversia fișierului EPW în fișier CSV, un algoritm MATLAB este capabil să citească și să ia ca intrări numai valorile dorite. Fișierul CSV este organizat în 15 coloane începând cu anul, luna, ziua, ora, minutul și terminând cu radiațiile globale, radiațiile difuze sau presiunea atmosferică.

## **Platforma SMX**

Smart Meter Extension (SMX) este un sistem implementat pe o placă Raspberry Pi2, având o arhitectură concentrică a bazei de date [24]. În cadrul bazei de date, comunicarea cu aplicația nu este directă, ci prin canale specifice. Acest tip de sistem

protejează datele cu un software RBAC (Role Based Access Control), permițând ca transferul de informații să se facă fără întrerupere.

Primul pas în crearea unei arhitecturi SMX bazate pe un computer cu placă unică raspberry PI2 este de a crea o imagine cu fișierele necesare care să permită executarea aplicației. Imaginea constă dintr-un pachet și un REST-API pentru baza de date Mongo. De remarcat că imaginea pentru OPEN-source SMX are toate programele esențiale deja instalate într-o configurație anterioară. Astfel, permite utilizatorului să-și dezvolte propriile module și să interacționeze cu sistemul în funcție de nevoile sale.

Din punct de vedere dinamic, SMX este capabil să detecteze trei tipuri diferite de date:

**1) Date în timp real**, care sunt date non-persistente, și care se preconizează că vor fi modificate frecvent (cum ar fi puterea reactivă P și Q, tensiunea U sau curenții I)

**2) Date persistente**, care sunt memorate după ce sistemul se activează/dezactivează. Procesul de date stocate este asigurat de soluția SMX. Pe de altă parte, datele persistente sunt utilizate pentru a crea baza de date Mongo. Dacă utilizatorul nu este familiarizat cu soluția MongoDB, NoSQL este propus pentru stocarea acestui tip de date.

În comunicarea cu anumite aplicații, datele pot fi schimbate după urmează:

- comunicarea în timp real cu SMXCore poate fi realizată printr-un modul MongoDB al SMX.

- comunicarea dintre API REST și MongoDB poate fi stabilită cu orice aplicație de încredere a sistemului. Avantajul utilizării acestui tip de comunicare este confidențialitatea datelor, precum și pentru elaborarea politicilor de securitate.

**3) Date arhivate**, care sunt foarte legate de datele persistente. Acest tip de date are un interval de timp de la 1 la 60 de secunde, în funcție de nevoile utilizatorului. Un avantaj considerabil al utilizării acestei tehnici este regăsirea datelor prin citiri offline pe fișiere separate. Dosarele sunt clasificate ca: 1) zilnice; 2) săptămânale sau 3) fișiere lunare.

Parametri electrici cum ar fi P, Q, U, I sau registrele energetice A+, A-, R+, R- pot fi găsiți în baza de date. În plus, evoluția datelor poate fi afișată folosind metoda SMX. SMX este echipată cu un card slot SD pentru mai multe scopuri. Unul dintre avantajele utilizării unui card SD este instalarea unui raspbian-jessie-lite-16-11-image gratuit. Mai multe module sunt setate pentru a fi activate, odată ce conexiunea SMX - SDcard este stabilită:

- **Set de module** - care sunt instalate în TZ (zona de încredere). Un activ important este "MQTT Client" (Message Queuing Telemetry Transport) care poate comunica cu orice dispozitiv extern. Clientul utilizează un broker Mosquitto MQTT și două Dockers: #0 și #2.

De remarcat că orice Docker "#x" este un grup de aplicații Docker care pot interacționa, chiar dacă lucrează sub restricții Docker, cu Zona de încredere prin API-ul

REST al MongoDB sau printr-un client MQTT al SMXCore. Din motive de securitate și confidențialitate, ambele vor avea sistemul RBAC implementat.

- **Pachetul MongoDB** - disponibil pe internet ca pachet open-source și este instalat în TZ. Acest broker permite conectarea aplicațiilor de încredere la baza de date în timp real.
- **REST API** - responsabil pentru conexiunea directă dintre Aplicații și MongoDB. Prin utilizarea unui simbol, numai datele permise pot fi schimbate în cadrul comunicării cu baza de date. Fiecare utilizator trebuie să aibă obligatoriu instalat un PC (profil de confidențialitate) și un sistem RBAC.
- **Aplicație Web-Server** – funcționează pe o interfață de conexiune cunoscută de orice utilizator pentru citirea locală a datelor SMX. Aplicația are cod java script de limbă, creând un server web NOD-JS puternic și stabil. În special, imaginea având bază-SMX-HMI lucrează cu două situații: 1) docker de mediu; 2) zona de încredere. Ambele cazuri au două porturi diferite, de lucru complementar.
- **OpenVPN** - strict instalat cu scopul de a crea o conexiune la distanță în condiții de siguranță la server. Atâta timp cât administratorul de rețea este conectat la internet, acesta poate accesa sistemul prin conexiunea VPN.

În aceste condiții, un mare avantaj al implementării SMX este dezvoltarea în continuare a aplicațiilor HMI în conformitate cu nevoile utilizatorului.

### **Colectarea și integrarea datelor prin IoT**

O controversă actuală privind sectorul energetic este punerea în aplicare a Internet of Things (IoT) în cadrul oricărui eco-sistem sau clădiri rezidențiale. Sprijinind modernizarea direcției IoT, a existat o luptă constantă între colectarea de date și furnizarea celei mai bune soluții pentru securizarea acestei achiziții de informații.

Predicția datelor de intrare este legată de cele mai noi tehnologii implementate recent în unitatea de testare sub forma UPB, care rulează pe un modul de lucru IoT. Scopul este de a înțelege comportamentul oamenilor care trăiesc în interiorul clădirii. Sistemul este programat să analizeze și să monitorizeze datele de intrare, în special parametrii de confort în orice tip de construcții rezidențiale. Mai mult decât atât, a fost creată o platformă pentru a investiga datele colectate și pentru a le asimila cu tehnologia actuală pentru a economisi energie cât mai mult posibil. În plus, prin conectarea aplicațiilor terțe la modelul de sistem IoT, nivelul de experiență a fost potrivit pentru o utilizare prietenoasă și ușoară a fiecărui individ. Designul experimental funcționează sub senzori de rețea fără fir capabil să trimită date instant către sistemul IoT. IoT vine cu o soluție care oferă conexiune completă la orice fel de obiect legat de internet. În facilitatea de testare de la UPB, fiecare utilizator are un profil specific creat.

Scopul este de a îmbunătăți evaluarea sistemului și a informațiilor acumulate de la dispozitivele inteligente. IoT poate fi prezentat ca cadru global care recoltează informații importante despre date specifice, inclusiv date de intrare pentru modelele

matematice. Acest tip de cunoștințe este analizat prin părți distincte care se bazează pe stări tridimensionale: timp, loc și dispozitiv.

Când vine vorba de ecosistemul IoT, unul dintre cele mai importante elemente ale sistemului este dispozitivul. Dispozitivele pot fi găsite ca echipamente fizice (lucruri / obiecte) care funcționează ca informații colector. Fiecare dispozitiv poate face schimb de informații cu un alt dispozitiv, indiferent de oră sau loc, prin intermediul unei anumite platforme. În funcție de nevoile utilizatorului, fiecare dispozitiv poate fi programat să salveze informații într-o anumită bază de date cu un timp de pre-configurare.

Toate stările dimensionale comunică între ele prin protocoale stabile, făcând din infrastructura IoT o soluție bună pentru analiza și conștientizarea datelor. Instrumentele sau controlerile inteligente pot fi recunoscute ca senzori fizici capabili să transmită parametri utili despre împrejurimi.

Fiecare senzor are în componența sa o placă de baze mică. Luând în considerare faptul că majoritatea dispozitivelor au o rutină software, aceasta implică o entitate hardware care trebuie să fie prezentă tot timpul. Soluția hardware pentru infrastructura IoT este eficientă din punct de vedere al costurilor și inteligent din punct de vedere funcțional. În tabelul 1, sunt prezentate principalele elemente ale unei structuri IoT. Fiecare strat al structurii are un rol important, provocând direct consumul de energie al laboratorului de testare. Dispozitivele sunt responsabile pentru conexiunea cu sistemul și pregătite pentru monitorizare și organizare.

Tabelul 1. Ecosistemul IoT – elemente importante

Dispozitiv	Colectarea datelor	Analiza datelor	Aplicare
Unul sau mai multe obiecte care sunt controlate și monitorizate	Conversia semnalului (intrare analogică și ieșire digitală)	Gestionarea datelor, analiza datelor, calculul bazat pe cloud.	Informații de schimb între aplicația terță parte și sinergia utilizatorilor
Măsuri de siguranță sau de protecție			

Al doilea strat al eco-sistemului IoT este responsabil pentru colectarea datelor care implică conversia semnalului de la un analog de intrare într-un semnal digital de ieșire. Transformarea semnalelor depinde de următoarele:

- Semnalul fizic măsurat
- Diversitatea tipului de senzor
- Perioada de timp de compilare a datelor

Al treilea strat analizează și procesează datele filtrate din fișierele de cloud computing. Utilizatorul final primește numai cele mai relevante informații ca grafică sau

documente statistice. După o analiză complexă a datelor prelucrate, acest strat furnizează numai informațiile necesare pentru a le evalua locuitorul.

Stratul final este dedicat centrului de aplicații, conectând straturile superioare cu sistemul de partid prin tot felul de protocoale. În fig. 3 16, este furnizat un model tehnic de comunicare, care arată ipoteza operațională a accesului la date la gateway-urile rețelei. Acest tip de comunicare se face prin mai multe canale VPN securizate, fiind controlat printr-un set de proceduri care autorizează liniile directe de securitate.

Laboratorul de testare rulează pe un modul de lucru IoT, care este structurat în mai mulți furnizori de senzori sparrow, care sunt în corelație puternică cu un centru de achiziție (care lucrează la standardul IEEE 802.15.4). Construit pentru dezvoltarea unui scop, o Sparrow este o rețea de senzori fără fir (WSN) care funcționează pe standarde diferite pentru testarea aplicațiilor fără fir. Un nod fără fir Sparrow este compus din diverse elemente cu dimensiuni mici, consum redus de energie și senzori low-cost. Acești senzori sunt sistematizați într-o structură regulată capabilă să colecteze date din mediu și să se conecteze la rețelele din apropiere printr-un anumit gateway.

Principala sursă de energie pentru senzor este bateria, care este compus din 2 baterii AA 1.5V CR2477N care stochează o cantitate medie de energie (950 mAh). Pentru monitorizarea ratei de consum de energie a acumulatorului, un senzor de gestionare a energiei a fost ales să facă parte din senzorul nodului Sparrow.

Prin transformarea semnalului analog în semnal digital, funcționalitatea blocurilor colectează informații despre parametrii importanți ai instalației de testare:

- poluanți atmosferici interiori: particule de praf (1 până la 10  $\mu\text{m}$ ),
- scurgeri de gaz combustibil, ar fi: metan, propan sau monoxid de carbon,
- amoniac,
- sulfură,
- abur de benzen,
- - temperatura sau umiditatea.

## *Predictia energiei utilizand date putine: modele degree-day si grey-box*

---

Gradul de încălzire (HDD) este o procedură comună pentru estimarea consumului de energie al oricărei clădiri rezidențiale. Emisiile de dioxid de carbon pot fi estimate prin utilizarea metodei HDD datorită datelor colectate într-o perioadă selectată. În cazul renovărilor majore ale clădirilor, utilizatorul poate seta nivelurile de energie în conformitate cu analiza sistemului [25].

Economiile de energie și consumul clădirii rezidențiale se calculează prin înmulțirea numărului de ore analoge cu valoarea temperaturii exterioare. Astfel, modelele în stare stabilă nu ar trebui utilizate din cauza variației câștigurilor interioare și a temperaturii. Metoda “grad-zi” poate aduce o estimare a sarcinilor anuale cu sau fără dificultăți (dacă câștigurile interne și temperatura interioară sunt constante).

În cazul modificării sarcinilor libere și ale punctelor de temperatură stabilite pentru clădire, consumul de energie poate fi afectat. Având în vedere îmbunătățirea sistemului, temperatura implicată în sistem poate fi echilibrată prin utilizarea metodei “grad de încălzire-zi”. Deoarece precizia sistemului este una dintre elementele cheie ale funcționalității bune a sistemului, trebuie luat în calcul o temperatură de referință. Temperatura de referință este egală cu temperatura de bază în cazul în care clădirea este la punctul de echilibru. După identificarea acestui pas, trebuie determinată o diferență între temperatura exterioară și temperatura de bază. Atunci când condițiile de confort termic sunt îndeplinite și sistemul nu funcționează, clădirea este în echilibru [26].

Pentru a obține un confort termic bun, mulți utilizatori utilizează diferite sisteme de încălzire sau răcire. Diferența dintre temperatura de bază și temperatura exterioară, în conformitate cu metodele HDD, este susținută de sistemul HVAC. Metoda grad-zile funcționează dacă este aplicată pe o perioadă de 24 de ore. Pentru o mai bună precizie a temperaturii vizate, se recomandă împărțirea în intervale orare. În ciuda acestui avantaj, mai multe aspecte pot fi prezente în metoda de grad-zi:

- prima problemă a utilizării metodei de grad-zi este estimarea parametrilor, coeficientul global de pierdere a căldurii și temperatura de bază (prezentând o ușoară eroare pentru calculul ieșirii),
- a doua problemă constă în identificarea abordării eficienței energetice a clădirii (analiza se face numai pentru anumiți parametri).

În primul rând, trebuie făcută o ipoteză, înainte de calcularea consumului de energie. În al doilea rând, orice referință statistică poate oferi rezultate aproximative la începutul analizei.

Metodele simplificate utilizează parametri de intrare ale aerului pentru a măsura cerințele de energie. Fluctuația temperaturii interioare și exterioare exclude perioadele în care sistemul HVAC este oprit. Durata și magnitudinea descriu perfect tehnica “grad-zi” estimând în același timp consumul de energie al oricărei clădiri .

Pentru o mai bună înțelegere a principiului de lucru, metoda “grad-zi” demonstrează importanța temperaturii de bază dar și a perioadei de timp alese. Diferența între prima și a doua zi se face prin metoda utilizată pentru a descrie temperaturile alese:

- 1) Ziua 1 - Temperatura medie zilnică.
- 2) Ziua 2- Degree-day.

### Temperatura de baza (punctul de echilibru termic)

Temperatura de bază este configurată la începutul calculului, în timp ce gradul necesar pentru activarea sistemului este determinat pe oră. Chiar dacă câștigurile de căldură cauzează dificultăți sistemului prin nerecunoașterea temperaturii de bază corecte, se pot face ajustări suplimentare cu HVAC pentru a obține un confort în interiorul temperaturii. Pentru a oferi o explicație corectă a temperaturii implicite, trebuie luate în considerare mai multe aspecte termice după urmează: capacitatea termică, pierderea de căldură, rata de infiltrare a aerului, coeficientul de pierdere a căldurii, orientarea clădirii.

În concluzie, deoarece senzorul extern a detectat o temperatură mai scăzută decât în mod normal, consumul sistemului HVAC a fost mai mare decât de obicei (datorită acumulării de puncte “grad-zile”). Important de realizat este că precizia acestui tip de metodă nu este foarte bună, dar rapiditatea analizei oferă un rezultat în într-un timp scurt.

După rularea fișierului PHPP, cererea anuală specifică de căldură pentru clădire este afisată, arătând un răspuns bun al sistemului (conform Fig. 2). În timpul sezonului cald, pierderile specifice urmează un trend bun, în timp ce câștigurile solare specifice sunt la potențial maxim, ceea ce implică lipsa cererii sistemului HVAC.

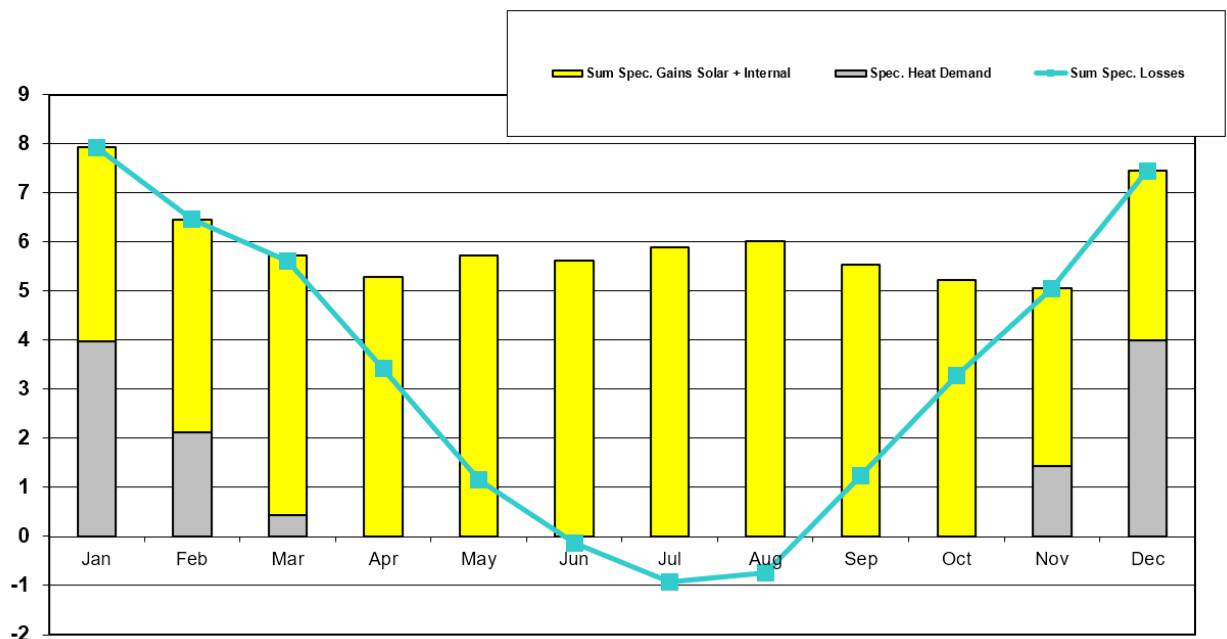


Fig. 2 Pierderile specific, castiguri, cererea de incalzire (kWh/m2 luna)

În timpul sezonului de iarnă, cererea specifică a căldurii este în creștere din cauza condițiilor meteorologice. În ciuda acestei diferențe, laboratorul de testare ramane sub 12 kWh/m2y consum.

Atunci când se utilizează “grad de răcire-zi”, estimarea energiei clădirilor poate fi sistematizată prin afișarea exacta punctelor de zi necesare pentru a minimiza consumul de energie. Datorită aporturilor solare, sistemul HVAC trebuie să omita rezistența electrică, furnizand temperatura solului în interiorul clădirii. Fig. 4 reprezinta pierderile specifice, a încărcăturilor și a cererii de răcire a sistemului HVAC,.

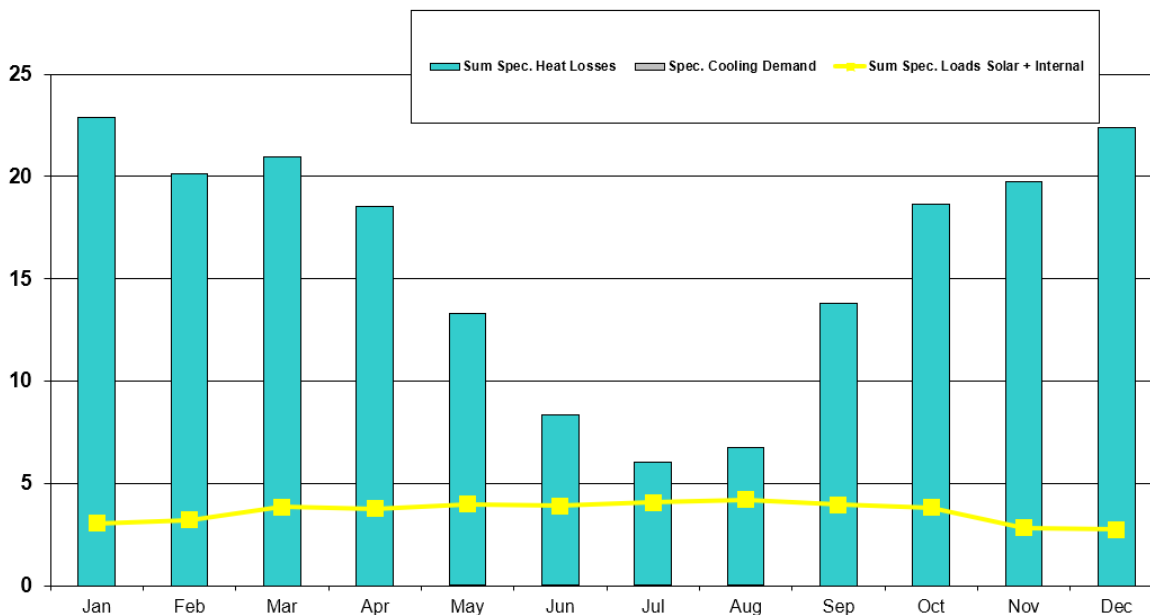


Fig. 7 Pierderile specifice, incarcaturile si necesarul de racire (kWh/m2 luna)

Sistemul HVAC este organizat pentru a furniza o temperatură interioară de 25 °C în timpul perioadei de vară, în interiorul fiecărei camere a clădirii. În ceea ce privește consumul de energie și reducerea costurilor, estimarea energetică este una dintre cele mai importante caracteristici. Cu o estimare precisă a energiei, pot fi depășite mai multe probleme, ar fi: probleme financiare, consum ineficient de energie sau economii de energie. Deși simulările sistemului ajută la estimarea consumului de energie, precizia poate fi influentata de potentialele erorilor de software. Chiar dacă analiza poate fi efectuată la un nivel de precizie înalt, cea mai mare problemă este timpul de procesare. Avantajul oferit de metoda de “grad-zi” este simplitatea pentru estimarea consumului de energie al clădirii atunci când vine vorba de încălzire sau răcire. Este necesar doar un cumul de date de intrare pentru a rula o analiză completă pentru predicția consumului de energie sau, pe scurt, pentru a identifica factorii care influențează consumul.



## Modele Grey-box

O ecuație de model de tip grey-box este utilizată pentru a descrie sistemul dinamic. Ecuațiile diferențiale stochastice (SDE) sunt ecuațiile de bază de unde sistemul își trage intrările:

$$dT_1 = \left( \frac{1}{C_1 R_1} (T_e - T_1) + \frac{1}{C_1 R_2} (T_i - T_1) \right) dt + \sigma_1 dw_1 \quad (6)$$

$$Q_{i,k} = \frac{1}{R_2} (T_{i,k} - T_{1,k}) + e_k \quad (7)$$

unde,

- $Q_i$  – fluxul de iesire observant,
- $T_i$  - temperature ambientala,
- $T_e$  - temepatura interioara,
- $T_1$  – variabila de stare in ecuatia (6), impreuna cu ecuatia de observare (7),
- $k$  este observatorul  $k^{\text{th}}$  in punctul  $T_k$ .

Parametri sunt:

- $C_1$  – capacitatea termica a peretilor
- $R_1$  – rezistenta termica din ambient in perete
- $R_2$  - rezistenta termica din perete in interior
- $\omega_1$  procesul Wiener process, care este un process continuu de zgomot de timp, care are proprietatea  $\omega_1, T_k - \omega_1, T_{k1} \sim N(0, (T_{k-1} - T_k)^2)$ . Unitatea este  $\sqrt{s}$ . Varianta zgomotului sistemului este  $\sigma_1^2$ .
- Zgomotul de observatie este  $e_k \sim N(0, \sigma^2)$  se presupune a fi zgomot alb, deci,  $\sigma^2$ .

## Identificarea modelului Grey-box

Modelul utilizat în primul sistem este ilustrat prin diagrama RC din Fig. 6.

Metoda CTSM (Continuu Time Stochastic Modelling) este utilizata în identificarea parametrilor cu SDE (eroare de predicție) și este disponibila ca un pachet in programul R. Programul R a fost utilizat pentru a simula parametri de identificare și pentru a transforma peretele analizat într-un circuit nodal:

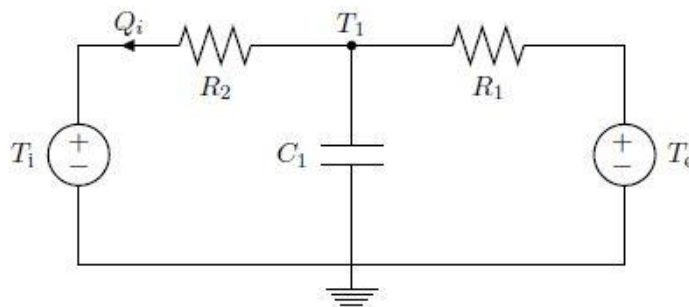


Fig. 6 RC diagram

Având în vedere acest aspect, s-a făcut un scurt raport a răspunsurilor primite de sistem, care ilustrează datele de intrare, date de ieșire dar și reziduurile. Totul a început prin rularea script-ului, programat în software-ul R.

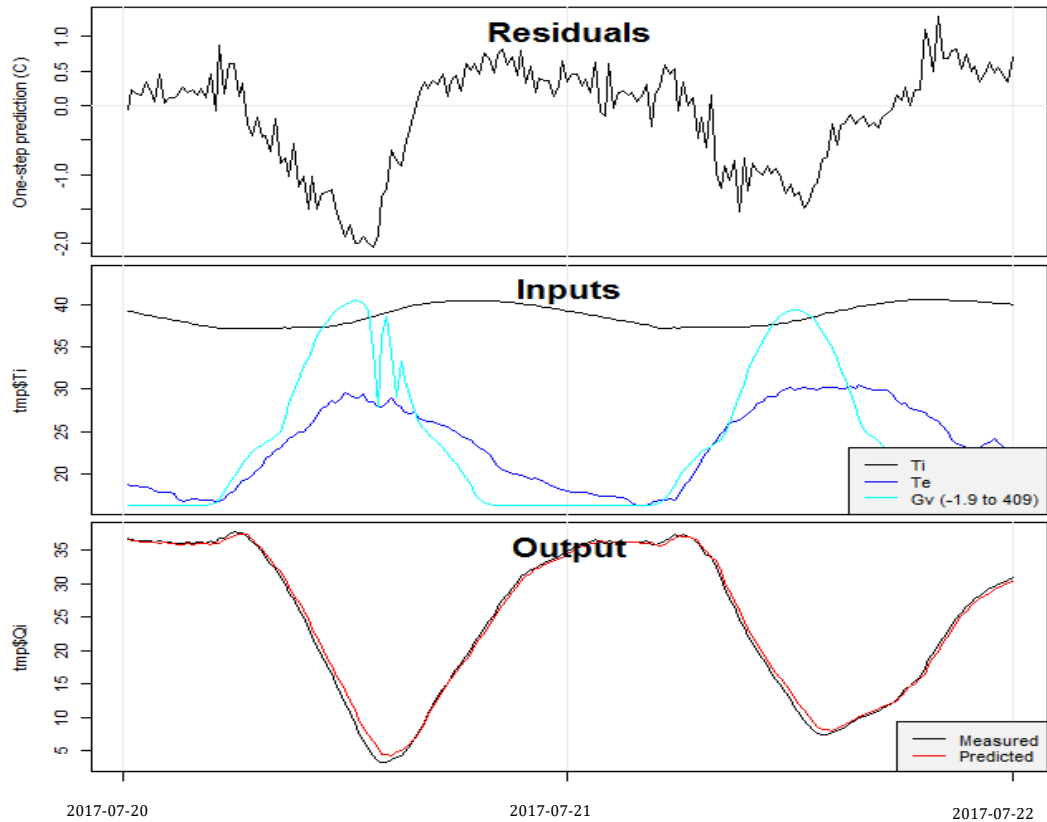


Fig. 7 Reziduuri, date de intrare și ieșire ale sistemului

În primul rând, vom identifica temperatura interioară marcată cu linia neagră, temperatura de mediu conturată cu linia violet și aporturile solare remarcat prin culoarea turcoaz. Pe de altă parte, modelul de ieșiri este specificat în partea de jos a Figurii 7, exemplificând cu fluxul de energie măsurat printr-o linie neagră cât și predicția consumului de energie, culoare roșie. După aceea, variația reziduală este prezentată.

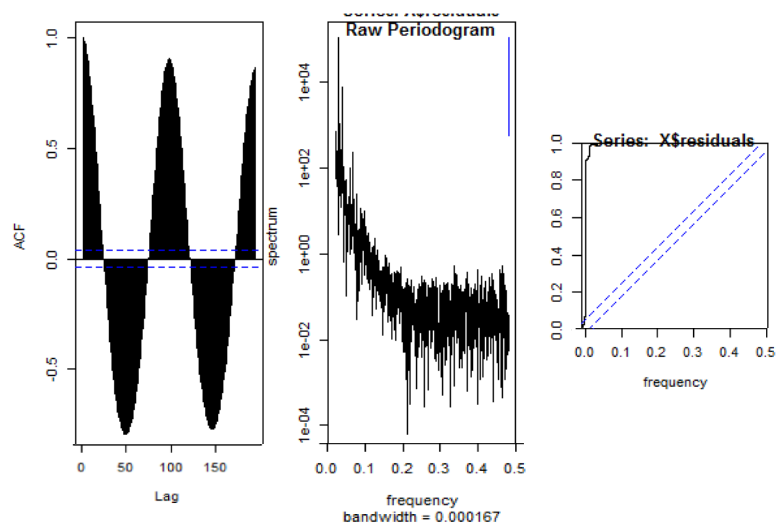


Fig. 8 Corelația reziduurilor cu zgomotul alb

Corelația reziduală a fost calculată utilizând software-ul R în timp ce rezultatul a fost reprezentat grafic într-o imagine de lățime de bandă. În primul rând, reziduurile sunt corelate, urmând o cale precisă, subliniind faptul că nu există nici un zgomot alb (în cazul nostru eroare). Spectrul analizat are valori scăzute atunci când este comparat cu o frecvență diferită, ceea ce indică faptul că unele părți ale sistemului au valori mici. Pe de altă parte, uitându-ne la partea din dreapta a figurii 8, putem sublinia incertitudinea reziduurilor care se regasesc în banda de încredere, nici măcar 5%, ceea ce înseamnă că modelul este încă în lucru.

Mergând mai departe pe studiul tehnic, dacă vom examina Fig. 8 putem afirma că sistemul este precis, urmează o cale bună, dar reziduurile nu are valori durabile. O observație bună ar fi influența castigului solar asupra sistemului. Uitându-ne la graphic și verificând elementele ecuației (6), termenul "GV" (radiația solară) lipsește complet din modelul matematic. În plus, radiația solară are un impact direct asupra casei, având un efect major asupra consumului de energie, unde  $g$  este un coeficient care descrie raportul dintre radiațiile verticale absorbite de perete.

Îmbunătățirea sistemului se realizează prin implementarea radiației solare în modelul simplu grey-box, după cum urmează::

$$dT_1 = \left( \frac{1}{C_1 R_1} (T_e - T_1) + \frac{1}{C_1 R_2} (T_i - T_1) + \frac{g}{C_1} G_v \right) dt + \sigma_1 dw_1 \quad (8)$$

Cu alte cuvinte, sistemul poate fi rezumat ca un model nodal RC cu 2R (rezistențe), 1C (capacitate), 1G<sub>v</sub> (aport solar) și T (temperatura) interior-exterior. Fluxul se deplasează spre temperatura interioară cu însumarea dintre temperatura exterioară și radiația solară, precum este exemplificată în Fig. 9.

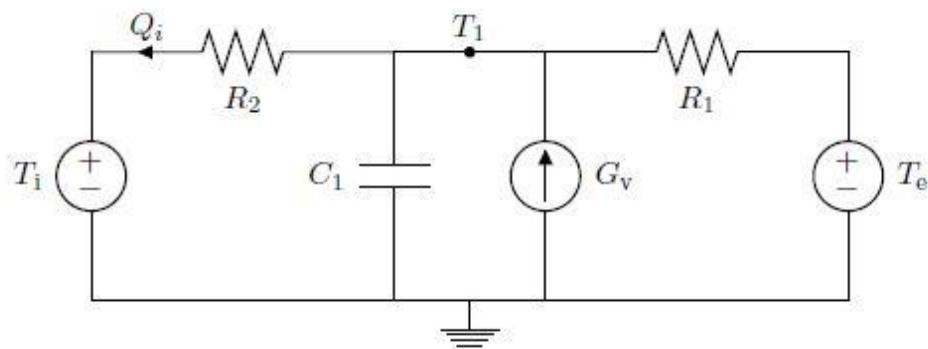


Fig. 9 Forma nodala cu radiatia solara

După efectuarea calculului, rezultatele sunt prezentate în Fig. 10 unde putem deja observa o îmbunătățire a versiunii anterioare. Reziduurile sunt reprezentate grafic, în timp ce în secțiunea din mijloc sunt afișați parametrii de intrare. Diferența se face prin termenul  $G_v$  care reprezintă aportul solar ale sistemului. Rezultatele prezintă reziduuri constante, data de intrare îmbunătățite și o actualizare a datelor de ieșire (prezise și măsurate).

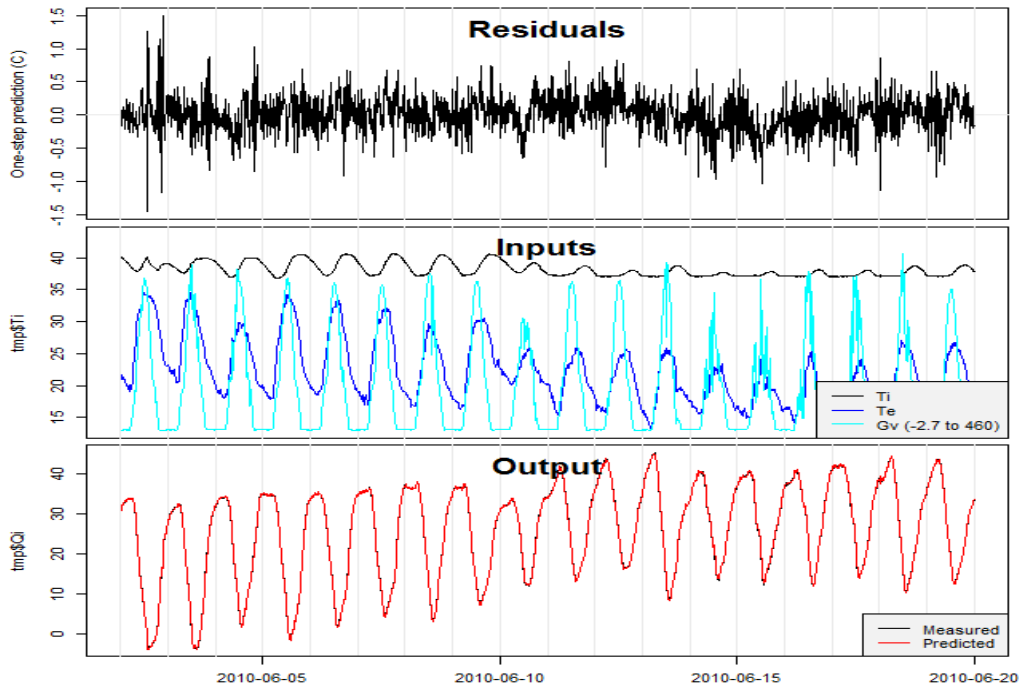


Fig. 10 Sistemul cu implementarea de radiatie solara

În vederea obținerii unor rezultate mai bune, radiațiile solare au fost integrate în sistem și a îmbunătățit un progres în realizări. Una dintre cele mai rapide schimbări ale sistemului poate fi văzută la valorile din Fig. 10, indicând faptul că radiația solară este strans legată și direct proporțională cu datele de intrare. În același timp, fluxul de energie este constant, demonstrând o relație solidă cu radiația solară. Luând în considerare rezultatele obținute (model fără radiație solară), reziduurile au scăzut semnificativ. În plus, sistemul tinde să se îndrepte spre valori reziduale mici care arată noi oportunități de îmbunătățire.

În ultimul rand a fost conceput un al treilea exemplu de sistem. Astfel, punctul de echilibru ( $T_2$ ) și noua capacitate au fost aduse în ecuație. Prin urmare, un nou model matematic a fost creat având ecuațiile următoare:

$$dT_1 = \left( \frac{1}{C_1 R_1} (T_e - T_1) + \frac{1}{C_1 R_2} (T_2 - T_1) + \frac{g}{C_1} G_v \right) dt + \sigma_1 dw_1 \quad (9)$$

$$dT_2 = \left( \frac{1}{C_2 R_2} (T_1 - T_2) + \frac{1}{C_2 R_3} (T_i - T_2) \right) dt + \sigma_2 dw_2 \quad (10)$$

Structura analitică a noului model este diferită fata de ecuația (6) datorită punerii în aplicare a capacității suplimentare ( $C_2$ ), a rezistenței ( $R_3$ ) și a punctului  $T_2$ :

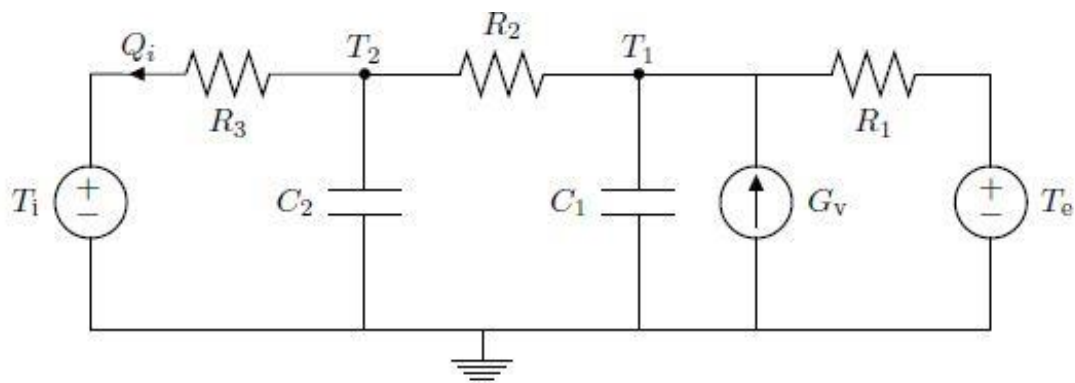


Fig. 11 Modelul matematic cu radiatie solara si punct de echilibru

Rezultatele obținute reprezintă o îmbunătățire a sistemului, fiind exemplificate în Fig. 12, unde se poate observa o diferență substanțială reziduală. Reziduurile sunt menținute în banda de confidențialitate, mai mult de 95% din. Cu toate acestea, cea mai importantă valoare este cea de 5%, care este considerată a fi eroarea sistematică.

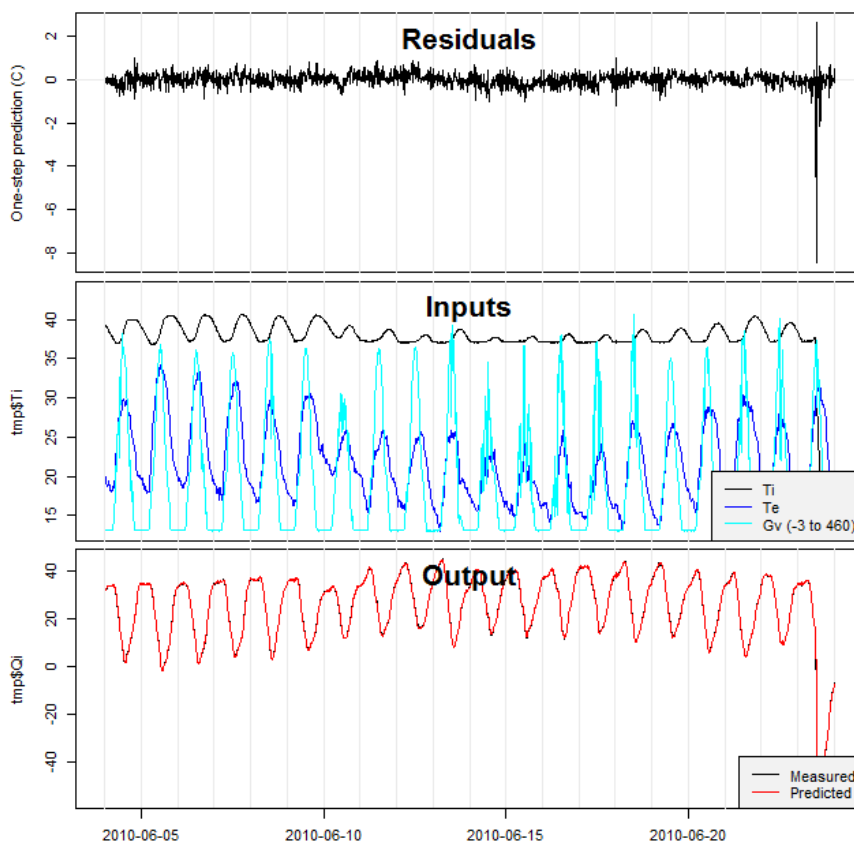


Fig. 12 Rezultatele ultimului sistem

Fig. 13 prezinta datele de intrare care urmează o tendință favorabilă, fiind echivalente cu razele solare colectate din ambient. Se poate observa o eroare sistematica la finalul perioadei de interes. O astfel de situatie are loc cand lipsesc date de intrare. Mai mult, pasul de timp pentru sistemul simulat a fost ales astfel: 2, 5, 10, 15, 20 și 30 de

minute. Datele au fost colectate în serie pentru a înțelege legătura dintre reziduuri și predicția erorilor de estimare.

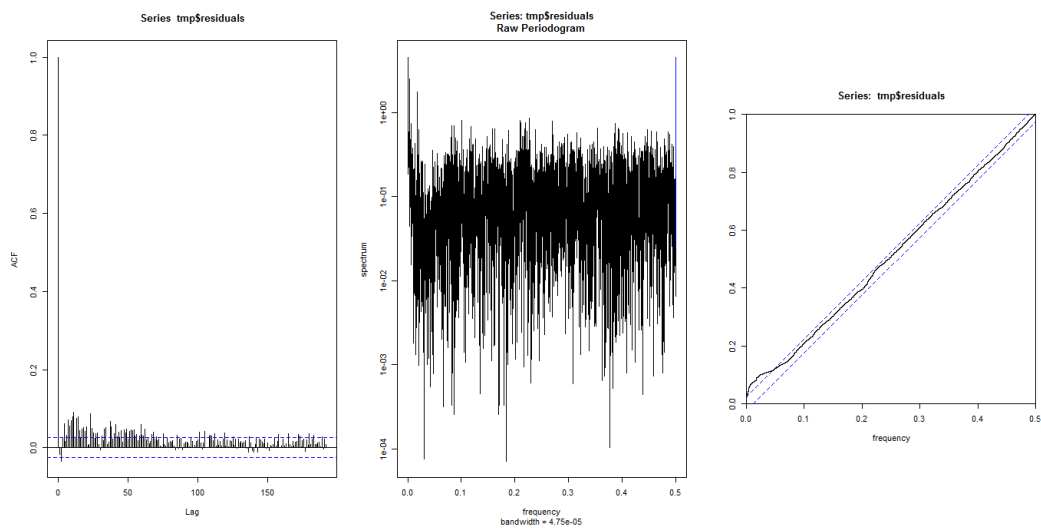


Fig. 13 Reziduuri si rezultate

În încheiere, cu cât reducem mai mult pasul de timp al analizei, cu atât precizia crește mai mult, iar reziduurile devin mai mari, oferind posibilitatea de a le controla cu ușurință. Fig. 14 prezintă o modificare uriașă a rezultatului analizei, care a fost cauzată de o defecțiune a sistemului. De remarcat faptul că reziduurile sunt menținute în banda de confidentialitate mai mult de 96%, dovedind eficiența algoritmului în cauza.

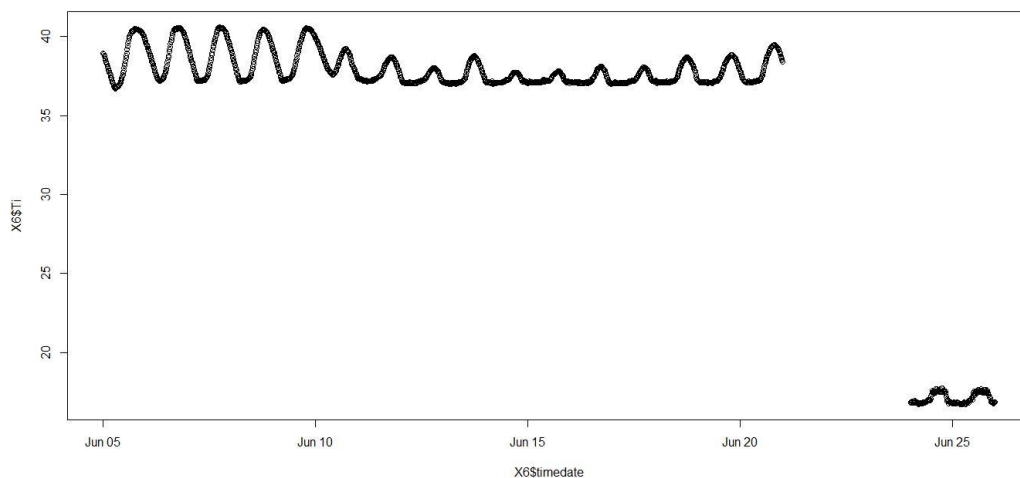


Fig. 14 Lipsa datelor cauzate de o eroare a sistemului

Mai mult decât atât, dropdown văzut în Fig. 15, cauza de defecțiune a sistemului reziduale încep să se stabilizeze la un anumit punct, pe 25 iulie. Ca o concluzie, văzând rezultatele reziduurilor, putem recunoaște faptul că acest model este o îmbunătățire, deoarece reziduurile urmează un model constant, fiind conținute în banda de încredere cu mare precizie. Modelul este sensibil la intrări, mai ales atunci când parametrii inițiali suferă modificări. Pentru a acoperi această problemă și îmbunătățirea este necesară, deoarece radiațiile de la soare este puternic legată de rezistențele sistemelor meters

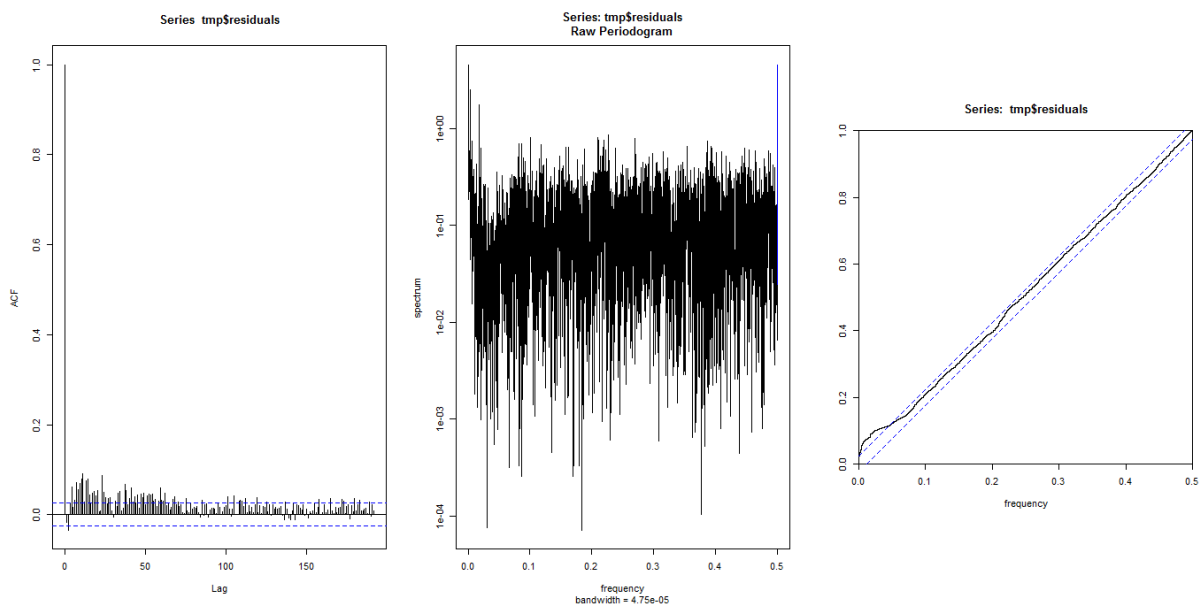


Fig. 15 Residuals and results

Modelul numărul 3 ofera cele mai bune rezultate pentru sistemul analizat, care poate fi îmbunătățit în continuare, printr-un numar mai mare de date de intrare, aspecte meteorologice sau modele de comportament uman. Reziduurile sunt menținute în banda de încredere cu o eficiență de peste 97% precum putem vedea in figura 15.

# *Monitorizarea energiei si controlul*

---

În acest capitol sunt prezentate controlul și monitorizarea energiei, ca soluție a optimizării consumului de energie al clădirilor. Monitorizarea energiei implică captarea consumului total de energie și înregistrarea consumului fiecărui dispozitiv din clădire. În prezent, monitorizarea energiei poate fi achiziționată prin mai multe mijloace, ar fi: termostate, raspuns de sistem, contoare inteligente, date administrative, sondaje ale modelelor statistice, senzori specifici [27].

Monitorizarea energiei este utilă dacă este necesar și controlul. Importanța utilizării fuzzy logic în controlul automat este legată de faptul că utilizatorul nu are nevoie de prea multe cunoștințe despre sistem, iar utilizarea controlată este determinată de regulile lingvistice. Sistemul nu trebuie să fie redus pentru a dezvolta un controlor logic fuzzy cât timp condițiile sunt robuste, din cauza variabilității intrărilor [28][29]

## **Confortul termic utilizand logica fuzzy**

Tehnica fuzzy logic este o abordare prin care se atinge un confort termic de constant. Această metodă implică controlul sistemului energetic prin încălzirea și răcirea clădirii. Pentru a porni, sau pentru a stinge sistemul HVAC depinde de politici și comportamentul uman. Logica fuzzy sugerează două mecanisme realiste pentru a identifica dacă energia este salvată sau pierdută.

Primul mecanism este recunoscut ca făcând parte din sistemul logic boolean, ceea ce înseamnă că orice obiect poate fi descris fie prin valoarea "Adevărat" sau "Fals". Valorile de interpretare definesc valori statice, cum ar fi 1 sau 0;

1 – este atribuit valorii "Adevărat", în timp ce 0 – este alocat valorii "False".

Pe de altă parte, al doilea mecanism primește valori între un anumit interval de referință. Controlerul analizează datele colectate de la senzori și le corelează cu valori de la 0 la 1. Prin urmare, atunci când primesc 0.7 grad de valoare, nu este complet adevărat, dar parțial adevărat.

Orice sistem cu algoritmul fuzzy logic, poate lua decizii în mod automat, îmbunătățind eficiența energetică și economiile de energie. Implementarea unui sistem fuzzy logic în laboratorul de testare s-a dovedit a avea o eficiență mai mare atunci când este modelată cu sistemul HVAC [30][31].

Programul implementat în laboratorul de testare este un controlor inteligent numit SBC, capabil să reducă consumul de energie al clădirii. Infrastructura de monitorizare colectează datele de intrare din jur și creează o bază de date pentru analize suplimentare. Urmarind atingerea unui nivel de temperatură constant, SBC permite posibilitatea de a modifica politile și de a controla echipamentul HVAC. În plus, programul SBC are o serie de beneficii, inclusiv gestionarea rezistenței electrice sau a raspunsului în timp real. Fiecare raspuns al sistemului este util pentru estimarea consumului de energie, datorită



informației detaliate despre baza de date. Prin urmare, utilizatorul poate interacționa cu sistemul prin configurarea fiecărei polite a programului SBC.

Controlul fuzzy se bazează pe metode de inginerie aplicate, urmând standarde stricte, fără a lua în considerare valori precum adevărat sau fals. Un sistem fuzzy logic constă în luarea datelor de intrare. Neliniare, și transformarea în date scalare de ieșire, precum gasim in în Fig. 17.

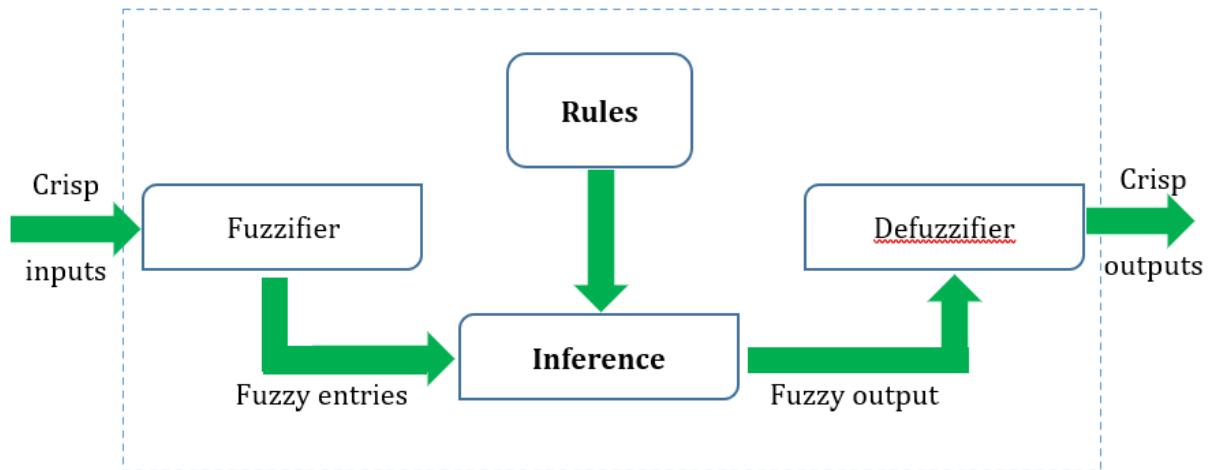


Fig. 17 Structura unei implementari de tip fuzzy

Structura algoritmului fuzzy din imaginea Fig. 17 detaliază metoda de bază a analizei datelor de intrare și de furnizare a datelor de ieșire solicitate. “Fuzzifier” primește datele de intrare colectate de la senzori și le transformă în grade de dependență, începând de la 0 la 1. După ce are loc transformarea, se creează și se pregătește un set de intrare neclar pentru procesul următor. Pasul urmator consta într-un process de deducție, punand setul sub un set de reglementări create de utilizator pentru a genera date de ieșire de tip fuzzy. Fiecare data de intrare este evaluată de regulile impuse, generând seturi de date de ieșire bazate pe raspunsul sistemului. Procesul final se bazează pe transformarea datelor de ieșire fuzzy, în intrare pentru "defuzzificator", care acceptă datele și modele cu valori numerice, astfel fiind non-fuzzy.

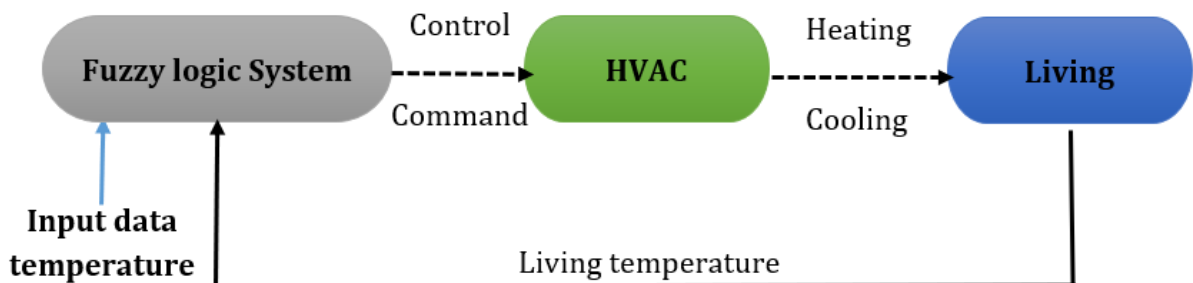


Fig. 18 Aplicacion sistemului fuzzy

Fig. 18 prezintă o abordare a sistemului fuzzy a laboratorului de testare din UPB. Diagrama pornește din partea stângă, deoarece colectează un set de date de intrare (grade) din ambient. După ce fuzzificare are loc, sistemul HVAC, în funcție de comenzile pe care le primește de la algoritm, știe ce acțiuni trebuie să efectueze. Sistemul HVAC poate încălzi sau răci temperatura interioară, influențând consumul de energie al clădirii, dar nu înainte de a se confrunța cu valoarea inițială a temperaturii interioare.

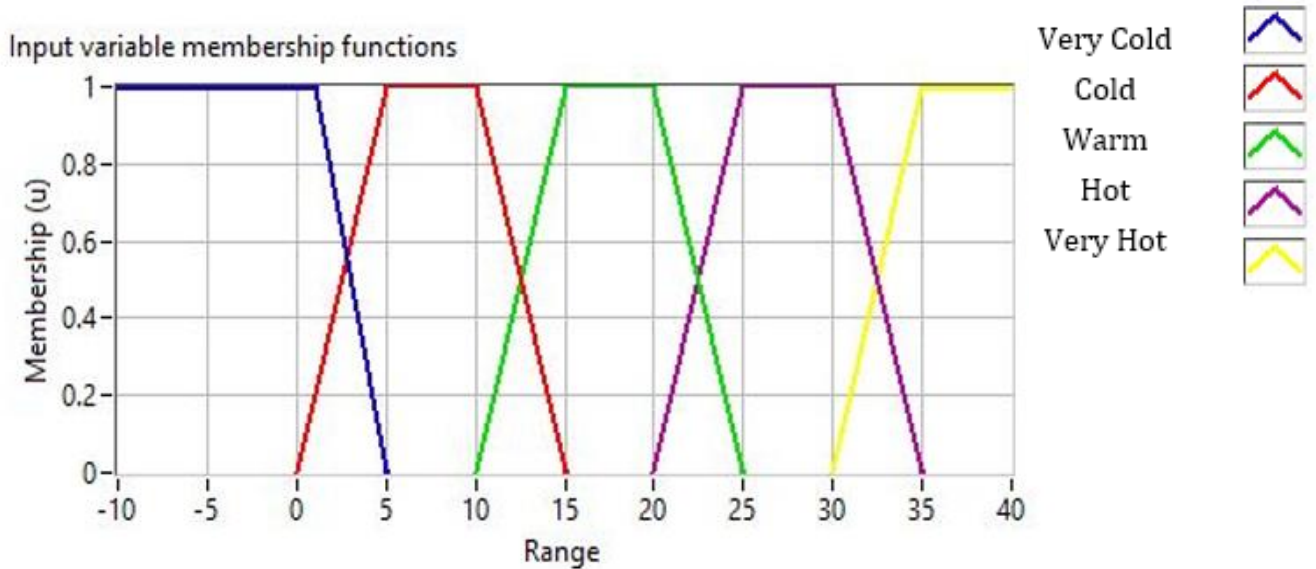


Fig. 19 Nivelul de grad al algoritmului fuzzy logic

Revenind la gradele de dependență, datele de intrare sunt transmise unui anumit set de reguli și clasificate ca fiind HOT sau COLD. Clasificarea se face bazându-se pe un nivel de dependență, precum se observa în Tabelul 2. Dacă senzorul extern detectează 18 °C sub temperatura camerei, sistemul HVAC va primi un nivel de dependență de 0,95 HOT și 0,05 COLD, ceea ce înseamnă că sistemul trebuie să pornească.

Temperatura	Foarte rece	Rece	Caldut	Cald	Foarte cald
<b>Foarte rece</b>	Nu actiona	Incalzeste	Heat up	Heat up	Incalzeste
<b>Rece</b>	Raceste	Nu actiona	Heat up	Heat up	Incalzeste
<b>Caldut</b>	Raceste	Raceste	Nu actiona	Heat up	Incalzeste
<b>Cald</b>	Raceste	Raceste	Raceste	Raceste	Incalzeste
<b>Foarte cald</b>	Raceste	Raceste	Raceste	Nu actiona	Raceste
					Nu actiona

Pentru a simplifica ecuația, nivelurile de dependență pot fi păstrate într-o formă matricială, îmbunătățind acuratețea și declanșând sistemul HVAC când este nevoie. Tabelul 2 definește matricea, în special când sistemul trebuie pornit sau oprit.

### Algoritmul fuzzy

Pentru o mai bună explicație a nivelului de dependență, un set de date de intrări fuzzy a fost încărcat în software-ul LABVIEW, așa cum este prezentat în Fig. 19 pentru a observa rezultatul datelor de ieșire. Nivelurile de dependență sunt descrise ca funcții fuzzy, care pot transforma valorile fuzzy în valori non-fuzzy (valori numerice). Într-un sistem fuzzy logic, variabila substanțială este de ieșirea sistemului. Atâta timp cât puterea de control este stabilă și nu fluctuează, se obține o stare termică bună.

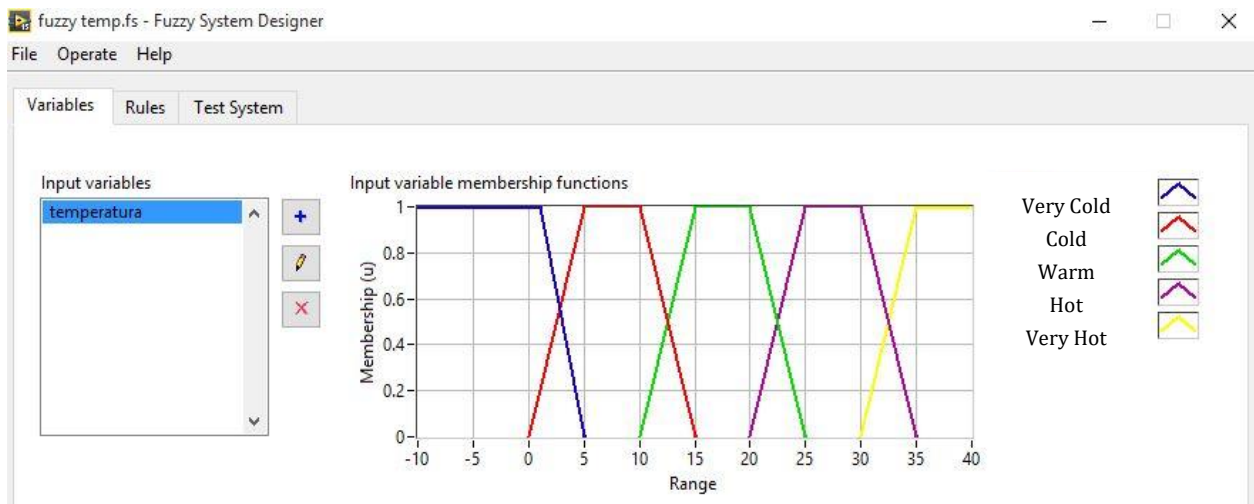


Fig. 19 Funcții de dependență Fuzzy

Dezvoltatorul programului sistemului fuzzy din LABVIEW permite utilizatorilor să examineze când, și în ce mod va fi declanșat sistemul HVAC. Utilizatorul poate selecta metoda Defuzzification privind intrările multiple cu o consecință sugerată. Mai multe, următoarea etapă constă în construirea condițiilor logice pentru fiecare sesiune temporală a sistemului, așa cum este afișat în Fig. 20.

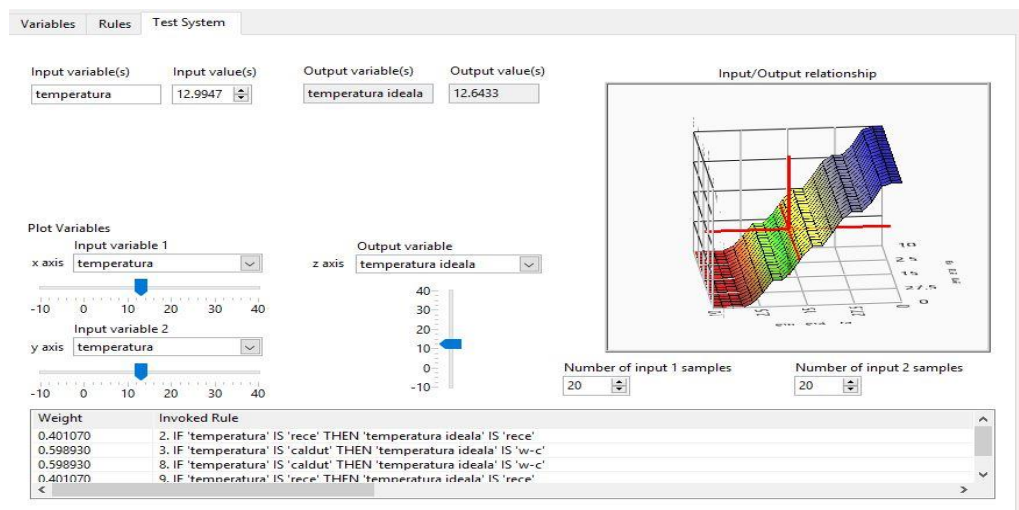


Fig 20 Implementarea regulilor fuzzy

Unul dintre avantajele utilizării acestei tehnici este punerea în aplicare a oricărei condiții logice, cum ar fi: CASE, IF-THEN, IF-THEN-ELSE, FOR. Regulile sunt construite strategic pentru a înțelege următoarea execuție. În partea de jos a imaginii, pot fi selectate mai multe intrări și supuse unei reguli specifice. Acțiunea este menționată în partea dreaptă, unde este declanșat sistemul HVAC.

Al treilea pas, descris în Fig. 21, este trasarea legăturii între datele de intrare/ieșire. Citirea variabilei de intrare este afișată în partea stângă, în timp ce datele de ieșire sunt menționate în partea de sus a imaginii. Interesat de reținut este faptul că variabila de ieșire poate fi modificată în funcție de confortul termic și interferențele.

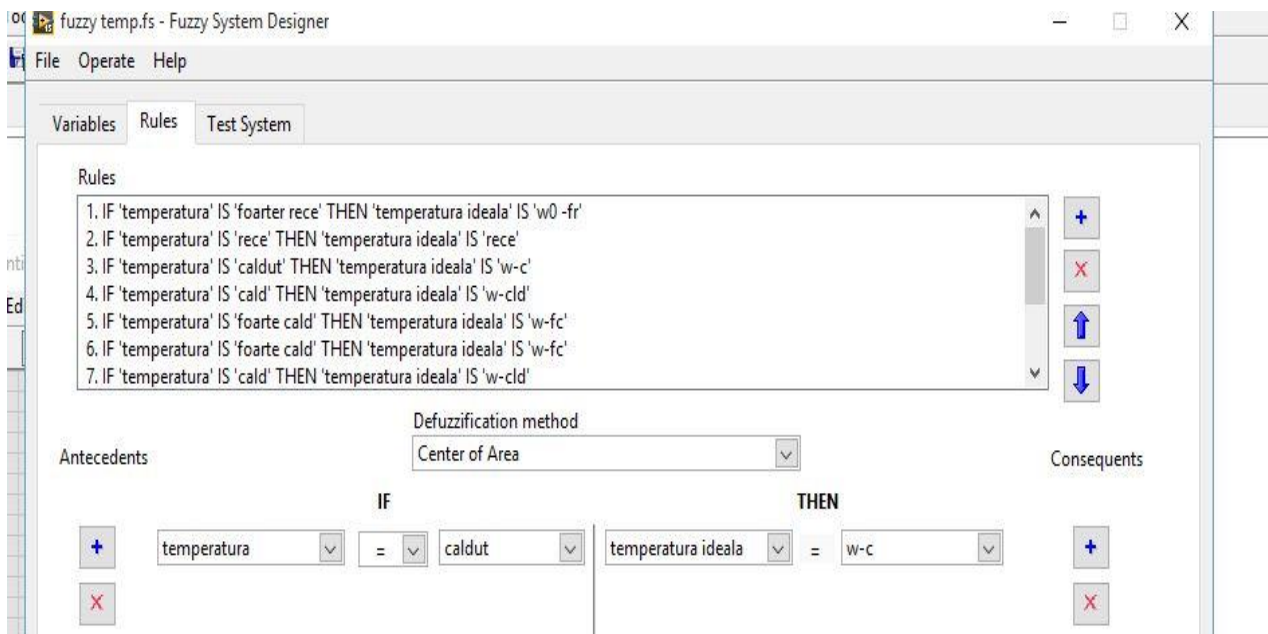


Fig. 21 Sistemul de testare fuzzy logic

După cum se prezintă în literatura de specialitate, metoda logică fuzzy a fost testată într-o relație cu inteligența artificială, rezultând în obținerea unui confort termic adecvat ținând cont de un consum de energie optimizat[32]. Luând în considerare faptul că temperatura este clasificată drept elementul decisiv al stării termice, se adopta un plan prin care temperatura interioară să fie între 20 °C și 28 °C.

Pentru a atinge și a păstra un grad favorabil de confort, au fost dezvoltate politici care comandă debitul de ventilație. Politica a fost creată în funcție de două intrări, temperatura exterioară și temperatura solului. În plus, politica a fost creată pentru identificare dar și pentru validare a temperaturii exterioare. Temperatura exterioară afectează în mod direct consumul de energie al casei, ceea ce duce la declanșarea sistemului HVAC.

Aceste reguli se aplică pe tot parcursul zilei, o dată pe minut, calculând o medie a temperaturii interioare, așa cum este ilustrat în Fig. 22. Atunci când scade sub 20 °C din temperatura medie exterioară, algoritmul logic fuzzy modifică debitul și crește capacitatea ventilatorului, pentru a se echilibra cu temperatura interioară. În plus, datorită

unei orientări stricte, debitul crește cu 20 % atunci când temperatura este sub 20 °C și se reduce la 7 % atunci când temperatura este peste referință.

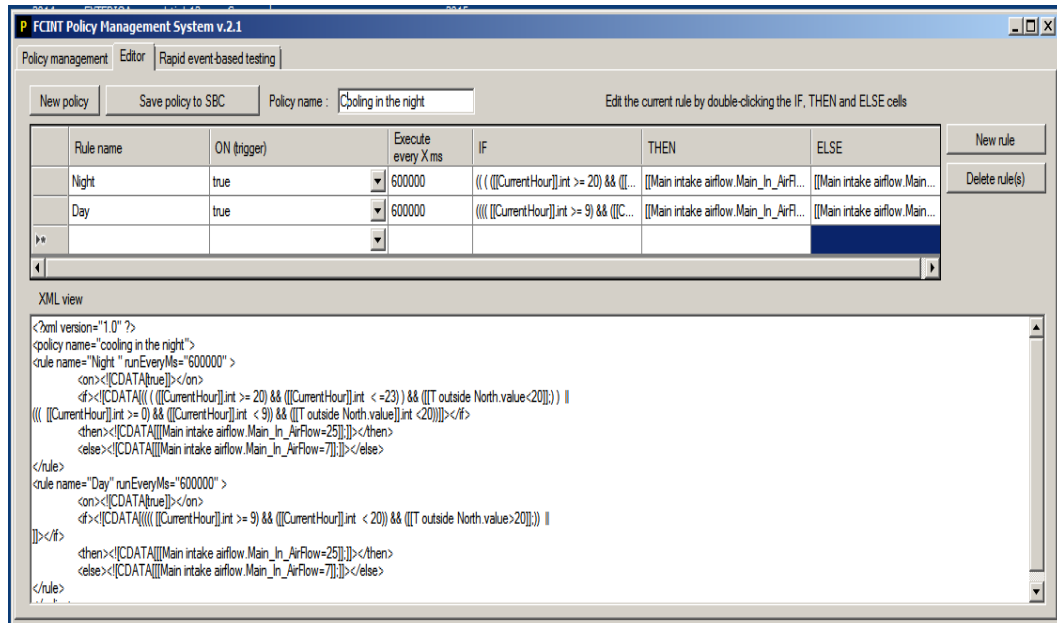


Fig. 22 Editarea liniilor din polita

Gestionarea politei consta in modificarea fiecărei file, într-un mod particularizat. Pentru a personaliza algoritmul, in fila Editor trebuie scris cod XML. Fila, Eveniment Rapid, poate configura colectarea datelor în timp, precizia sistemului HVAC dar și interpretarea puterii consumate.

## Rezultate privind controlul fuzzy logic

În vederea consumului de energie, datele sunt reprezentate grafic timp de 6 luni (așa este prezentat în Fig. 23:

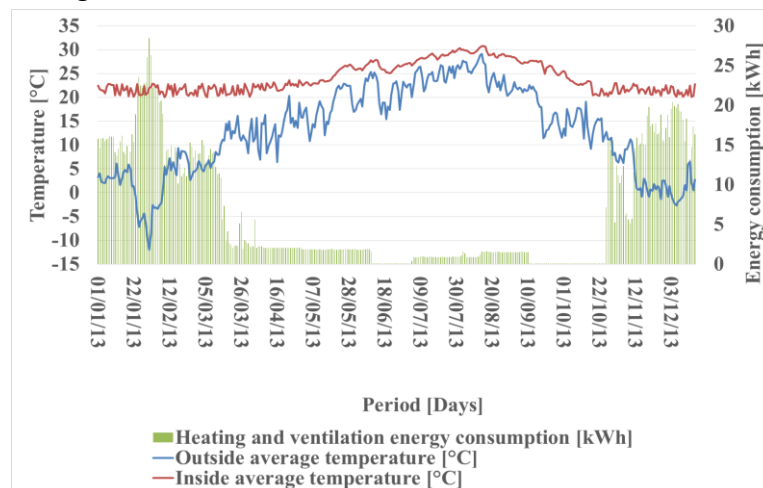


Fig. 23 Variația încălzirii și a ventilației energiei de consum [90]

Pe timpul perioadei de vară, temperaturile sunt ridicate, iar solicitarea sistemului HVAC de a ventila interiorul clădirii este ridicată, totul efectuându-se cu un consum minim de energie. Variația temperaturii interioare este între 18,73 °C și 30,96 °C, fiind

exemplificată printr-o cerinta totala de ventilatie de 166,08 kWh. În plus, temperatura medie pentru perioada selectată a fost de 26,46 °C, luând în considerare radiațiile solare. Cu o valoare de 406,53 W/m<sup>2</sup>, radiația solară a avut un impact mare asupra temperaturii interioare care a fost menținută sub 27 °C, datorită schimbului de răcire a aerului cu temperatura solului. De exemplu, Fig 24 face referința la variația temperaturii exterioare în timpul zilei (de la 08:00 PÂNĂ LA 20:00). Fiecare linie colorată exemplifică o anumită zonă a casei, în timp ce radiația solară este reprezentată prin culoarea galbena, după cum se poate observa în Fig. 24:

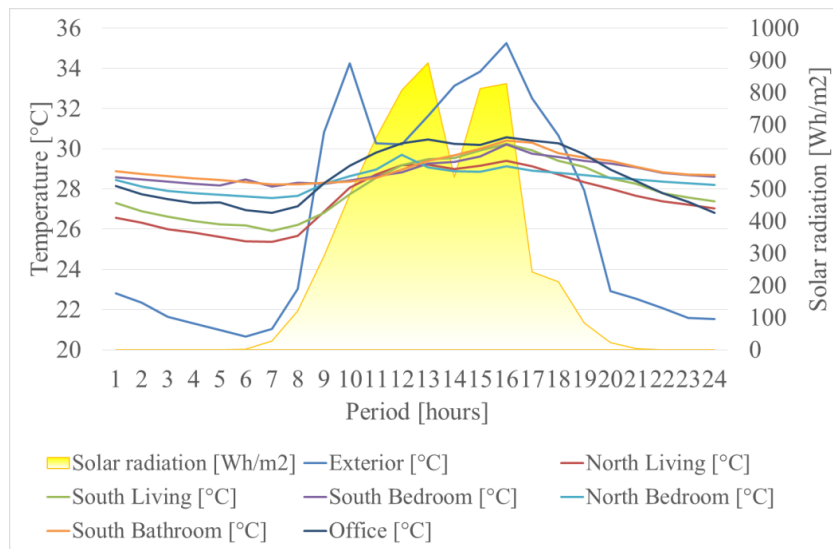


Fig. 24 Evolutia temperaturii interioare si exterioare

La fel de importantă este exemplificarea evoluției temperaturii într-o zi selectată, subliniind inactivitatea fluxului de aer, în timp ce temperatura interioară este constantă. După cum ilustrează Fig. 25, marcată cu linie portocalie, temperatura aerului injectat în casă are o valoare mai mică decât temperatura exterioara. Acest proces apare atunci când are loc un schimb între aerul exterior și temperatura solului.

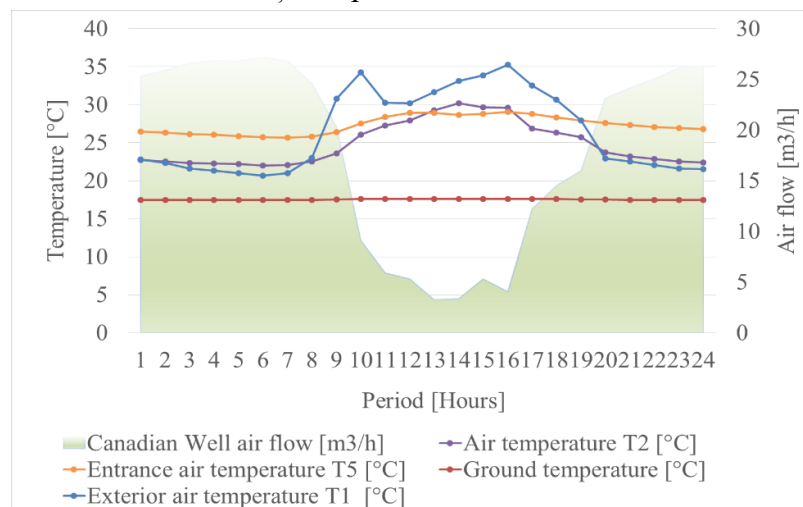


Fig. 20 Evolutia temperaturilor pe ziua de 22 Iulie 2014

De menționat faptul că imaginea de mai sus exemplifică temperaturi multiple, colorate cu markeri diferiți, subliniind atingerea unui confort termic bun. Procedura de lucru a sistemului se bazează pe o metodă de put Canadian, modul de functionare fiind prezentat în capitolul 2. Aerul din exterior traversează conductele în formă de U, în timp ce se efectuează schimbul de temperatură cu solul, și injectarea aerului în recuperator. Aerul rece este introdus în interiorul clădirii și ventilat în mod constant pentru a menține un nivel termic.

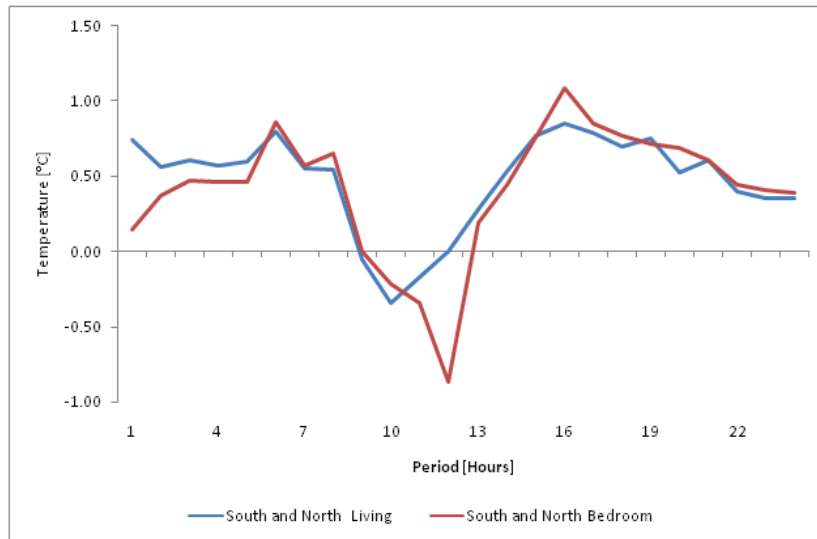


Fig. 26 Variația temperaturilor între camerele orientate spre N și Sud[109]

După cum exemplifică Fig. 26, a-a făcut o comparație între poziționarea camerelor, subliniind consumul de energie direct și observându-se o variație de temperatură între Nord și Sud.

În concluzie, prin dezvoltarea și testarea tehnicii fuzzy logic, temperatura interioară a laboratorului a fost menținută sub un nivel termic bun, cu economii majore de energie. Sistemul a fost implementat în software-ul LabView și testat în laborator pentru a gestiona producția de energie într-un mod eficient.



## Concluzii

---

Îmbunătățirea stării termice se realizează considerabil prin controlul logic fuzzy și gestionarea politelor. Chiar dacă comportamentul uman prezintă o soluție fiabilă pentru reducerea consumului de energie, se obține un rezultat mai bun în timpul rulării sistemelor de control inteligente.

Regulile IF-THAN-ELSE sunt dezvoltate în cadrul sistemului de management al politelor, care poate ajustează sistemul HVAC în economisirea de energie. Datele de intrare trec printr-un filtru numit "fuzzifier", carora li se aplica anumite reguli și apoi directionate spre un filtru numit "defuzzificator". Datele de ieșire clare sunt afișate pe o platformă web creată pentru monitorizarea parametrilor interiori.

Deoarece controlul fuzzy se bazează pe comenzi precise, datele sunt transmise unei platformei pentru a evalua în mod constant consumul de energie. Sistemul reacționează la fluctuația temperaturii, unde, o matrice de dependență spune sistemului când să declanșeze pornirea sau oprirea. Având în vedere cele menționate, mai multe seturi de intrări fuzzy au fost încărcate într-un program Labview, pentru a exemplifica matricea de dependență și observarea rezultatelor de ieșire.

Atâta timp cât datele de ieșire sunt stabile și nu variază, o starea termică bună este dobândită abnd un consum minim de energie. Ocupanții pot examina oricând starea HVAC-ului și modificările aduse sistemului. Un grad de confort optim a fost îndeplinit cu succes prin punerea în aplicare a politelor, care controlează debitul de ventilație al clădirii. Aceste reguli lucrează 24/7, calculând temperatura medie din interior, pentru a spune sistemul cand sa inceapa să funcționeze si cand nu.

Controlul temperaturii și al ventilației îmbunătățesc rata calității aerului și reduc consumul de energie pentru laboratorul de testare din UPB. Sistemul implementat permite măsurarea și achiziționarea de date în timp real, utilizate ulterior în estimarea consumului de energie dar și a controlului temperaturii clădirii.

Abordările inteligenței s-au dovedit a optimiza eficiența energetică a clădirii rezidențiale în scopul realizării obiectivele tezei, în special pentru laboratorul de testare. Cunoștințele despre diferite grade de dependenta, scala de timp, colectarea intrărilor sau timpul datelor de ieșire au fost prezentate ca o soluție în reducerea consumului de energie a clădirilor rezidențiale.

Avand in vedere aceste aspect mai multe seturi de intrări fuzzy au fost încărcate în sistem pentru a exemplifica matricea de dependență și observarea rezultatelor de ieșire prin utilizarea software-ului LABVIEW. Consumul minim de energie este dobândit cu ajutorul controlului fuzzy în timp ce o stări termice buna este mentinuta. Un nivel personalizat de confort poate fi obținut datorită implementării editorului de politici, care controlează debitul de ventilație al clădirilor. Astfel, controlul temperaturii și al ventilației poate ofera o îmbunătățire a confortului și a economiilor de energie în cadrul laboratorului de testare.



Transferul de căldură și masă este utilizat pentru a modela comportamentul termic al clădirii, în timp ce metoda grad-zi estimează consumul de energie pe baza datelor istorice. Pentru crearea algoritmului meteorologic, se determină calculul gradului de încălzire și răcire. Sistemul se comportă în consecință la temperatura exterioară.

Modelele matematice sunt utilizate pentru a descrie orice sistem de funcționare în obținerea unei date de ieșire specifică. Fiecare model matematic este alcătuit din trei elemente: variabile de intrare, funcția sistemului și variabilele de ieșire. Variabilele de ieșire sunt obținute în diferite moduri, în conformitate datele colectate, precum și a modelelor spațiului de stare.

Pentru a valida sistemul, au fost introduse abordări de estimare a parametrilor, prezice consumul de energie și reduce consumul energetic al clădirilor. Estimarea parametrilor se realizează prin modelarea de tip cutie gri, care estimează parametrul prin stabilirea unei legături între datele de intrare și ieșire. O analiză riguroasă a fost făcută folosind software-ul CTSM-R, bazat pe influența vremii asupra intrărilor. Utilizarea radiațiilor solare, s-a dovedit a fi de ajutor în implementarea sa în modelul matematic, ducând un consum mai mic de energie. Software-ul R a fost folosit pentru a oferi rezultatele într-o imagine de lățime de bandă, care explică incertitudinea de reziduri și apartenența lor la lățime de bandă permisă(95%).

Interpretarea rezultatelor atât a datelor fizice, cât și a datelor electrice conduce la o îmbunătățire a consumului de energie și a ratei de consum, în timp ce evoluția tensiunii subliniază faptul că au existat consumatori în laborator. În plus, pierderile de energie generate de clădire sunt compensate de energia produsă de sistemul fotovoltaic, contribuind la reducerea consumului global de energie. Rezultatele afișate prin sistemul IoT pot fi utilizate pentru a economisi și a reduce consumul de energie al clădirii.

În încheiere, prin dezvoltarea acestor abordări, laboratorul de testare a fost menținut unui confort termic optim și constant, utilizând un consum minim de energie, iar scopul tezei este considerat a fi atins.

## Bibliografie

---

- [1] Y. Sato, "Energy Consumption and an Environmental Problem," *J. Inst. Electr. Eng. Japan*, 2006.
- [2] P. H. Shaikh, N. B. M. Nor, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, and T. Ibrahim, "A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014.
- [3] S. Sorrell, "Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015
- [4] J. L. M. Hensen, "Literature review on thermal comfort in transient conditions," *Build. Environ.*, 1990
- [5] ASHRAE-55, "Thermal environmental conditions for human occupancy," *ANSI/ASHRAE Stand. - 55*, 2017
- [6] N. Djongyang, R. Tchinda, and D. Njomo, "Thermal comfort: A review paper," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010
- [7] S. Kalogirou and M. Bojic, "Artificial neural networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar building," *Energy*, vol. 25, no. 5, pp. 479–491, 2000
- [8] M. M. Gouda, S. Danaher, and C. P. Underwood, "Quasi-adaptive fuzzy heating control of solar buildings," *Build. Environ.*, 2006
- [9] K. Bartecki, "State-space representation," in *Studies in Systems, Decision and Control*, 2016
- [10] E. J. Hwang, M. A. Smith, and R. Shadmehr, "Adaptation and generalization in acceleration-dependent force fields," *Exp. Brain Res.*, 2006.
- [11] Linear Systems Theory," *Math. Sci. Eng.*, 1977.
- [12] F. Maghami Asl and A. G. Ulsoy, "Analysis of a system of linear delay differential equations," *J. Dyn. Syst. Meas. Control. Trans. ASME*, 2003.
- [13] B. Tashtoush, M. Molhim, and M. Al-Rousan, "Dynamic model of an HVAC system for control analysis," *Energy*, 2005
- [14] G. Nijse, M. Verhaegen, B. De Schutter, D. Westwick, and N. Doelman, "State space modeling in multichannel active control systems \* STATE SPACE MODELING IN MULTICHANNEL ACTIVE CONTROL SYSTEMS," 1999
- [15] K. J. Åström and B. Wittenmark, *Adaptive Control ( 2nd Edition )*. 2013.
- [16] E. H. Mamdani, "APPLICATION OF FUZZY ALGORITHMS FOR CONTROL OF SIMPLE DYNAMIC PLANT.," *Proc. Inst. Electr. Eng.*, 1974.
- [17] Y. He and K. Zhu, "Application of Takagi-Sugeon fuzzy system to regional economy modeling," in *Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, GSIS 2007*, 2007
- [18] Y. He and K. Zhu, "Using fuzzy system to establish regional economy input-output model," in *2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2007*, 2007

[19] Government are consulting on proposals for a new smart meter policy framework post-2020.” [Online]. Available: <https://www.cms-lawnow.com/ealerts/2019/09/government-are-consulting-on-proposals-for-a-new-smart-meter-policy-framework-post-2020>.

[20] “Local, National, & Global Daily Weather Forecast | AccuWeather.” [Online]. Available: <https://www.accuweather.com/>

[21] “Homepage | Weather Underground.” [Online]. Available: <https://www.wunderground.com/>

[22] “10 Day Weather Forecast Worldwide.” [Online]. Available: <https://www.weather-forecast.com/>

[23] “Weather Data | EnergyPlus.” [Online]. Available: <https://energyplus.net/weather>

[24] “What is a Raspberry Pie? | Opensource.com.” [Online]. Available: <https://opensource.com/resources/raspberry-pi>.

[25] Z. Verbai, Á. Lakatos, and F. Kalmár, “Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day,” *Energy*, 2014

[26] G. Suryanarayana, J. Lago, D. Geysen, P. Aleksiejuk, and C. Johansson, “Thermal load forecasting in district heating networks using deep learning and advanced feature selection methods,” *Energy*, 2018

[27] S. Yu, M. Evans, V. Roshchanka, and B. Liu, “International Best Practices on Energy Data Management Insights for an Indian Roadmap 2014

[28] “Archive:Consumption of energy - Statistics Explained.” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Consumption\\_of\\_energy](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Consumption_of_energy). [Accessed: 03-Nov-2019]

[29] “Energy intensity — European Environment Agency.” [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/total-primary-energy-intensity-3/assessment-2>

[30] R. Alcalá, J. Alcalá-Fdez, M. J. Gacto, and F. Herrera, “Fuzzy rule reduction and tuning of fuzzy logic controllers for a HVAC system,” *Stud. Fuzziness Soft Comput.*, 2006

[31] H. Durur, “HVAC Optimization Based on Fuzzy Logic in Official Buildings,” 2018

[32] H. Mirinejad, S. H. Sadati, M. Ghasemian, and H. Torab, “Control Techniques in heating, ventilating and air conditioning systems,” *Journal of Computer Science*. 2008

## Appendice

---

Appendicele 1 prezinta structura casei experimentale, în timp ce appendicele 2 explica codul implementat în MATLAB pentru peretii casei. Appendicele 3 detaliaza

politicile puse in aplicare, în timp ce apendicele 4 aduce modulele pentru pornirea platformei SMX pentru achiziționarea datelor. In concluzie, apendicele 5 prezinta algoritmul de date meteo si punerea in aplicare.

## *Aprecieri*

---

Cercetarea prezentata in teza a fost realizata partial în Universitatea Politehnica din București – Facultatea de Energie (UPB), Romania, si partial in Universitatea INSA din Lyon, sponsorizata pe de-o parte de ENGIE Romania cat si de programul ERASMUS +. Teza a fost realizată sub titlul de diplomă dublă, cotutela. Timp de 3 ani, 6 luni pe an, un schimb de experiență și cercetare stiintifica a fost realizata intre UPB și INSA de Lyon. Prin aceasta cale ii multumesc necondiționat prof. dr. Ing. Christian GHIAUS (INSA de Lyon) și prof. dr. Ing. Adrian BADEA (UPB) directorii tezei cat si lui Vladimir TANASIEV (UPB), supraveghetorul meu, care a coordonat cercetarea in timpul programului de doctorat. De asemenea, ii multumesc prof. dr. Ing. Horia NECULA, Prof. Dr. Ing. Cristian DINCA dar si prof. dr. Ing. George DARIE, pentru comentariile si încurajările lor incurajatoare. Multumiri speciale prof. dr. Ing. Diane ROBESCU pentru colaborarea cu mine si încurajarea eforturilor depuse cat și prof. dr. Ing. Diana COCARTA pentru împărtășirea experienței sale în această perioadă ,ajutându-mă să reușesc.

Nu în ultimul rând, aş dori să recunosc asistența primită din partea laboratorului CETHIL și la Școala de vară din 2016 organizată de DYNASTEE-INIVE și CITIES and Civil Engineering School (Universitatea din Granada, Spania) în colaborare cu CIEMAT (Spania), DTU (Lyngby, Danemarca) și ESRU (Universitatea Strathclyde, Glasgow) care m-a făcut să realizez importanța temelor și a termenelor. Multumiri familiei, prietenilor si, in special, tatalui meu care m-a ajutat neconditionat dintr-un loc mai bun.