

AUTOMATIZĂRI ȘI INSTRUMENTAȚIE

fondată în 1991

nr. 3

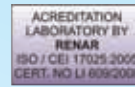
2017

serie nouă

SISTEME ■ MĂSURĂRI ■ ELEMENTE DE EXECUȚIE ■ ACȚIONĂRI ■ COMUNICAȚII ■ ROBOȚI ■ CALCULATOARE DE PROCES



INOVARE CREATIVITATE PERFORMANȚĂ EFICIENȚĂ



CERCETARE APLICATIVĂ | DEZVOLTARE TEHNOLOGICĂ
PROIECTARE ECHIPAMENTE ȘI INSTALAȚII

TRATAREA APELOR ■ EPURAREA APELOR ■ EVALUĂRI DE MEDIU ■ INSTALAȚII ELECTRICE ȘI AUTOMATIZĂRI



STUDII ȘI EVALUĂRI DE MEDIU



STAȚII DE EPURARE A APEI



SISTEME ECOLOGICE DE TRATARE A APEI



OZONOTEHNOLOGII



ECHIPAMENTE INDUSTRIALE

- Generatoare de ozon de mică și medie capacitate
- Module compacte de oxidare avansată și biofiltrare pentru tratarea apei
- Echipamente pentru tratamentul electrochimic al apei
- Sisteme de dezinfecție cu lampi UV
- Rețele de dispersie a aerului cu difuzori cu membrană
- Instalații cu saci pentru deshidratarea nămolului
- Grătare mecanice
- Tablouri electrice și de automatizare



ifm electronic - de la monitorizarea vibrațiilor la Industry 4.0

Gama completă de sisteme pentru monitorizarea stării utilajelor



ifm – close to you!



Contactează-ne astăzi!
info.ro@ifm.com

0269/224 550
www.ifm.com

Serie nouă a revistei
INSTRUMENTAȚIA
Fondată 1991

**AUTOMATIZĂRI ȘI
INSTRUMENTAȚIE**

REVISTA ASOCIAȚIEI PENTRU
AUTOMATIZĂRI ȘI INSTRUMENTAȚIE DIN
ROMÂNIA

ISSN 1582-3334 Copyright © 2000

Director fondator

Dr. ing. Horia Mihai MOȚIT
hmotit@aair.org.ro

Colectiv redacțional

Dr. ing. Horia Mihai MOȚIT
Dr. ing. Ioan GANEA
Conf. dr. ing. Eugen DIACONESCU

Consultanți

Dr. ing. Dr. h. c. Sergiu Stelian ILIESCU,
Prof. univ. emerit
Prof. univ. dr. ing. Octavian PROȘTEAN
Prof. univ. dr. ing. Dumitru POPESCU
Prof. univ. dr. ing. Ioana FĂGĂRĂȘAN

Tehnoredactare: Vasile HOSU

Adresa redacției

Str. Irimicului nr. 3, bl. 3, ap 114
sector 2 București 021142
Tel/Fax: 021/688.77.80
e-mail: aair@aair.org.ro
www.aair.org.ro

Tipărit la

MASTER PRINT SUPER OFFSET
Șos. Odăi nr. 249-251
sector 1, București
Tel: 021.222.42.23
Mobil: 0724.279307
e-mail: office@masterprint.ro

Toate drepturile asupra acestei publicații sunt rezervate A.A.I.R.
Autorilor le revine integral răspunderea pentru opiniile
exprimate în revista conform art. 205 - 206 din Codul Penal.



c u p r i n s

● eveniment editorial

- 4 În data de 17 noiembrie anul curent, una dintre cele mai prestigioase edituri din lume, editura americană CRC Press – Taylor & Francis Group, a lansat internațional cartea: **UNITARY ANALYSIS, SYNTHESIS and CLASSIFICATION of FLOW METERS**
Autor: **dr. ing. Horia Mihai MOȚIT**

● automatizări

- 6 Optimizarea algoritmilor de control al procesului de tratare și epurare a apelor prin fuziune de date multi-senzor
ing. TÓKOS Attila, ing. Anamaria ORDACE, ing. Măriuța POPANTON, ing. George COTOC, ICPE Bistrița S.A.

- 8 Posibilități de optimizare a consumului energetic dintr-o clădire folosind MPC
s.l. dr. ing. Giorgian NECULOIU, s.l. dr. ing. Oana FLANGEA, prof. dr. ing. Mariana MARINESCU, prof. dr. ing. Alexandru Viorel MARINESCU, Universitatea Tehnică de Construcții din București, Facultatea de Hidrotehnică - Colectivul de Automatică și Informatică Aplicată
as. drd. ing. Mihaela PUIANU, Universitatea Politehnica București

- 12 Elaborarea cerinței de aer pentru un sistem de control a turației unui turbocompresor, tip centrifugal, cu rol de suflantă, în funcție de parametri tehnologici
drd. ing. Adrian TÂNASE, OMV Petrom

- 14 Monitorizarea și predicția consumului de energie utilizând modele de tip ARIMA și Rețele Neuronale Artificiale
ing. Cristina NICHIFOROV, prof.dr.ing. Sergiu Stelian ILIESCU, prof.dr.ing. Ioana FĂGĂRĂȘAN, s.l.dr.ing. Nicoleta ARGHIRA, s.l.dr.ing. Vasile CALOFIR, s.l.dr.ing. Iulia STAMATESCU, s.l.dr.ing. Grigore STAMATESCU, Universitatea Politehnica București - Facultatea de Automatică și Calculatoare

- 19 Tendințe în automatizarea caselor pasive
as. drd. ing. Mihaela PUIANU, Universitatea Politehnica București
s.l. dr. ing. Ramona-Oana FLANGEA, s.l. dr. ing. Giorgian NECULOIU, s.l. dr. ing. Oana NICULESCU-FAIDA, prof. dr. ing. Mariana MARINESCU, prof. dr. ing. Viorel MARINESCU, Universitatea Tehnică de Construcții din București, Facultatea de Hidrotehnică - Colectivul de Automatică și Informatică Aplicată

Coperta 1 - ICPE Bistrița S.A.

Coperta 2 - ifm

Coperta 3 - BeeSpeed Automatizări

Coperta 4 - A.A.I.R.

În data de 17 noiembrie anul curent, una dintre cele mai prestigioase edituri din lume, editura americană CRC Press – Taylor & Francis Group, a lansat internațional cartea: **Unitary Analysis, Synthesis and Classification of Flow Meters**

Autor: dr. Horia Mihai Moțit

Scurtă prezentare a cărții

Această carte prezintă, în premieră, măsurarea debitelor de fluid ca o ramură independentă a tehnicilor de măsurare. Acest esențial și necesar salt calitativ s-a reușit prin accesarea la o nouă abordare (globală și unitară) a domeniului în discuție, ca urmare a identificării în premieră, pentru toate tipurile de mijloace de măsurare a debitului (debitmetre, instalații de măsurare a debitului, combinații de debitmetre) a bazelor lor logice unitare (analitice, structurale, de clasificare), și ca o consecință fundamentală, a însăși unității lor.

Cartea continuă cu alte noi esențiale contribuții complementare aduse, constând în elaborarea, pe aceste baze, în premieră, a:

- metodei analizei/sintezei și clasificării unitare a debitmetrelor (denumită prescurtat “Metoda UASCF”)
- metodei analizei/sintezei și clasificării unitare a combinațiilor de debitmetre (denumită prescurtat “Metoda UASC-CGS”).

Aceste două metode sunt de fapt “unelte inteligente de investigare și realizare practică”, (într-un mod sistematic, predictibil și coerent logic), necesar de utilizat atât pentru analiza tipurilor de debitmetre (și de “combinații de debitmetre”) realizate până în prezent, cât și în mod special pentru sinteza (crearea) de noi tipuri ale acestora.

Toate aceste contribuții, elaborate în premieră, asigură în ansamblul lor o nouă abordare a mijloacelor de măsurare a debitului, pe baze logice unitare, prin utilizarea unor metode (“smart research and manufacturing tools”) care vor determina, atât inovări ale actualelor soluții tehnice, cât și mai ales crearea de soluții structurale noi, implicit dezvoltarea accelerată a tehnicilor de măsurare a debitului.

Prin noua sa viziune globală și unitară asupra domeniului măsurării debitului, cartea fundamentează “debitmetria” ca o ramură independentă a tehnicilor măsurării, deschizând noi și esențiale oportunități și provocări pentru dezvoltarea acestui domeniu.

Cuprinsul (prescurtat)

Cap.1. Măsurarea debitului – ramură a tehnicilor de măsurare

Cap.2. Identificarea și analiza logicii funcționale a debitmetrelor

2.1 Identificarea tuturor variantelor exprimărilor analitice de bază ale debitului și a unității lor

2.2 Identificarea și analiza tuturor variantelor schemelor structurale de bază ale debitmetrelor și a unității lor

2.3 Clasificarea unitară a debitmetrelor

Cap.3 Metoda analizei/sintezei și a clasificării unitare a debitmetrelor (denumită prescurtat “Metoda UASCF”)

Cap.4 Instalații de măsurare a debitului

Cap.5 Combinații de debitmetre

5.1 Necesitatea combinațiilor de debitmetre

5.2 Identificarea și analiza logicii funcționale a combinațiilor de debitmetre

5.3 Metoda analizei/sintezei și clasificării unitare a combinațiilor de debitmetre (denumită prescurtat „Metoda UASC-CGS”)

Cap.6 Concluzii asupra identificării bazelor unitare ale debitmetriei și a aplicării “Metodei UASCF” și a „Metodei UASC-CGS”

Scurtă notă biografică:

Dr. Horia Mihai Moțit, Absolvent Fac. Automatică – Universitatea Politehnică București.

Membri al “Comitetului mondial al debitmetriei IMEKO TC9” (1991 – în prezent).

Membri al Comitetului Internațional al celei de “A 6-a Conferințe mondiale a debitmetriei” – Flomeko’93, Seul, Korea.

Fondator și președinte al Comitetului român de standardizare pentru debitmetrie (1990 - 2006).

Îndelungată activitate de cercetare – proiectare – producție: debitmetre (cu arie variabilă, de inserție, by pass, cu piston inelar oscilant, cu canale de măsurare profilate standardizate). Proiectarea și execuția primelor instalații românești de etalonare volumică, respectiv masică a debitmetrelor.

Autor al:

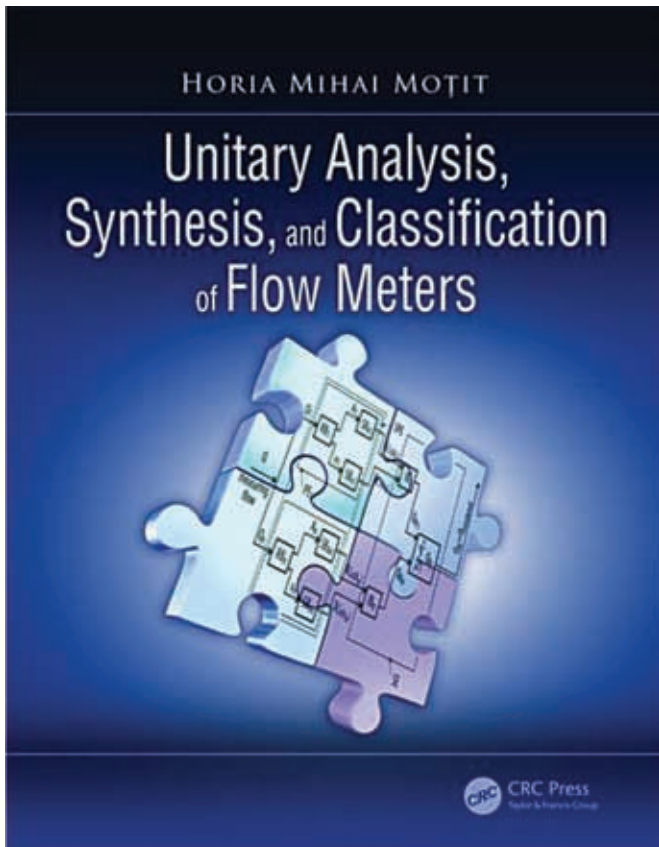
- mai multor patente de invenție (premiat național), respectiv al premiei recunoscute mondial “Metodă și instalație de determinare, numai cu apă, a curbilor de conversie a scalelor debitmetrelor cu arie variabilă, destinate gazelor”
- a peste 30 de comunicări științifice la simpozioane/congrese naționale și internaționale, respectiv a peste 35 de articole în reviste tehnice/științifice

Autor al cărților: *Debitmetrie industrială* (Ed. Tehnică, 1988), *Traductoare pentru automatizări industriale*, vol.2 - coautor (Ed. Tehnică, 1996), *Contoare* (Ed. Artecno, 1997), *Debitmetre cu secțiune de măsurare cu arie variabilă* (Ed. AGIR, 2016), *Automatizări și instrumentație* – selecție de articole, coordonator și coautor (Ed. MATRIX Rom, 2013), *Analiza, sinteza și clasificarea unitară a debitmetrelor* (Ed. AGIR, 2014).

În continuare redăm prezentarea făcută de editura CRC Press – Taylor & Francis Group, pe site-ul său, la lansarea cărții.

Basic flow measurement priorities disclosed by the book

This book is the first to present flow measurement as an independent branch of the measurement techniques, according to a new global and unitary approach for the measurement of fluid flow field. It elaborates the method of unitary analysis/synthesis and classification of compound gauging structures (CGS): the UASC – CGS method.



Catalog no. K35739
November 2017, 102 pp.
ISBN: 978-1-1383-0464-2
\$139.95 / £110.00

SAVE 20%
when you order online and enter Promo Code
EEE17

FREE standard shipping when you order online.

Reviews

"Comparing with the classification of flow meters according to BS EN7405 (British Standard) Method of Unitary Analysis, Synthesis and Classification of Flow Meters (Method of UASCF) is a great advance. This book is a good reference for the flow measurement community and a good textbook for students in the field."

- Yan-zuo Sun, Beijing University of Chemical Technology, China

"Establishing a unitary analysis/synthesis and a classification of a metrological system is a complex and uncommon exercise which here ultimately relates generally to all, not only to one particular technology. Here, the work done using "UASCF" (then UASCF-CGS) methods to establish a unitary universal analysis/synthesis and classification of flowmeters is impressive, complete, and very convincing, thanks to a very high degree of rigor of Dr. Motit and his thorough knowledge of this field of flow measurement. Finally, in addition to identifying the different basic functions and parameters that are taken into account in different known flow metering technologies, the reader will have in hand an interesting logical tool to predictably imagine new concepts and evaluate their impact on the determination of new desired flow measuring devices."

- Henri Foulon, CESAME-EXADEBIT, France

"This is an interesting book, which is useful for a large community. The scientific level and content of the book is high and very clearly presented."

- Ioan Dumitrache, University "Politehnica" Bucharest

"Dr. Motit's "UASCF" flowmeter classification method provides an entirely new perspective, offering deeper and broader insights into existing flow measurement technologies. Of particular relevance to engineering disciplines with an interest in flow measurement technologies, the method facilitates the imagination and potential development of new flow meter types, which could embody multiple desired characteristics of a range of traditional instruments."

- Mike Touzin, Head of Market Research & Development, Endress+Hauser Flowtec AG, Switzerland

www.crcpress.com

e-mail: orders@crcpress.com

1-800-634-7064 • 1-561-994-0555 • +44 (0) 1235 400 524



CRC Press
 Taylor & Francis Group

Optimizarea algoritmilor de control al procesului de tratare și epurare a apelor prin fuziune de date multi-senzor

ing. TÓKOS Attila, ing. Anamaria ORDACE, ing. Măriuța POPANTON, ing. George COTOȘ
ICPE Bistrița S.A.

1. Introducere

Nevoia constantă de apă curată în aproape toate activitățile umane duce la clasarea stațiilor de tratare apă potabilă și epurare apă uzată în rândul infrastructurilor critice. În lipsa acestora, poluarea resurselor de apă are efecte devastatoare asupra sănătății publice și a mediului înconjurător.

Importanța infrastructurii de apă aduce cu sine necesitatea implementării de sisteme de control fiabile, precise și cu operare neîntreruptă. În mod tradițional, treptele tehnologice din cadrul stațiilor de epurare sau potabilizare ape sunt automatizate utilizând simple bucle de control închise bazate pe măsurători furnizate de senzori unici (Fig. 1).

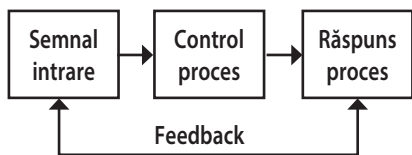


Figura 1: Bucle închise tradiționale

Riscul major al unor astfel de scheme de control este generat de sprijinul exclusiv pe un singur dispozitiv de măsură. Astfel, funcționarea automată a unor întregi trepte tehnologice este blocată sau puternic perturbată în momentul apariției unei defecțiuni la senzorii care oferă feedback-ul necesar, chiar dacă utilajul tehnologic în sine este operațional.

Exemple în acest sens sunt:

- stații de pompare controlate de un singur senzor sau detector de nivel aflat în amonte sau în aval
- sisteme de aerare controlate de un singur senzor de oxigen dizolvat
- sisteme de recirculare de nămol activ controlate doar de un debitmetru

În cazul pierderii de măsurători de importanță din proces, în cel mai bun caz algoritmul de control se poate reduce la un control de tip buclă deschisă (Fig. 2), dacă nu se decide oprirea completă a utilajului.

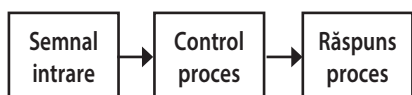
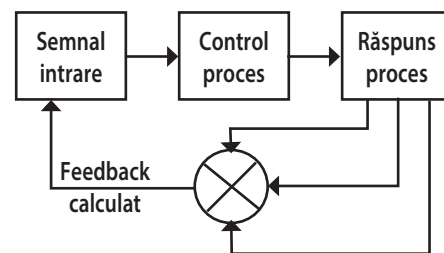


Figura 2: Bucle deschise

Buclea de control deschisă, deși pretabilă pentru procese predictibile cu timp mort pre-

lungit sau constante de timp mari, are drept dezavantaj major lipsa preciziei. Un exemplu ilustrativ constă în comanda unei centrale de încălzire în funcție de un temporizator. Dependența de interacțiunea cu mediul înconjurător, în esență variabil, determină impredictibilitatea rezultatului procesului, temperatura. Astfel, la momente diferite de timp, caracterizate prin condiții distincte, funcționarea temporizatorului produce temperaturi variate. Prin închiderea buclei cu un termostat, elementul de control poate acționa în sensul menținerii unei temperaturi constante, conferind precizie procesului. În bucla închisă obținută, bazarea pe validitatea feedback-ului obținut de la termostat are drept consecință compromiterea controlului asupra temperaturii în cazul unei defecțiuni a termostatului.

Eliminarea acestor neajunsuri se poate realiza prin instalarea de senzori redundanți în buclele de control, procedeul implicând însă creșterea costurilor de implementare. Alternativa eficientă din punct de vedere economic constă în utilizarea informațiilor furnizate de senzorii treptelor tehnologice adiacente, astfel fiind posibilă inter-validarea mărimilor furnizate și reacție adecvată a sistemului de automatizare în caz de avarie. Metoda, cu origini în aplicațiile militare, practică în domenii ca robotica sau producția automatizată, poartă denumirea de fuziune a datelor multi-senzor (Fig. 3).



Funcție furnizare date multisenzor

Figura 3: Bucle închise cu fuziune a datelor multi-senzor

2. Aspecte privind implementarea fuziunii datelor multi-senzor

Fuziunea senzorilor este o tehnică prin care datele de la mai mulți senzori sunt combinate pentru a furniza informații complete

și exacte[1]. Termenul de fuziune a datelor multi-senzor este întâlnit în literatura de specialitate, având conotații similare. Exemple specifice includ "Multisensor Data Fusion" de Waltz and Llinas, și "Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion" de Hall.

În mod clasic, automatizările industriale prezintă procesul de control și coordonare a unui număr de componente electrice și electronice proiectate după principiul SISO (single-input and single-output). Percepția a fost schimbată radical odată cu dezvoltarea tehnologiei informației și cu pătrunderea elementelor hardware și software în aproape toate componentele utilizate în procesele industriale automatizate. Creșterea capacităților sistemelor de control industrial a făcut, astfel, posibilă culegerea și procesarea unei plaje mult mai bogate de informații. Disponibilitatea ridicată a informației a creat premisele aplicării metodei de fuziune date multi-senzor. În acest mod, arhitectura sistemului de control (Fig. 4) s-a modificat prin intercalarea unui nivel suplimentar între nivelul fizic și nivelul de control, responsabil de creșterea rezilienței și acurateții informației furnizate algoritmilor de control prin inter-validarea datelor brute.

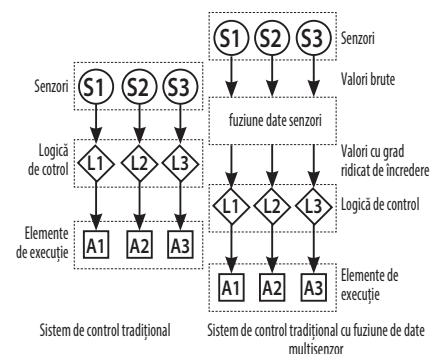


Figura 4: Arhitecturi sisteme de control

Delimitarea nivelului de fuziune senzori de nivelele fizice și de control permite implementarea modulară a sistemelor de control. Analiza detaliată a nivelului de fuziune (Fig. 5) evidențiază importanța caracteristicilor senzorilor implicați, în special a gradului de încredere derivat din imprecizia dispozitivului. Algoritmul de fuziune determină o valoare cu grad ridicat de încredere prin selectarea (voting) sau medierea valorilor brute, obținute direct de la dispozitive sau

prin efectuarea de calcule specifice, prin prisma gradului de încredere a fiecărui senzor în parte.

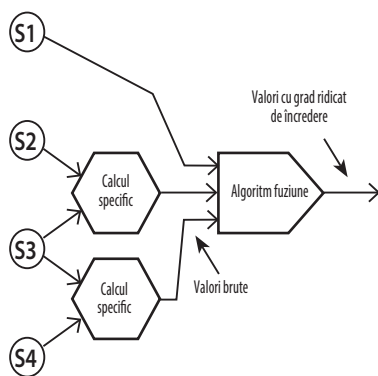


Figura 5: Operator fuziune senzori

Posibilitatea obținerii în mod indirect de informații despre mărimile din procesele de epurare sau potabilizare ape facilitează utilizarea metodei de fuziune a datelor multi-senzor în cadrul stațiilor de tratare din infrastructura de apă. Obiectivul principal constă în verificarea informațiilor oferite de senzori fără introducerea de echipamente suplimentare, redundante. În acest sens, se pot defini pașii concreți de implementare:

- Identificarea unei plaje de instrumentație optime, prin care se poate maximiza interdependența valorilor măsurate
- Identificarea formulelor teoretice de calcul și aplicarea lor pentru furnizarea valorilor brute către algoritmul de fuziune
- Implementarea algoritmului de fuziune responsabil de determinarea valorilor cu grad ridicat de încredere
- Dezvoltarea și implementarea de algoritmi de control capabili să folosească datele astfel procesate.

3. Studiu de caz

Pentru exemplificarea concretă a principiilor de fuziune a datelor multi-senzor, se consideră o instalație tipică, simplificată, din domeniul tratării apei potabile (Fig. 6).

Plaja de instrumentație este astfel aleasă încât senzorii să aibă o privire parțial suprapusă asupra mărimilor măsurate din proces pentru a beneficia de avantajele funcțiilor de inter-validare și filtrare de zgomot, oferite de posibilitatea combinării datelor senzoriale din mai multe surse.

În conformitate cu strategia clasică de control, cele două elemente de execuție (PA, PD) din instalație se pot controla în regim de buclă închisă, astfel:

- PA - în funcție de nivelul bazinului de stocare (L2)
- PD - în funcție de debitul de intrare în bazinul de stocare (Q1)

Deoarece integritatea buclilor de control este dependentă de validitatea datelor furnizate de senzorii L2 și Q1, este oportună aplicarea principiului de fuziune de date multi-senzor pentru creșterea gradului de încredere în feedback-ul transmis algoritmilor de control.

Primul pas în implementarea operatorilor de fuziune este definirea relațiilor dintre datele furnizate de către senzori, astfel încât algoritmul de fuziune să poată opera asupra unor valori care fac parte din același domeniu de măsură. Pentru măsurarea nivelului din bazinul de stocare (L2) față de valorile furnizate de senzorul primar, se evidențiază două surse suplimentare:

1. Valoarea nivelului L2 derivat din presiunea pe conducta de intrare în bazinul de stocare (P2):

$$L2 = \frac{P2}{\rho * g}$$

unde ρ reprezintă densitatea, iar g accelerația gravitațională;

1. Valoarea nivelului L2 calculat din debitele de intrare (Q1) și ieșire (Q2) din bazinul de stocare, respectiv geometria bazinului de stocare

$$\Delta L2 = \frac{(Q1 - Q2) * \Delta t}{S_{BS}}$$

unde SBS reprezintă suprafața bazinului de stocare, considerat rectangular în acest exemplu. În mod similar, pentru măsurarea debitului de intrare în bazinul de stocare (Q1), adițional debitmetrului Q1 se vor folosi următoarele surse suplimentare:

1. Valoarea debitului Q1 derivat din variația în timp a nivelului din bazinul de stocare (L2), suprafața bazinului de stocare și debitul de ieșire din bazinul de stocare (Q2):

$$Q1 = \frac{\Delta L2 * S_{BS}}{\Delta t} + Q2$$

2. Valoarea debitului Q1 calculat din înălțimea totală de pompare (Ht) și graficele de performanță a pompei PA furnizat de producător prin utilizarea unei combinații de calcul tabelar și interpolare liniară. Ht se calculează utilizând relația

$$H_t = \frac{P1}{\rho * g}$$

Următorul pas în implementare este alegerea algoritmului de fuziune. Având în vedere simplitatea procesului, este adecvată utilizarea unui algoritm de tip "voting", bazat pe gradul de încredere asociat fiecărei surse de date. Această configurație permite identificarea unui instrument defect sau decalibrat și continuarea neperturbată a procesului utilizând feedback-ul derivat din sursele alternative. Pasul final, implementarea buclilor de control din cadrul procesului, poate continua în mod tradițional, dar de data acesta beneficiind de gradul ridicat de încredere a datelor furnizate de senzori.

Studiul de caz prezent, deși o variantă simplificată a unui proces de tratare, atestă utilitatea metodei de fuziune a datelor multi-senzor în controlul stațiilor din infrastructura de apă. Metoda crește precizia și minimizează opririle neprogramate a proceselor printr-o operare diminuată în cazul unei avarii în rețeaua de instrumentație și diagnosticare automată a problemei.

- [1] Elmenreich, W. (2002). Sensor Fusion in Time-Triggered Systems, PhD Thesis. Vienna, Austria: Vienna University of Technology. p. 2

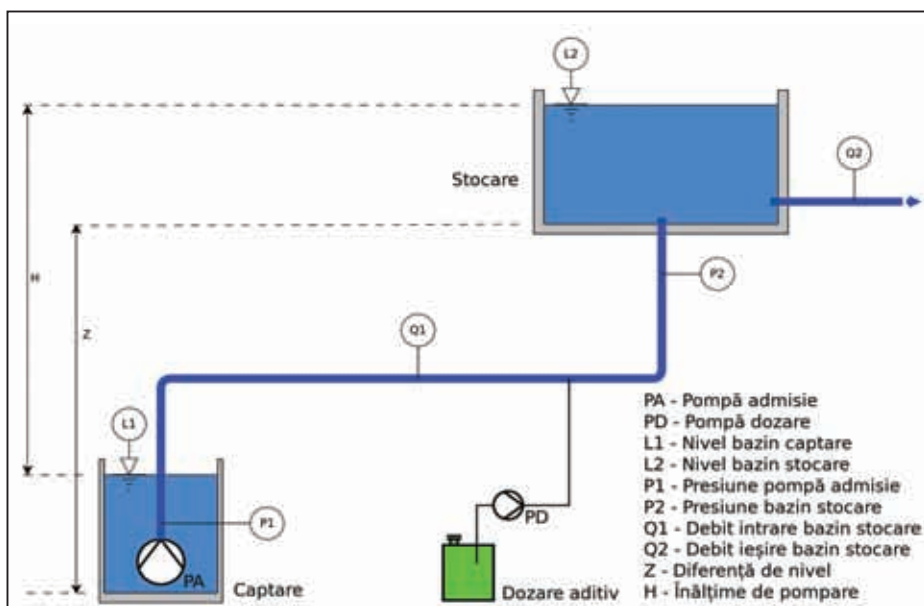


Figura 6: Stație de tratare simplificată

Posibilități de optimizare a consumului energetic dintr-o clădire folosind MPC

s.l. dr. ing. Giorgian NECULOIU, s.l. dr. ing. Oana FLANGEA, prof. dr. ing. Mariana MARINESCU, prof. dr. ing. Alexandru Viorel MARINESCU, Universitatea Tehnică de Construcții din București - Facultatea de Hidrotehnică, Colectivul de Automatică și Informatică Aplicată
 as. drd. ing. Mihaela PUIANU, Universitatea Politehnica București

Introducere

Scopul lucrării este de a prezenta o metodă folosită pentru realizarea controlului termic al unei clădirii, prezentată ca și o problemă de control optim. În scopul prezicerii comportamentului viitor, clădirile fizice pot fi reprezentate printr-un model matematic al acestora care ține cont de strategia de funcționare selectată, prognoza meteo și tipul de ocupare. Scopul principal este minimizarea consumului de energie cu respectarea tuturor cerințelor referitoare la confort. În acest sens, în lucrare este descrisă o tehnică avansată de control al clădirii, denumită Model Predictive Control (MPC).

O primă metodă de reducere a consumului de energie poate fi reprezentată de utilizarea metodelor convenționale aduse de evoluțiile din domeniul ingineriei mecanice și civile. Faptul că sunt necesare investiții suplimentare considerabile nu transformă întotdeauna aceste metode în soluții perfecte de reducere a energiei. O altă soluție pentru reducerea consumului de energie în clădiri, soluție mult mai bună care presupune costuri suplimentare minime, este reprezentată de realizarea sau îmbunătățirea unui sistem de management energetic al clădirii (BEMS).

Pentru verificarea performanțelor sistemului, algoritmul de control propus este implementat, prin intermediul unui regulator, într-un Building Energy Management System (BEMS) în scopul testării și comparării cu performanțele unui alt sistem bazat pe regulator PID (Proportional-Integral-Derivative) clasic.

Strategii de control termic folosite în prezent

În continuare se vor compara pe scurt cele mai importante tehnici de control al încălzirii unei clădiri, cu propunerea de aplicare a MPC. Cel mai simplu tip de control termic pentru o clădire este controlul temperaturii camerei prin principiul pornire-oprire, unde dispozitivele de încălzire sunt pornite sau oprite în funcție de o anumită valoare a erorii temperaturii camerei ($e_\theta = \theta_{set-point} - \theta_{room}$), implementată de obicei sub forma unei curbe adecvate de histerzis Con-off:

$$G = C_{on-off}(e_\theta) \quad (1)$$

Strategia de control bazată pe utilizarea reguletoarelor PID este cea mai utilizată strategie de control termic în cadrul clădirilor. Această metodă, spre deosebire de celelalte strategii prezentate, conține unele informații despre dinamica sistemului (temperatura apei de încălzire θ_{water} se determină în funcție de eroarea temperaturii camerei e_θ și de un anumit istoric:

$$\theta_{water} = f_{PID}(e_\theta, history) \quad (2)$$

Atunci când se lucrează cu sisteme cu o singură intrare și o singură ieșire (SISO), reglarea acestora este ușor de realizat folosind strategiile de control prezentate anterior. Această problemă devine mai dificil de implementat în momentul în care se dorește relizarea controlului pentru sisteme cu mai multe intrări și mai multe ieșiri (MIMO).

Pentru a răspunde cerințelor de control ale acestor sisteme (MIMO), trebuie luată în calcul o altă strategie de control care să aibă feedback (este utilizată eroarea e_θ), să utilizeze cât mai multe variabile posibile (temperatura exterioară $\theta_{outside}$, prognoza meteo $\theta_{predicted}$, și alte informații x) și, de asemenea, să includă dinamica sistemului:

$$t_{water} = f_{MPC}(e_\theta, t_{outside}, t_{predicted}, x, history) \quad (3)$$

Pentru a putea aplica această strategie de control pentru sistemele MIMO, care sunt tipice sistemelor de încălzire, o soluție bună poate fi reprezentată de utilizarea MPC. Dificultățile principale de aplicare ale acestei strategii sunt cerințele ridicate pentru resursele de calcul utilizate și fondul matematic foarte puternic ce este utilizat.

Confortul termic și economiile de energie sunt două dintre cerințele de control termic al clădirii. Cerința referitoare la confort este impusă de un interval de temperatură (definit de o limită inferioară și una superioară) în care trebuie să se găsească temperatura interioară. Intervalul de temperatură specificat diferă pentru perioadele ocupate și neocupate, în perioada ocupată (ocupare), acest interval de temperatură numindu-se zonă de confort, iar în timpul perioadei neocupate - zonă de siguranță (Fig. 1) [8-9].

Pentru a suplini faptul că dinamica clădirii este destul de lentă (clădirea are o inerție mare), procesul de încălzire o sa fie pornit în avans, în așa fel încât la începutul perioadei de ocupare temperatura să nu rămână sub zona de confort.

Atunci când se dorește creșterea temperaturii interioare, sistemul de încălzire o să consume energie. Strategia de control energetic minim va acționa împotriva acestei creșteri a temperaturii, încercând să o păstreze la o limită inferioară acceptabilă.

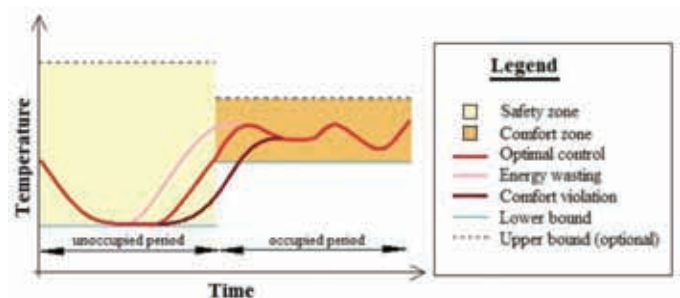


Fig. 1. Cerințe de confort și scenarii posibile pentru temperatura interioară. Având în vedere că modelul clădirii este indispensabil pentru MPC, pot fi găsiți algoritmi care utilizează formulări clasice, folosind funcții de transfer, spațiu stărilor sau modele de convoluție [1].

Cum modelul unei clădiri poate fi definit în mod natural prin reprezentări în spațiu-stări, MPC este mai ușor de înțeles în timp discret decât în timp continuu. Astfel, în cadrul acestei lucrări este utilizat algoritmul MPC în timp discret realizat pe baza unui model în spațiul stărilor. O formulare a problemei MPC poate fi rezolvată având în vedere faptul că fluxul de căldură este variabila manipulată, u , iar ieșirea

sistemului este temperatura interioară, y , astfel:

Funcția de cost minimizată: $F(p) = \sum_{i=1}^{N_u} u(p+i)$

Cu condițiile:
$$\begin{aligned} 0 \leq u(p+i) \leq u_{max}, i = 1 \dots N_u \\ \hat{y}(p+j) \geq \theta_{min}(p+j), j = 1 \dots N_z \end{aligned} \quad (4)$$

unde $u(p+i)$ este puterea sistemului de încălzire, care trebuie să fie pozitivă pe tot orizontul viitor de comandă - N_u , u_{max} este puterea maximă a sistemului de încălzire, θ_{min} este limita inferioară a zonei de confort/siguranță, singura limită considerată în cazul încălzirii. Ieșirea prezisă a sistemului pentru urmatorul interval de timp - N_y este \hat{y} . Valoarea orizontului de predicție - N_y va fi aleasă în așa fel încât să fie mai mare decât perioada neocupată, pentru a garanta existența soluției sub constrângerile dinamice introduse prin inerția clădirii și pentru ca la sfârșitul perioadei de ocupare, problema de optimizare să surprindă începutul următoarei perioade de ocupație.

Controlul predictiv bazat pe model

Atunci când discutăm despre controlul termic al clădirilor ocupate intermitent, MPC este considerată ca fiind una dintre cele mai potrivite metode. Aceasta minimizează criteriile legate de disconfort și energie prin includerea în strategia de control a prognozei meteo, a viitorului program de ocupare stabilit prin puncte și a constrângerilor din optimizare. În studiile de simulare, MPC a depășit alte regulatoare testate în ceea ce privește consumul de energie și criteriile de confort. [2]. De asemenea, există și teste practice care au demonstrat că rezultatele obținute în simulare se mențin și în practică [3-5].

- Modelarea clădirii

Pentru a estima viitoarele ieșiri, MPC are nevoie de un model dinamic al sistemului.

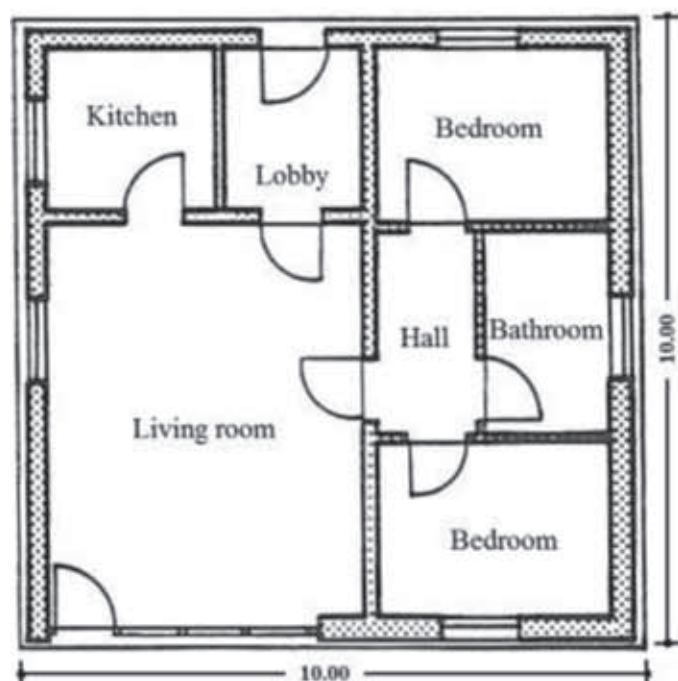


Fig. 2. Planul clădirii de referință

Pentru realizarea experimentelor au fost folosite datele provenite de la o casă tipică, având o amprentă la sol de 100 m². Casa este situată în Germania (Fig. 2).

Datele înregistrate pentru vreme corespund zonei Germania pentru

perioada august 2013, respectiv aprilie 2014.

Pentru a obține un model de ordin inferior al clădirii trebuie parcurse două etape. În primul rând, pe baza cunoștințelor fizice despre clădire, este obținută o structură a modelului dintr-o reprezentare a capacității concentrate a clădirii prin intermediul rețelelor termice. În a doua etapă sunt obținuți parametrii modelului prin identificare experimentală. Luând în considerare o clădire care este aproximată ca fiind o singură zonă termică, ca și cea din Fig. 2, rețeaua termică liniară este echivalentă cu cea prezentată în figura Fig. 3.

Anvelopa clădirii este reprezentată prin intermediul unei rețele 2R-C. Capacitatea termică stocată în perete este reprezentată de C_p , iar izolația peretelui este reprezentată de rezistențele conductive R_{p1} și R_{p2} . Rezistența termică ce se regăsește la limita dintre anvelopa și aerul interior, respectiv aerul exterior este reprezentată prin rezistențele convective R_{si} , respectiv R_{se} . Capacitatea termică a masei interne este reprezentată de C_z , iar ventilația și infiltrațiile din clădire sunt reprezentate de rezistența R_v .

Prin separarea intrărilor controlabile și necontrolabile, se obține următorul model în spațiul stărilor cu mai multe intrări și o ieșire (Multiple Inputs Single Output - MISO):

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + B_1u + B_2w \\ y &= Cx + Du + D_2w \end{aligned} \quad (5)$$

Întrucât modelul folosit este definit pentru o clădire cu o singură zonă, ieșirea sistemului este considerată a fi temperatura medie a clădirii. Această valoare este calculată ca temperatura medie a camerelor, ponderată cu suprafețele camerelor.

Pentru un sistem așa cum este cel prezentat în această lucrare, legătura între intrări și ieșiri poate fi reprezentată sub forma unui set de funcții de transfer obținută cu ajutorul următoarei expresii:

$$H_S = C_S(I_S - A_S)^{-1}B_S + D_S \quad (6)$$

Utilizând metoda de identificare a celor mai mici patrate pentru identificarea parametrilor funcției de transfer discrete a sistemului, se va obține următoarea formă pentru modelul clădirii din care se pot identifica parametrii $m_1, m_2, n_{11} \dots n_{42}$:

$$H(z^{-1}) = \begin{pmatrix} \frac{\theta_z(z^{-1})}{T_{ev}(z^{-1})} \\ \frac{\theta_z(z^{-1})}{T_{ep}(z^{-1})} \\ \frac{\theta_z(z^{-1})}{Q_s(z^{-1})} \\ \frac{\theta_z(z^{-1})}{Q_{elp}(z^{-1})} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{n_{11}z^{-1} + n_{12}z^{-2}}{1 + m_1z^{-1} + m_2z^{-2}} \\ \frac{n_{22}z^{-2}}{1 + m_1z^{-1} + m_2z^{-2}} \\ \frac{n_{32}z^{-2}}{1 + m_1z^{-1} + m_2z^{-2}} \\ \frac{n_{41}z^{-1} + n_{42}z^{-2}}{1 + m_1z^{-1} + m_2z^{-2}} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Parametrii m_{11} și m_{12} corespund ieșirii sistemului la interacțiunea cu variația temperaturii aerului introdus prin ventilație, parametrul m_{22} corespunde ieșirii sistemului la interacțiunea cu variația temperaturii aerului exterior, parametrul m_{32} corespunde ieșirii sistemului la interacțiunea cu variația fluxului solar incident pe anvelopa clădirii, iar parametrii m_{41} și m_{42} corespund ieșirii sistemului la interacțiunea cu variația fluxului de căldură intern.

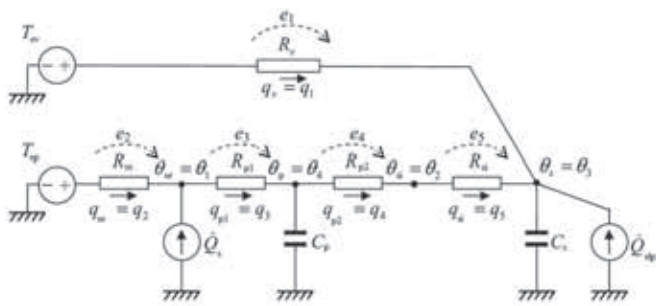


Fig. 3 Reprezentarea rețelei termice liniare echivalentă a modelului termic de ordin inferior a clădirii

Evaluarea performanțelor MPC

Performanțele sistemului de control termic utilizat în teste, sistem bazat pe regulator MPC, sunt evaluate în comparație cu cele ale unui sistem bazat pe un regulator convențional PID. Aceste sisteme sunt de fapt subsisteme ce sunt încorporate în sistemul BEMS al clădirii. Rolul sistemului BEMS este de a acționa fiecare pompă și robinet al sistemului de încălzire, în scopul de a menține temperatura interioară peste limita minimă impusă utilizând cât mai puțină energie.

Criterii de comparare a performanței

Printre criteriile de performanță ale unui astfel de sistem putem enumera:

- Numarul de cicluri pornire-oprire

Sistemul considerat în cadrul acestei lucrări are în componență o pompă de căldură. Aceasta este foarte sensibilă la mai multe cicluri de repornire, iar o posibilă defectare duce la creșterea costului de întreținere a sistemului.

- Pornirea optima

Capacitatea de a reporni încălzirea la momentul potrivit reprezintă unul dintre punctele esențiale ale unui BEMS. Această operație este făcută cu scopul de a recupera clădirea în timp util de la valoarea de referință setată pentru noapte. În caz contrar, rezultatul obținut produce disconfort la începutul perioadei de ocupare, ori irosirea de energie. Astfel, acest test este trecut dacă temperatura interioară trece prin fereastra optimă de verificare la pornire care prevede un interval de temperatură de 1 °C (0,5 °C sub limita inferioară de confort și 0,5 °C peste el) timp de 30 de minute (15 minute înainte de schimbarea setată dimineața și 15 minute după) [7].

- Ponderea excesivă PPD

Ponderea excesivă PPD, introdusă prin intermediul normativului european EN 15251, evaluează disconfortul termic al persoanelor pentru o anumită perioadă de timp. Această pondere poate fi calculată plecând de la valoarea indicilor care dau informații despre disconfortul instantaneu. Acești indici sunt setarea mediei predictive (Predictive Mean Vote - PMV) și procentul predictibil al oamenilor nemulțumiți (Predicted Percentage of Dissatisfied people – PPD), care sunt de asemenea folosiți de numeroase reglementări internaționale.

Presupunând că PPD_{min} = 10% reprezintă limita inferioară a zonei de confort [6], pentru perioada de ocupare, calculul ponderii excesive PPD poate fi definit ca:

$$wf = \begin{cases} \frac{PPD}{PPD_{\min}}, & \text{când } PPD > 10 \\ 0, & \text{când } PPD \leq 10 \end{cases} \quad (8)$$

Din relația (8) putem utiliza distribuția funcției pondere obținute pentru calculul ponderii excesive PPD sub forma unei sume a valorilor funcției pondere înmulțită cu intervalul de timp în care a fost obținută fiecare valoare deosebită:

$$PPD \cdot h = \sum_{i=1}^n wf_i \cdot t_{wf_i} \quad (9)$$

unde n reprezintă pentru funcția pondere obținută numărul de valori distincte, iar t_{wfi} reprezintă perioada de timp la care a fost obținută valoarea funcției pondere corespunzătoare pasului i.

Rezultatele testelor experimentale

Utilizând modelul de ordin redus prezentat și realizat pentru clădirea din Fig. 3, testele au fost realizate prin emulare. Pentru realizarea testelor au fost selectate două perioade de câte cinci zile reprezentative pentru vremea din timpul iernii și pentru vremea din timpul verii. Motivația acestei alegeri a fost variația de amplitudine a temperaturii exterioare care conduce la pornirea/oprirea repetată a sistemului de încălzire.

Variațiile temperaturii exterioare și a nivelului radiațiilor solare pentru cele cinci zile considerate pot fi observate prin intermediul Fig. 4 și Fig. 5.

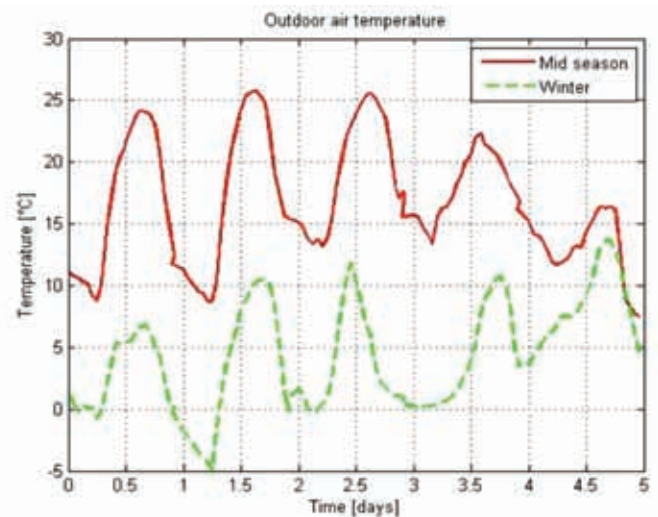


Fig. 4. Variația temperaturii exterioare pentru perioada de test

Asa cum s-a prezentat în lucrare, ca și limite pentru punctul de referință ce trebuie urmarit se va considera numai limita inferioară a zonei de confort/siguranță. Pentru exemplul nostru, limita inferioară este de 22°C, în perioada de ocupare (07:00 - 22:00), iar pentru perioada de neocupare (22:00 - 07:00) este de 17°C.

În urma implementării celor două strategii de control prezentate, variațiile temperaturii interioare sunt prezentate în Fig. 6. Se poate observa că temperatura medie obținută prin intermediul strategiei de control bazat pe regulator PID este în general mai mare decât cea rezultată prin intermediul strategiei de control bazat pe MPC. Cu toate acestea, în cazul strategiei MPC, temperatura nu se încălzează sub limita inferioară a zonei de confort / siguranță, ceea ce

Înseamnă că strategia MPC este o soluție bună. Acest lucru înseamnă că metoda de reglare cu regulator PID a consumat mai multă energie decât este necesar.

În ceea ce privește confortul, se poate observa că la începutul perioadei de ocupare regulatorul PID are un comportament nefavorabil, mai ales în perioada de iarnă. Acesta repornește încălzirea în momentul schimbării punctului de referință introducând astfel un decalaj între temperatura interioară și punctul de referință. În acest fel, strategia de control bazată pe regulator PID nu a trecut testul de pornire optim.

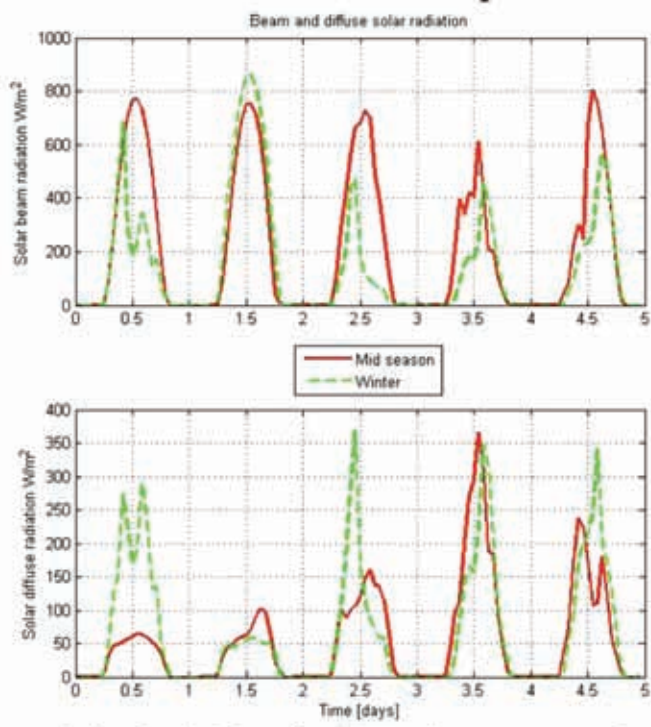


Fig. 5. Variația nivelului radiațiilor solare pentru perioada de test

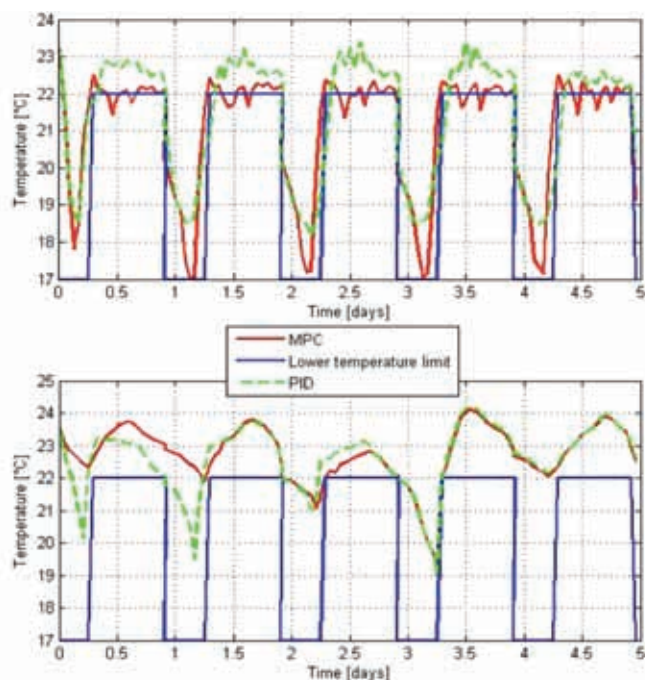


Fig. 6. Comparația evoluției temperaturii interioare obținută cu reglatoarele PID și strategia MPC în (sus) sezonul de iarnă și (jos) sezonul de vară.

Pentru perioada de testare de iarnă, MPC a consumat cea mai mică

cantitate de energie termică pentru încălzire, în același timp, oferind cel mai bun confort termic. Deși economiile de energie realizate nu sunt la fel de substanțiale (de 4,5% față de PID), îmbunătățirea confortului termic este vizibil mai mare, ponderea excesivă PPD fiind redusă cu 77% față de PID.

Concluzii

Utilizând un model de ordin redus prin intermediul căruia este posibilă studierea comportamentului termic al unei clădiri, în cadrul acestei lucrări s-a studiat performanța de control obținută prin implementarea unei strategii de control bazată pe tehnologia MPC, în comparație cu o strategie de control bazată pe regulator PID. Performanțele cu privire la confortul termic și consumul total de energie al sistemului de încălzire au fost evaluate pentru ambele strategii de control. Compararea lor a arătat că MPC reduce disconfortul termic și consumul de energie. Testul de pornire optim a fost trecut doar de MPC, ceea ce înseamnă că MPC este capabil să se adapteze la condițiile meteorologice actuale.

Bibliografie

- [1] E.F. Camacho, A.C. Bordons, Model Predictive Control, 2nd ed. Springer-Verlag, London, 2004.
- [2] B. Paris, J. Eynard, S. Grieu, T. Talbert, M. Polit, Heating control schemes for energy management in buildings, *Energy Build.* 42
- [3] T.Y. Chen, Real-time predictive supervisory operation of building thermal systems with thermal mass, *Energy Build.* 33 (2001) 141–150.
- [4] T.Y. Chen, Application of adaptive predictive control to a floor heating system with a large thermal lag, *Energy Build.* 34 (2002) 45–51.
- [5] P. Gruber, M. Gwerder, J. Tödtli, Predictive Control for Heating Applications, 7th REHVA World Congress (Clima 2000/Napoli 2001), 2001.
- [6] D. Kolokotsa, A. Pouliezos, G. Stavrakakis, C. Lazos, Predictive control techniques for energy and indoor environmental quality management in buildings, *Build. Environ.* 44 (2009) 1850–1863
- [7] CEN, Controls for Heating Systems — Part 2: Optimum Start-Stop Control Equipment for Hot Water Heating Systems, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2001.
- [8] I. Hazyuk, C. Ghiaus, D. Penhouet, Optimal temperature control of intermittently heated buildings using Model Predictive Control: part II — control algorithm, *Build. Environ.* 51 (2012) 388–394.
- [9] Samuel Privara, Jan Siroky, Lukas Ferkl, Jiri Cigler, Model predictive control of a building heating system: The first experience, *Energy and Buildings* 43 (2011), 564–572.
- [10] G. Neculoiu, Teza de doctorat, 2015.

Elaborarea cerinței de aer pentru un sistem de control a turației unui turbocompresor, tip centrifugal, cu rol de suflantă, în funcție de parametrii tehnologici

drd.ing Adrian TĂNASE, OMV Petrom

Introducere

În cadrul instalației de cracare catalitică în strat fluidizat, pentru reactivarea particulelor de catalizator participante la procesul de reacție, cocsul rezultat este înlăturat prin arderea acestuia cu aer în sistemul de regenerare (regenerator). Aerul necesar combustiei este furnizat de către un turbocompresor centrifugal, de aer.

De asemenea, aerul necesar arderii cocsului păstrează în același timp și patul de catalizator în strat fluidizat. Dacă debitul de aer furnizat de turbosuflantă către regenerator este insuficient (10% din cantitate/debitul de aer în exces este considerat suficient și de siguranță) pot apărea în desfășurarea procesului două probleme majore:

- arderea incompletă a cocsului și implicit prezența monoxidului de carbon în gaze arse, vor asigura condiții de ardere mai departe în proces, ca o reacție necontrolată și nefinalizată.
- patul de catalizator poate să nu rămână în strat fluidizat. Dacă dispare condiția de strat fluidizat, atunci rezistența de linie a sistemului de reacție va scade, iar turbocompresorul ar putea funcționa în șocuri, lucru deloc de dorit.

Descrierea sistemului de control al turației

Pentru un sistem automat de reglare și control al turației unui turbocompresor de aer se poate elabora cerința de turație (tema) și în funcție de evoluția parametrilor de proces cum ar fi: nivel catalizator în regenerator, temperatura grilă la cuptor – încălzire materie primă, nivelul/concentrația de gaze arse la ieșirea din regenerator prin măsurarea nivelului de oxigen, gradul de conversie al instalației care depinde de activitatea catalizatorului și de rația alimentare materie primă/catalizator, de debitul de aer aspirat/refulat

de turbocompresor.

Schema bloc a unui sistem de reglare a turației este prezentată în figura de mai jos:

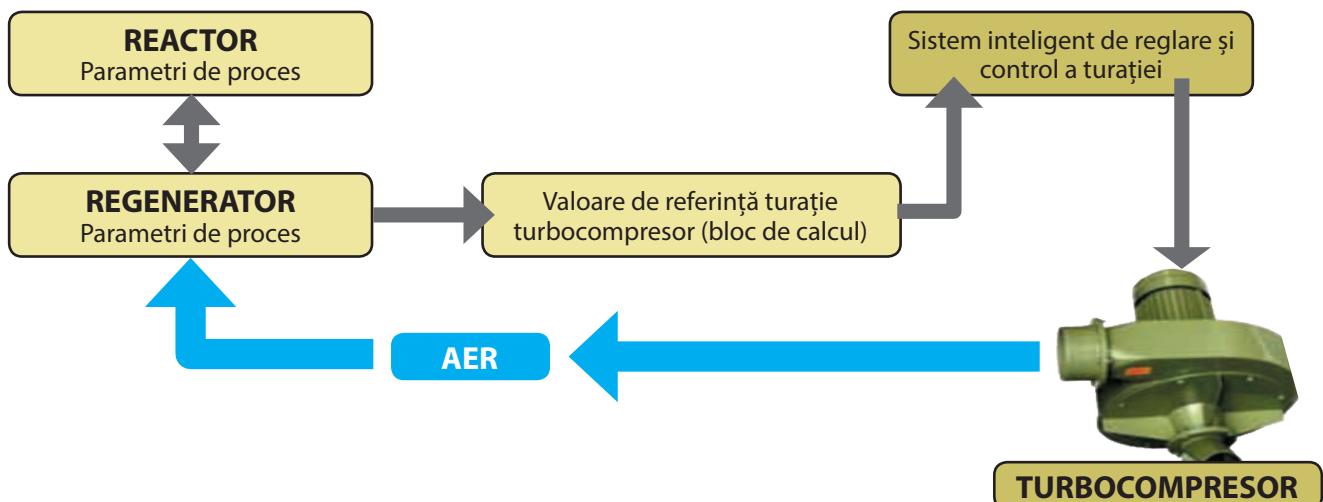
Pe baza datelor de proces, colectate pe o perioadă de timp îndelungată, astfel încât acestea să fie relevante și reprezentative, s-a efectuat analiza cerinței de aer pentru turbocompresor.

Au fost selectate valorile parametrilor de proces, s-a studiat evoluția acestora pe intervale de timp bine definite, precum și ponderea fiecărui parametru de proces.

Pe baza acestora s-a încercat definirea ecuației matematice a cerinței de aer (temă), corespunzător variație de turație a turbocompresorului, respectiv variației de debit aer la refularea acestuia.

După efectuarea calculelor matematice aferente variațiilor parametrilor din proces studiați, precum și a ponderilor acestora, s-a calculat formula matematică finală a cerinței de aer.

Calculare valori maxime cerință (temă) aer la regenerator			
Nivel catalizator proaspăt	x3	pondere 5	33,33%
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x4	pondere 5	
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x16	pondere 5	
Debit aer calculat aspirație suflantă	x2	pondere 5	
Nivel catalizator proaspăt	x8	pondere 4	26,66%
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x6	pondere 4	
Debit aer calculat aspirație suflantă	x8	pondere 4	
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x3	pondere 4	
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x8	pondere 3	20%
Debit aer calculat aspirație suflantă	x9	pondere 3	



Valoare de proces reală turație turbosuflantă	x6	pondere 3	
Nivel catalizator proaspăt	x2	pondere 3	
Debit aer calculat aspirație suflantă	x6	pondere 2	13,33%
Valoare de proces reală turație turbosuflantă	x6	pondere 2	
Nivel catalizator proaspăt	x7	pondere 2	
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x3	pondere 2	
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x3	pondere 2	
Valoare de proces reală turație turbosuflantă	x13	pondere 1	6,66%
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x3	pondere 1	
Nivel catalizator proaspăt	x5	pondere 1	
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x4	pondere 1	

Din calcule a rezultat cerința de aer pentru suflantă la regenerator poate fi definită de următoarea formula matematică :

Cerința aer (%) = (19.1916% * nivel catalizator) + (20.7964% * temperatură materie primă) + (26.9292% * valoare oxigen) + (11.4705% * turația turbosuflantei) + (21.5968% * debitul de aer calculat).

Se poate observa că oxigenul măsurat la ieșirea din regenerator reflectă foarte fidel necesarul de aer, respectiv turație al turbocompresorului, dar pondere importantă au și debitul de aer calculat, temperatura materiei prime din cuptoare sau nivelul de catalizator din regenerator.

De asemenea, pentru evoluția parametrului de turație al compresorului s-a efectuat calculele și au rezultat următoarele definiții :

Calculare valori maxime turație suflantă			
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x8	pondere 5	33,33%
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x17	pondere 5	
Nivel catalizator proaspăt	x5	pondere 4	26,66%
Cerința aer suflantă la regenerator	x1	pondere 4	
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x6	pondere 4	
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x7	pondere 4	

Debit aer calculat aspirație suflantă	x6	pondere 4	
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x2	pondere 3	20%
Cerința aer suflantă la regenerator	x3	pondere 3	
Debit aer calculat aspirație suflantă	x12	pondere 3	
Nivel catalizator proaspăt	x8	pondere 3	
Cerința aer suflantă la regenerator	x7	pondere 2	13,33%
Debit aer calculat aspirație suflantă	x7	pondere 2	
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x0	pondere 2	
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x5	pondere 2	
Nivel catalizator proaspăt	x6	pondere 2	
Debit aer calculat aspirație suflantă	x0	pondere 1	6,66%
Temperatură ieșire grilă cuptor materie primă	x2	pondere 1	
Cerința aer suflantă la regenerator	x13	pondere 1	
Nivel catalizator proaspăt	x6	pondere 1	
Valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator	x4	pondere 1	

Cerința turație (%) = 16.5296% x (nivel catalizator proaspăt) + 30.662% x (temperatură ieșire grilă cuptor materie primă) + 22.3956% x (valoare oxigen cromatograf la ieșire din regenerator) + 10.362% x (cerința aer suflantă la regenerator) + 19.7308% x (debit aer calculat aspirație suflantă).

Se observă că turația este cel mai mult influențată de temperatura de ieșire a materiei prime din cuptoare, dar și de valoarea concentrației de oxigen la ieșirea gazelor arse din regenerator.

Concluzie

Prin monitorizarea corespunzătoare a concentrației de oxigen în gaze arse la ieșirea din regenerator și/sau prin modificarea parametrilor de temperatură ieșire materie primă din cuptoare, nivel catalizator în regenerator (schimb flux cu reactorul și intrare catalizator proaspăt) se poate efectua o reglare automată și eficientă a turației turbocompresorului de aer, permanent corelată cu desfășurarea procesului tehnologic.

Monitorizarea și predicția consumului de energie utilizând modele de tip ARIMA și Rețele Neuronale Artificiale

ing. Cristina NICHIFOROV, prof.dr.ing. Sergiu Stelian ILIESCU, prof.dr.ing. Ioana FĂGĂRĂȘAN, s.l.dr.ing. Nicoleta ARGHIRA, s.l.dr.ing. Vasile CALOFIR, s.l.dr.ing. Iulia STAMATESCU, s.l.dr.ing. Grigore STAMATESCU, Universitatea Politehnică București - Facultatea de Automatică și Calculatoare

1. Introducere

Abordarea provocărilor energetice globale actuale și viitoare implică un rol tot mai mare de informare și comunicare inteligentă atât pe partea de ofertă de energie electrică, cât și pe cea a consumului. Printre obiective se numără furnizarea de energie în mod sigur și continuu, echilibrarea rețelei prin integrarea din ce în ce mai mult a surselor regenerabile de energie și poate, cel mai important, utilizarea în mod eficient a energiei în toate formele sale. Având în vedere scopurile menționate, intervine nevoia stringentă de modelare și predicție a energiei consumate. Acest obiectiv poate fi atins prin utilizarea unor echipamente moderne și de asemenea, bazându-se pe prelucrarea informațiilor extinse.

Utilizarea eficientă a consumului de energie pentru o anumită activitate este în prezent o cerință obligatorie pentru sectorul industrial, comercial, dar și pentru locuințe. Odată cu creșterea costurilor cu energia electrică, modelarea și prognoza consumului de energie a devenit o problemă importantă. Consumul de energie crește constant și intervine nevoia de cunoștințe cantitative și calitative despre această dezvoltare, cunoștințe care implică un model matematic al consumului de energie pentru a înțelege nevoile viitoare. În prezent, sistemele de monitorizare a consumului de energie sunt de mare interes atât pentru companii cât și pentru consumatorii de energie electrică [1].

Sistemele de monitorizare a consumurilor energetice oferă o soluție completă în ceea ce privește managementul energiei. Acestea impun folosirea celor mai noi tehnologii de măsurare, tehnologii de comunicație și de procesare a informației. Sistemele de monitorizare și măsurare oferă anumite informații care pot fi folosite pentru a eficientiza diferite operațiuni din cadrul unei organizații și de asemenea, pentru a îmbunătăți procesul de gestiune a energiei. Implementarea tehnologiilor și sistemelor noi cu o arhitectură deschisă oferă eficiență maximă în domeniul monitorizării și managementului energetic.

Obiectivul prezentului studiu, este acela de a realiza și compara două modele de predicție a consumului de energie pe o perioadă de timp într-o hală industrială de producție a unor echipamente de automatizare utilizând două abordări diferite. Pentru aceasta s-a folosit un echipament specializat de măsurare a tuturor parametrilor ce țin de rețeaua de energie electrică cu ajutorul căruia s-a obținut un set de valori ale consumului de energie pe o perioadă de 7 zile. În ultimii ani, prognoza consumului de energie a devenit un subiect interesant atât pentru mediul academic cât și pentru industrie. În prezenta lucrare, modelele matematice ale consumului de energie s-au obținut utilizând diferite tehnici, după cum urmează să fie prezentate în continuare. Așa cum este descris în [2], metodele de

predicție ale consumului de energie electrică pot fi clasificate în trei categorii:

- Abordări tradiționale: modele Box-Jenkins de tip autoregresive-medie mobilă (ARMA) sau autoregresive-integrate-medie mobilă (ARIMA), modele auto-regresive de medie alunecătoare având control exogen (ARMAX), modele sezoniere de tip SARIMA [3], modele cu reprezentare pe stare și modele de regresie liniară;
- Abordări bazate pe inteligență artificială: modele de tip sistem expert bazat pe cunoaștere (KBES), modele de tip rețele neuronale artificiale (Autoregressive Neural Network - ANN) și modele ce utilizează logica fuzzy [4];
- Model de regresie a vectorului de suport (SVR) și modelele sale hibride/combinat asociate [4, 5, 6].

Studiile recente se concentrează asupra predicției consumului de energie (electrică și termică) a clădirilor moderne. Cercetarea utilizează metode extinse de predicție a consumului de energie care utilizează proprietățile structurale ale clădirilor, ecuațiile lor termice și alți parametri, cum ar fi: condiții meteorologice, gradul de ocupare, activitățile ocupanților și parametrii sistemului de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC). Aceste metode au nevoie de informații despre parametrii structurali și termici ai clădirilor, date care nu sunt întotdeauna disponibile sau ușor de obținut și depind, de asemenea, de principii fizice complexe care necesită un nivel ridicat de expertiză pentru dezvoltarea modelelor [7, 8, 9].

Literatura de specialitate oferă diferite metode utilizate pentru estimarea consumului de energie, însă dezavantajul acestor tehnici îl reprezintă numărul mare de intrări utilizate pentru identificarea modelului. Pentru a reduce complexitatea metodelor care utilizează informații extinse și detaliate despre sistemul analizat, în această lucrare au fost propuse, metode mai simple, care utilizează doar datele disponibile privind consumul de energie. Pentru predicția consumului de energie au fost utilizate modelele de tip ARIMA și ANN.

2. Arhitectura hardware a sistemului de monitorizare

Un sistem de monitorizare trebuie grefat cât mai bine pe tipul și structura instalației de monitorizat. Astfel, implementarea unui asemenea sistem pornește de obicei de la un sistem de monitorizare 'standard', ce conține diferite module de bază, hardware și software, și se realizează în perimetrul în care se găsesc echipamentele/instalațiile fizice, specifice unui consumator industrial.

Pentru sistemul prezentat în această lucrare perimetrul în care s-a instalat sistemul de monitorizare a constat într-o hală mică de producție a unor echipamente de automatizare cu o activitate mo-

derată. Printre consumatorii care s-au regăsit în hala de producție se numără: un CNC, motoare de curent continuu și alternativ, convertizoare de frecvență, diferite scule-unelte pentru circuite electrice și electronice, mașini de tăiat și găurit, sistem de iluminat, calculatoare.

În figura 1 este prezentată o schemă de principiu a arhitecturii sistemului de monitorizare a consumatorilor electrice, iar în figura 2 sistemul realizat cu echipamentul de monitorizare a energiei.

Pe scurt, diagrama este alcătuită din următoarele echipamente: un automat programabil (PLC) [10] Siemens din familia Simatic S7-1200, un modul specializat de ‘energy metering’ marca Siemens, ecran de vizualizare (HMI) [11] Siemens familia Simatic TP700 și de asemenea, un calculator pe care rulează o aplicație software pentru programarea automatului și pentru achiziția și stocarea datelor măsurate.

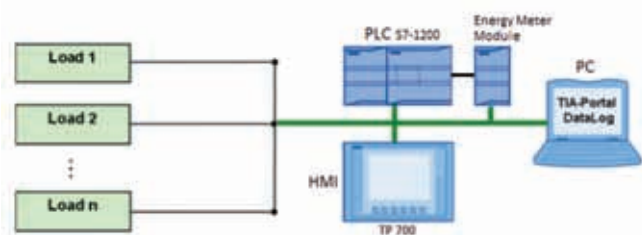


Figura 1. Diagrama arhitecturii utilizate pentru monitorizarea energiei



Figura 2. Sistem cu echipamentul de monitorizare montat



Figura 3. Panou SIEMENS SENTRON PAC3200



Figura 4. Captură de ecran din programul TIA Portal pentru configurarea parametrilor de măsurat



Figura 5. Valori ale puterilor măsurate

Configurarea și programarea echipamentului s-a realizat în mediul de programare TIA Portal. Pentru obținerea tuturor funcționalităților modulului ‘Energy Meter Module’ precum și a evoluției valorilor mărimilor de instrumentație ce au fost monitorizate în timp real de la dispozitivul de măsurare a energiei electrice s-au folosit blocuri specifice. Parametrii care au fost măsurați/monitorizați sunt următorii: tensiuni de fază, tensiuni de linie, curent de fază și curent total, putere activă/reactivă/aparentă pe fiecare fază și totală, energie activă/reactivă/aparentă pe fiecare fază și totală, factor de putere, frecvență.

3. Metodologie – fundamente teoretice

Cercetarea actuală a fost dezvoltată în trei etape. Prima etapă: achiziția datelor și prelucrarea datelor; etapa a doua: propunerea unor modele de tip ARIMA și ANN și a treia fază: analiza performanței și compararea a două modele diferite de predicție: ARIMA și ANN. Datele achiziționate utilizate pentru obținerea celor două modele de predicție reprezintă consumul energetic activ, iar setul de date utilizat conține 59.915 valori, colectate la o perioadă de eșantionare de 10 secunde, pe o durată de 7 zile, într-o hală de producție a unor echipamente de automatizare ce are o activitate moderată.

3.1 Modelul de tip ARIMA

Prezentat de Box și Jenkins, modelul de tip ARIMA [1,15] a fost unul dintre cele mai populare abordări utilizate pentru predicție/prognostic. Într-un model ARIMA, se presupune că valoarea viitoare a unei

variabile, este o funcție liniară a mai multor observații anterioare și erori aleatoare. Procesul de bază care generează seria de timp are formă:

$$y_t = \theta_0 + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad 1$$

Unde y_t și ε_t reprezintă valoarea reală și eroarea aleatorie la un moment de timp t ; φ_i ($i = 1, 2, \dots, p$) și θ_j ($j = 1, 2, \dots, q$) reprezintă parametrii modelului; p și q sunt numere întregi și sunt denumite adesea componenta de tip autoregresiv respectiv componenta de tip medie mobilă [12, 13]. Erorile aleatoare, et, se presupune că sunt distribuite independent și identic cu o medie zero și o variație constantă de σ^2 . Ecuația (1) implică câteva cazuri speciale, importante, ale familiei de modele ARIMA. Dacă $q = 0$, atunci (1) devine un model AR de ordin p . Când $p = 0$, modelul se reduce la un model MA de ordin q .

3.2 Modelul de tip ANN

Datorită rezultatelor excelente și succesului remarcabil obținut în aplicații reale, rețelele neuronale artificiale (ANN) sunt considerate una dintre cele mai populare metode utilizate pentru predicție. Unul dintre marile avantaje ale rețelelor neuronale artificiale este potențialul lor de a modela relații de date neliniare. În majoritatea cazurilor, aplicațiile pentru serii de timp se caracterizează prin variații mari și perioade tranzitorii trecătoare. Acest fapt face dificilă modelarea seriilor de timp folosind un model liniar, prin urmare ar trebui sugerată o abordare neliniară.

O rețea neuronală autoregresivă neliniară (Non-linear Autoregressive Neural Network - NAR), aplicată predicției unor serii de timp, descrie un model autoregresiv discret, neliniar, care poate fi scris după cum urmează:

$$y_t = f(y(t-1), y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-p)) + \varepsilon(t) \quad 2$$

Această formulă descrie modul în care o rețea neuronală de tip NAR este utilizată pentru a prognoza valoarea unei serii de date y la momentul t , $y(t)$, utilizând valorile p din trecut ale seriei. Funcția $f(\cdot)$ este necunoscută în prealabil, iar formarea rețelei neuronale are scopul de a aproxima funcția, prin optimizarea dimensionării rețelei. În cele din urmă, termenul $\varepsilon(t)$ reprezintă eroarea aproximării seriei y la momentul t [14].

4. Aplicarea modelelor pentru predicția consumului de energie

4.1 Modelarea ARIMA

Pe baza chestiunilor teoretice menționate în capitolul 3.1. și utilizând setul de date ce cuprinde valorile energiei active măsurate la o perioadă de eșantionare de 10 secunde a fost identificat un model matematic de tip ARIMA. Întrucât o cerință foarte importantă a procesului de identificare a unui model este aceea că setul de date folosit pentru validarea modelului identificat să fie diferit față de cel folosit pentru estimare, primul pas a fost împărțirea setului de date disponibil în două seturi diferite: unul pentru estimarea modelului și cel de-al doilea pentru validarea acestuia.

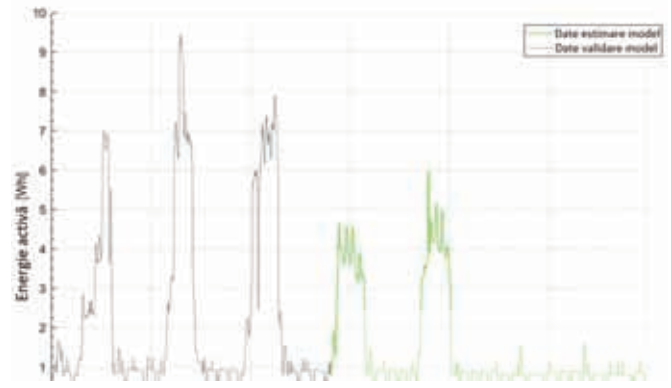


Figura 6. Setul de date utilizat pentru estimarea și validarea modelului ARIMA

Un model din clasa ARIMA este descris de următoarea ecuație:

$$ARIMA[na, nc]: A(z^{-1})y[n] = \frac{C(z^{-1})}{1 - z^{-1}} e[n], \forall n \in \mathbb{N} \quad 3$$

Pentru alegerea indicelui structural optim $n\theta[na, nc]$, s-a folosit o metodă de estimare de tipul 'Prediction Error Method' (PEM), iar criteriul folosit a fost 'Akaike's Final Prediction Error' (FPE). Criteriul de eroare de predicție finală Akaike (FPE) oferă o măsură a calității modelului prin simularea situației în care modelul este testat pe un alt set de date. Conform teoriei lui Akaike, cel mai precis model are cel mai mic FPE.

Criteriul FPE este definit de următoarea ecuație:

$$FPE = V_n \left(1 + \frac{2d}{N - d} \right) \quad 4$$

Unde d este numărul parametrilor estimați, N este numărul valorilor din setul de date de estimare, iar V_n reprezintă funcția de cost. Funcția de cost este definită de următoarea ecuație:

$$V_n = \det \left(\frac{1}{N} \sum_1^N \varepsilon(t, \theta_N) (\varepsilon(t, \theta_N))^T \right) \quad 5$$

Unde $\varepsilon(t)$ reprezintă vectorul erorilor de predicție, iar θ_n parametrii estimați.

Pe baza criteriului menționat mai sus, s-au obținut gradele optime:

$na = 4$, $nc = 3$. Coeficienții polinoamelor asociate modelului sunt:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 - 1,321 z^{-1} + 0,2778 z^{-2} + 0,01317 z^{-3} + 0,04068 z^{-4} \\ C(z^{-1}) &= 1 - 0,39 z^{-1} - 0,692 z^{-2} + 0,1343 z^{-3} \end{aligned} \quad 6$$

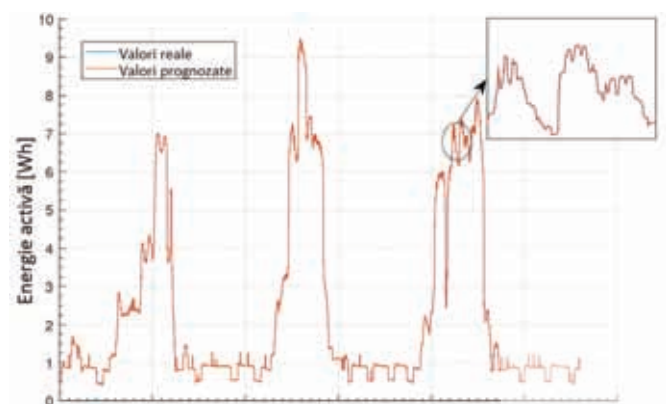


Figura 7. Model ARIMA - rezultatul predicției. Graficul albastru reprezintă datele reale iar graficul roșu datele prezise

4.2 Modelarea ANN de tip NAR

Pentru predicția consumului de energie a fost utilizată o rețea neuronală standard cu două straturi de tip feed-forward, iar pentru formarea rețelei a fost utilizat algoritmul de învățare Levenberg-Marquardt (Levenberg-Marquard Back Propagation - LMBP). Procesul de învățare este controlat de o tehnică de validare încrucișată, care constă în divizarea aleatorie a setului inițial de date în 3 subseturi. Primul subset, care cuprinde 70% din date, a fost folosit pentru instruirea rețelei. Cel de-al doilea subset, care cuprinde 15% din date, a fost folosit pentru validare, iar ultimele 15% au fost utilizate pentru testarea modelului. Pentru modelarea seriei de timp a fost utilizat de asemenea setul de date privind consumul de energie activă pe o perioadă de 7 zile. Numărul de neuroni din stratul de intrare și ieșire a fost ales să fie 10, respectiv 1.

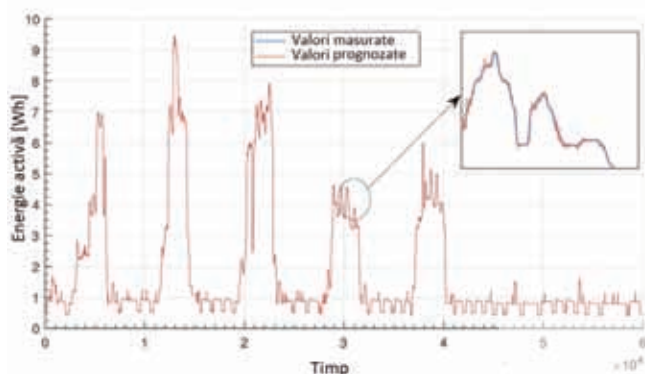


Figura 8. Model NAR - rezultatul predicției. Graficul albastru reprezintă datele reale iar graficul roșu datele prognozate

Calitatea aproximării modelului a fost evaluată prin analiza erorii medii pătrate (Mean Squared Error - MSE) și a coeficientului de corelare între valorile reale specificate în setul de învățare și valorile produse de rețea (R). Valorile MSE pentru seturile de date de învățare, validare și testare sunt: 1.15193×10^{-4} , 8.0697×10^{-5} și 1.06473×10^{-4} , iar valorile R sunt: 0.99983, 0.99988 și 0.99984. Se poate observa că valorile MSE sunt apropiate de 0, iar valorile R sunt apropiate de 1, ceea ce înseamnă că modelul are o bună aproximare.

4.3 Comparația performanțelor celor două modele

În ceea ce privește metodele de evaluare a performanțelor celor două modele, au fost utilizate patru criterii pentru a măsura performanța predicției, și anume: eroare patrată medie (Mean Squared Error - MSE), rădăcina pătrată a erorii medii pătratice (Root Mean Squared Error – RMSE), eroare absolută medie (Mean Absolute Error - MAE) și eroarea medie absolută procentuală (Mean Absolute Percentage Error – MAPE).

Acestea sunt descrise de următoarele formule [2, 15]:

$$MSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{p_i})^2 / n \quad 7$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{p_i})^2 / n} \quad 8$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n |Y_i - Y_{p_i}| / n \quad 9$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |(Y_i - Y_{p_i}) / Y_{p_i}|}{n} \times 100\% \quad 10$$

Unde Y_t și Y_{p_t} reprezintă vectorul valorilor consumului real, respectiv vectorul valorilor prezise, iar n este numărul de valori.

Tip eroare	ARIMA	NAR
MSE	$7,0576 \times 10^5$	1.0871×10^{-4}
RMSE	0.0084	0.0104
MAE	0.0017	0.0027
MAPE	0.1457	0.1887

Tabel 1. ARIMA vs. NAR comparație performanțe

Din tabelul 1, se poate observa că nivelurile de eroare în cazul modelului ARIMA sunt mai scăzute decât în celălalt caz, ceea ce ne conduce la concluzia că modelul ARIMA prezintă o adaptabilitate mai bună și prin urmare, produce și rezultate mai bune.

Astfel, concluzionăm că performanța modelului ARIMA este mai bună decât a modelului NAR în ceea ce privește precizia prognozei folosind MSE, RMSE, MAE și MAPE. Cu toate acestea, eroarea de predicție este foarte mică pentru ambele modele obținute, astfel putem face afirmația că oricare model poate fi utilizat pentru a prezice consumul de energie în perimetrul specificat.

5. Concluzii

În acest studiu, au fost implementate două abordări (rețele statistice și rețele neuronale) de identificare a modelelor pentru seriile de timp. Studiul de față cuprinde rezultatele empirice obținute cu privire la performanțele a două modele ARIMA și NAR în predicția consumului de energie într-un perimetru dat pe o perioadă de timp. Comparația a fost făcută pentru a pune în evidență care dintre cele două metode este mai precisă în contextul prezentat.

Performanța modelului NAR a fost comparată cu cea a modelului ARIMA, care este utilizat frecvent pentru analiza seriilor de timp. Observăm că atât modelul ARIMA, cât și modelul NAR pot obține prognoze bune și pot fi utilizate în mod eficient pentru prognoza consumului de energie. Deși performanța modelului ARIMA este mai bună decât a modelului NAR, fapt observat comparând valorile erorilor de predicție; testul de potrivire a celor două seturi de date prezise cu setul de date cu valori reale măsurate a arătând că nu există diferențe semnificative între valorile reale și valorile prezise ale celor două modele.

În procesul de prognoză, aplicarea principiului parcimoniei este un aspect important pentru a găsi cel mai bun model. În cazul în care unele modele sunt egale din punct de vedere al performanțelor, sunt alese și folosite modelele mai simple în defavoarea modelelor mai complexe. Așadar, modelul ARIMA poate fi considerat modelul mai potrivit față de NAR și datorită simplității structurii sale. În ceea ce privește dezvoltările ulterioare, se putându-se aduce îmbunătățiri modelului de predicție prin combinarea unor metode de predicție, se poate realiza de exemplu un model hibrid care îmbina algoritmi de învățare cu algoritmi de probabilități și statistică.

6. Bibliografie

- [1] Rojas-Renteria J. L. , T. D. Espinoza-Huerta, F. S. Tovar-Pacheco, J. L. Gonzalez-Perez, R. Lozano-, An Electrical Energy Consumption Monitoring and Forecasting System, Engineering, Technology & Applied Science Research Vol. 6, No. 5, ISSN: 2241-4487, 2016, pp. 1130-1132.
- [2] Wei-Chiang Hong, Intelligent Energy Demand Forecasting. Springer-Verlag London, 2013, pp. 21-40.
- [3] Box G.E.P., Jenkins G.M., Time series analysis: Forecasting and Control, 2nd edition. Holden-Day, San Francisco, CA, 1976.
- [4] Vojislav Kecman, Learning and soft computing - support vector machines, neural networks and fuzzy logic models. The MIT Press, Cambridge, MA, 2001.
- [5] Wei-Chiang Hong, Yucheng Dong, Wen Yu Zhang, Li-Yueh Chen and B.K. Panigrahi, Cyclic electric load forecasting by seasonal SVR with chaotic genetic algorithm. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 44, Issue 1, January 2013, pp. 604-614.
- [6] Ping-Feng Pai and Wei-Chiang Hong, Forecasting regional electricity load based on recurrent support vector machines with genetic algorithms. Electric Power Systems Research 74, 2005, pp. 417-425.
- [7] Hai-xiang Zhao and Frederic Magoules, A review on the prediction of building energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, Issue 6, August 2012, pp. 3586-3592.
- [8] R. Mena, F. Rodriguez, M. Castilla and M.R. Arahal, A prediction model based on neural networks for the energy consumption of a bioclimatic building. Energy and Buildings, Vol. 82, October 2014, pp. 142-155.
- [9] Hamid R. Khosravani, Mara Del Mar Castilla, Manuel Berenguel, Antonio E. Ruano and Pedro M. Ferreira, A Comparison of Energy Consumption Prediction Models Based on Neural Networks of a Bioclimatic Building. Energies 2016, Vol. 9, Issue 1, 57.
- [10] Dumitru I., Arghira N., Fagarasan I. and Iliescu S., Process Control Simulator using Programmable Controller Technology. Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Automation Quality and Testing Robotics 17th edition, Vol. 1, pp. 89-93, ISBN 978-1-4244-6722-8/10, 28-30 May 2010, Cluj, Romania.
- [11] Grigore Stamatescu, Iulia Stamatescu, Nicoleta Arghira and Ioana Fagarasan, Sergiu Stelian Iliescu, Innovative Scada Test Bed Infrastructure for Engineering Education and Research. The 10th International Scientific Conference eLearning and software for Education, Bucharest, April 24-25, 2014.
- [12] Xiping Wang and Ming Meng, A Hybrid Neural Network and ARIMA Model for Energy Consumption Forecasting. Journal of Computers, Vol. 7, No. 5, May 2012.
- [13] Abdoulaye Camara, Wang Feixing and Liu Xiuqin, Energy Consumption Forecasting Using Seasonal ARIMA with Artificial Neural Networks Models. International Journal of Business and Management, Vol. 11, No.5, 2016.
- [14] Luis Gonzaga Baca Ruiz, Manuel Pegalajar Cuellar, Miguel Delgado Calvo-Flores and Mara Del Carmen Pegalajar Jimenez, An Application of Non-Linear Autoregressive Neural Networks to Predict Energy Consumption in Public Buildings. Energies 2016, Vol 9, Issue 9, 684.

TALON - ABONAMENT 2018

Revista AUTOMATIZĂRI ȘI INSTRUMENTAȚIE

Prețul abonamentului pentru anul 2018 la revista AUTOMATIZĂRI ȘI INSTRUMENTAȚIE este de **90 RON** + tva (5%) inclusiv taxe de expediție.

Plata se poate face prin ordin de plată în contul Asociației pentru Automatizări și Instrumentație din România - cod fiscal RO 13289718 cod IBAN RO02RNCB0073049975630001 deschis la BCR - sector 2.

Vă rugăm să ne transmiteți la redacție prin fax sau prin poștă datele solicitate mai jos, însoțite de o copie a ordinului de plată (cu ștampila băncii), pentru a vă înregistra ca abonat.

S.C.: _____

Adresa: _____

obiect de activitate: _____

nr. cont: _____

deschis la: _____

nr. înregistrare la Reg. Com.: _____ C.U.I. (Cod fiscal): _____

Tel.: _____ Fax: _____ e-mail: _____

Nr. de abonamente: _____

Nume responsabil (persoană de contact): _____

Funcția: _____

Vă rugăm să ne comunicați:

- Coordonatele dumneavoastră complete (adresa completă, tel., fax, e-mail) și să menționați dacă doriți factură.
- Sugestiile dumneavoastră privind conținutul revistei și dacă doriți să publicați materiale în revistă.

Relații suplimentare la:

Tel/Fax: 021 688 77 80 de luni până vineri între orele 10 - 17.

Adresa Redacției: Str. Irimicului nr. 3, bl. 3, ap 114, sector 2 București 021142

Facilități A.A.I.R.:

- Toți membrii A.A.I.R. persoane juridice, care au cotizația plătită la zi, primesc GRATUIT revista AUTOMATIZĂRI ȘI INSTRUMENTAȚIE.
- Firmelor prezente cu materiale publicitare în revista AUTOMATIZĂRI ȘI INSTRUMENTAȚIE li se oferă o serie de facilități, atât în ceea ce privește adresabilitatea revistei, cât și numărul de reviste obținabile (la cerere, în limita disponibilului)

Tendențe în automatizarea caselor pasive

Mihaela PUIANU¹, Ramona-Oana FLANGEA², Giorgian NECULOIU³, Oana NICULESCU-FAIDA⁴, Mariana MARINESCU⁵, Viorel MARINESCU⁶

¹ Asistent doctorand, Universitatea POLITEHNICA din București, e-mail: mihaelapuianu@gmail.com

² Șef de lucrări, Universitatea Tehnică de Construcții din București, e-mail: grigoriu.oana@gmail.com

³ Șef de lucrări, Universitatea Tehnică de Construcții din București, e-mail: neculoiu.giorgian@gmail.com

⁴ Șef de lucrări, Universitatea Tehnică de Construcții din București, e-mail: oanacarmen2000@yahoo.com

⁵ Profesor, Universitatea Tehnică de Construcții din București, e-mail: mmrinescu54@gmail.com

⁶ Profesor, Universitatea Tehnică de Construcții din București, e-mail: alexandru.viorel.marinescu@gmail.com

1. Casele pasive ca obiect sistemic

Prima "Casă pasivă" a fost construită în 1991 în Darmstadt-Kranichstein, Germania. Acesta a fost rezultatul unui proiect de cercetare menit să minimizeze cererea totală de energie a locuinței optimizând eficiența tuturor componentelor, inclusiv apă caldă menajeră, electricitate auxiliară, aparate și iluminat. În ceea ce privește clădirea, accentul a fost pus pe strategii pasive cum ar fi izolarea, ferestrele de înaltă calitate, etanșeitatea, recuperarea căldurii prin ventilație și evitarea punților termice. [1]

Casa pasivă este o construcție extrem de eficientă din punct de vedere energetic în care climatul interior confortabil poate fi menținut fără a utiliza sisteme active de in-

calzire sau racire. Aceste locuințe sunt încălzite în principal de lumina soarelui, dar, spre deosebire de casele care utilizează panouri solare pentru a o transforma în electricitate, locuințele pasive o captează sub forma de căldură, fiind construite în așa fel încât elimină necesitatea unei centrale, a unui semineu sau a altei surse convenționale de încălzire. Cu consumul redus de energie, casele pasive pot juca un rol important în reducerea încălzirii globale. Încălzirea, cererea este redusă prin măsuri pasive, astfel încât acest tip de clădiri să poată ajunge în punctul în care nu este nevoie de un sistem convențional de încălzire.

Conceptul se bazează pe minimizarea pierderilor de căldură. Proiectarea unei case pasive nu diferă semnificativ de cea a casei

convenționale și cei care trăiesc în această casă nu ar trebui să-și schimbe stilul de viață. Casele pasive asigură o bună lumină naturală din cauza zonelor mari de geam destinate optimizării câștigurilor solare, și poate fi considerat un "mediu sănătos", datorită unei calități foarte bune a aerului. [2]

Pentru realizarea unei case pasive este nevoie să se îndeplinească anumite condiții:

- Consumul de energie pentru încălzire să fie $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$ sau sarcina termică $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$.
- Rata de inflație $\leq 0,6$ ach
- Valori pentru coeficientul de transmisie a pereților $U_{\text{perete}} \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Valori pentru coeficientul de transmisie a ferestrelor $U_{\text{ferestra}} \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Consumul de energie primară $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$

Casele pasive necesită foarte puțină energie pentru încălzire, ventilație și climatizare (HVAC), pentru a obține condiții de confort termic interior. Acest lucru se bazează în principal pe designul lor eficient, prin intermediul unor niveluri ridicate de izolare termică și etanșeitate la aer.

Casele pasive permit economii semnificative în ceea ce privește energia de încălzire și răcire, comparativ cu clădirile tipice contemporane. În mod specific, casele pasive

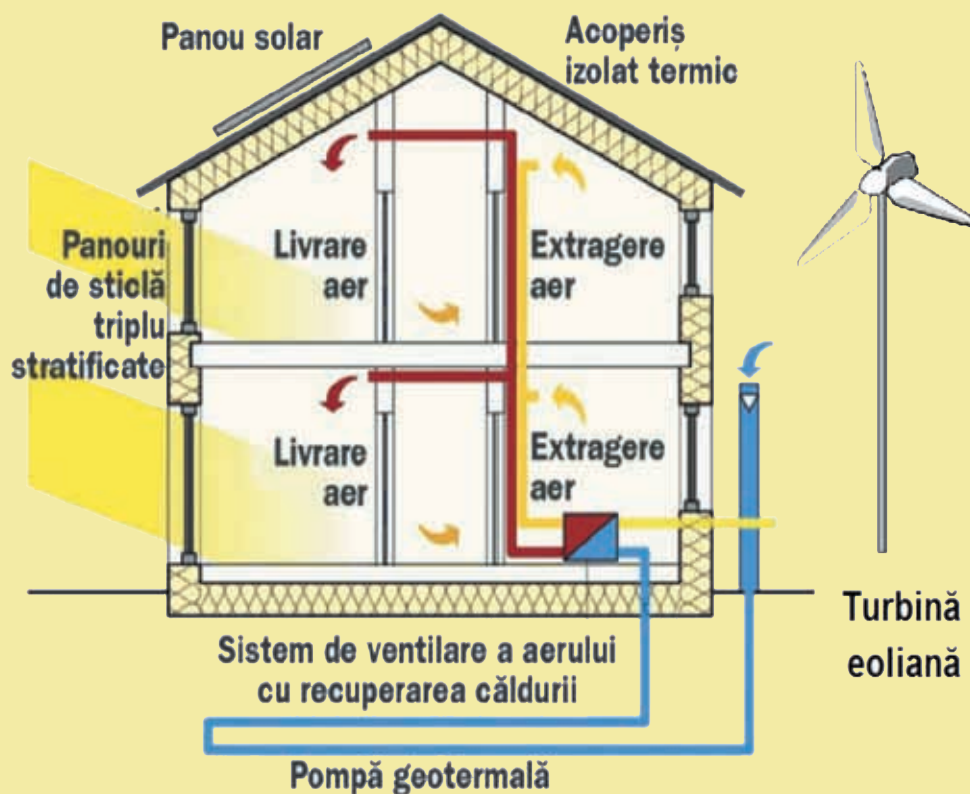


Fig.1. Structura casei pasive

necesită mai puțin de 15 kWh / m²· an pentru încălzire sau răcire, iar sarcina maximă de încălzire sau răcire este limitată la maximum 10W / m². Pentru ca o clădire să fie considerată o clădire pasivă, utilizarea ei convențională de energie primară nu trebuie să depășească 120 kWh / m²· an. Standardul permite temperaturi excesive pentru 10% din perioada de răcire în climă mai caldă [3]. Este de menționat ca noțiunea de casa pasivă reprezintă în principal un standard de construcție care o face eficientă din punct de vedere energetic, al confortului și ecologic în același timp. Prin urmare, casa pasivă reprezintă mai mult decât o clădire cu consum redus de energie.

Casele pasive permit economii de energie la încălzire și răcire de până la 90% în comparație cu clădirea tipică de clădiri și peste 75% în comparație cu construcțiile medii noi. Casele de locuințe pasive sunt, de asemenea, lăudate pentru nivelul ridicat al confortului. Ei folosesc surse de energie în interiorul clădirii, cum ar fi căldura corporală a locuitorilor sau căldură solară care intră în clădire - făcând încălzirea mult mai ușoară.

2. Necesitatea sistemelor automate în casele pasive

Un sistem este un ansamblu de obiecte delimitat de mediul înconjurător printr-o supra-

față reală sau imaginară, ansamblu ale cărui elemente se află în interacțiune și servesc îndeplinirii unui anumit obiectiv. [4]

Conceptul de sistem a apărut de-a lungul timpului ca rezultat al evidențierii unor trăsături și componente comune pentru o serie de procese și fenomene din diferite domenii, fapt ce a permis tratarea acestora, din punct de vedere structural-funcțional, într-un mod unitar, sistemic.

Sistemul constă, deci, pe de-o parte din elemente (care ele însele pot fi sisteme, așa-numite "subsisteme") și pe de altă parte din relații între elemente și relații cu mediul exterior. Dacă se cunosc elementele sistemului și relațiile între acestea, atunci se poate spune că se cunoaște sistemul și comportarea sa.

Sistemele automate sunt sisteme tehnice de supraveghere, comandă și control al proceselor și instalațiilor tehnologice, fără intervenția directă omului.

Un sistem automat este alcătuit din două părți principale: procesul de automatizat și dispozitivul de automatizare.

În mod evident, acoperirea energiei într-o casa pasivă se face utilizând mai multe soluții posibile, unele dintre ele cum ar fi pilele de combustie având rolul de back-up în perioadele în care soluțiile obișnuite – eoliană și solară- sunt deficitare datorită unor con-

diții meteorologice nefavorabile pe termen lung. Celulele de combustie transformă hidrogenul (resursa secundară a energiei) în energie electrică, hidrogenul este produs electrolitic în sistem prin exploatarea surselor regenerabile locale disponibile, astfel încât stocarea energiei electrice produse din surse primare este asigurată de hidrogen. Performanța generală a sistemelor hibride de energie este influențată în mod direct de disponibilitatea caracteristicilor specifice de energie regenerabilă - geotopografică a șantierului. Cu toate acestea, configurația optimă a echipamentelor componente care alcătuiesc aceste sisteme depind de disponibilitatea surselor regenerabile, dar depind și de cererea de energie a clădirii.

Casa pasivă este un concept de construcție durabil, care oferă clădiri accesibile, de înaltă calitate, precum și condiții de viață confortabile și sănătoase. Iar principiile sale sunt destul de ușor de înțeles:

Pe măsură ce clădirile mai noi sunt din ce în ce mai etanșe la aer, ventilația prin îmbinări și fisuri nu este suficientă pentru a asigura aerul interior în stare proaspătă. Aerul proaspăt nu este doar o chestiune de confort, ci o necesitate pentru o viață sănătoasă - Calitatea aerului interior (IAQ) este obiectivul de bază al performanței. Sistemele de ventilație sunt, prin urmare, tehnologia-che-

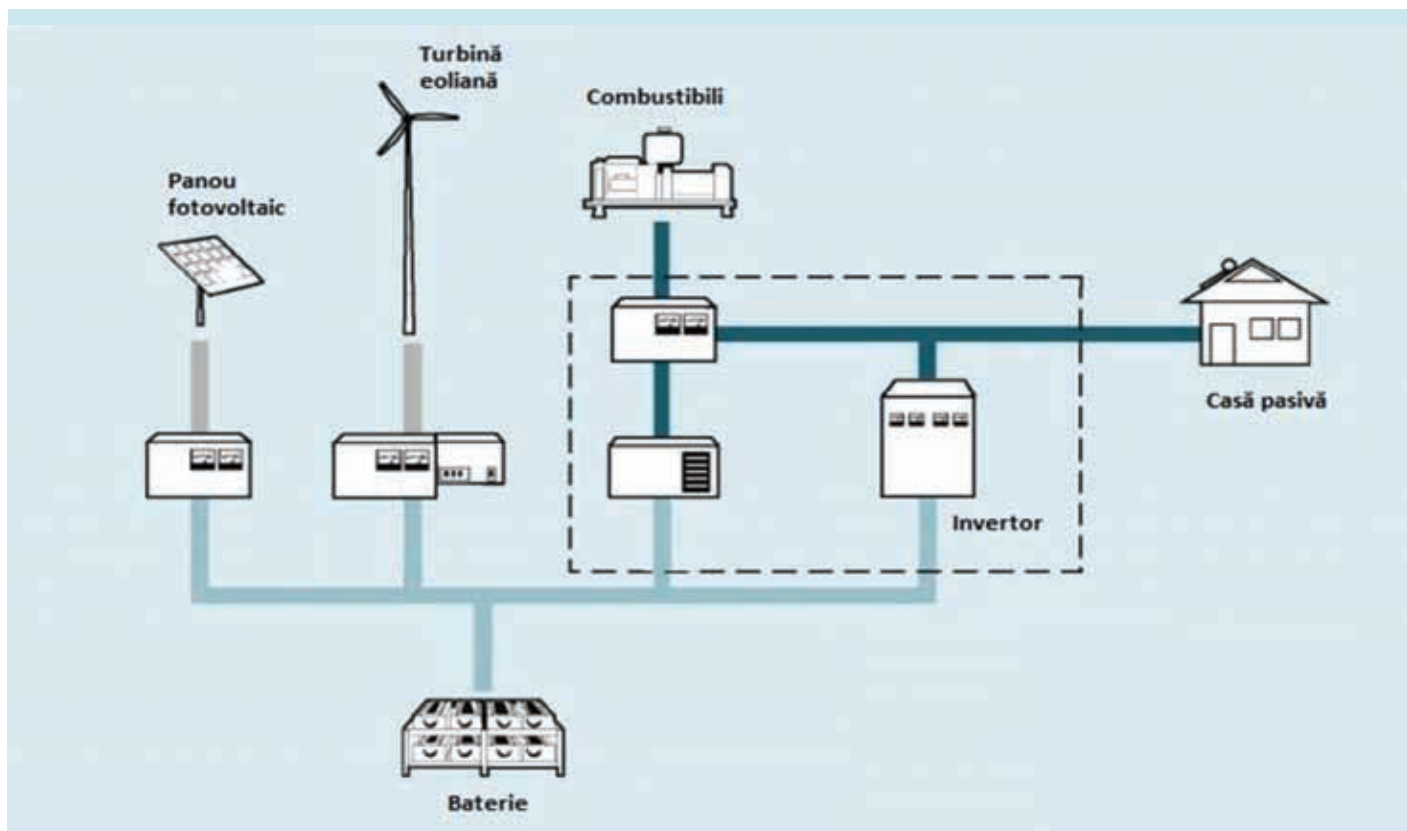


Fig. 2. Sistem hibrid pentru o casă pasivă

	2001	2010	2020	2030	2040
Total consumption (million tons oil equivalent)	10.038	10549	11.425	12352	13310
Biomass	1080	1313	1791	2483	3271
Large hydro	22.7	266	309	341	358
Geothermal	43.2	86	186	333	493
Small hydro	9.5	19	49	106	189
Wind	4.7	44	266	542	688
Solar thermal	4.1	15	66	244	480
Photovoltaic	0.1	2	24	221	784
Solar thermal electricity	0.1	0.4	3	16	68
Marine (tidal/wave/ocean)	0.05	0.1	0.4	3	20
Total RES	1365.5	1745.5	2964.4	4289	6351
Renewable energy source contribution	13.6	16.6	23.6	34.7	47.7

Tabelul 1. Scenariu de creștere a utilizării SRE

ie pentru toate viitoarele clădiri rezidențiale și pentru renovări.

Chiar dacă sistemele de ventilație necesită o investiție suplimentară pentru a începe cu acestea, acestea vor duce la economisirea unor cantități considerabile de energie, cu condiția ca acestea să fie sisteme foarte eficiente. Sistemele de ventilație de calitate ale Casei Pasive vor reduce costurile de funcționare ale oricărei clădiri.

Acest concept de "încălzire a aerului furnizat" funcționează numai în clădiri izolate corespunzător - adică în case pasive. În termeni de expert: sarcina de încălzire prin transmisie și infiltrare trebuie să fie mai mică de $10 \text{ W} / \text{m}^2$ pentru a se asigura căldura necesară furnizată de aerul de alimentare.

Ținând seama de efectele asupra mediului pe care le are producerea energiei, un consum mai mic înseamnă un grad mai mic de poluare precum și o durată mai mare de utilizare a resurselor naturale neregenerabile.

O casă poate fi considerată pasivă dacă îndeplinește următoarele criterii:

- în interiorul casei se obține un climat confortabil fără utilizarea unui sistem separat de încălzire sau a unui de aer condiționat; pentru a obține temperatura necesară pe tot parcursul anului nu se va utiliza o cantitate de energie pentru încălzire/răcire mai mare de $15 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{an})$.
- confortul termic trebuie obținut pentru

toată suprafața locuibilă, atât în timpul iernii cât și în timpul verii. [5]

3. Sisteme hibride în casele pasive

Un anumit tip de sistem dinamic poate fi considerat sistem hibrid dacă și numai dacă abordarea sa nu intră în zona unui sistem variabil continuu sau cu evenimente discrete, fără a ignora fenomenele importante care rezultă din combinația dintre mișcările discrete și continue ale acestui sistem. [6]

Din punct de vedere teoretic, definirea domeniului sistemelor hibride prin colectarea diferitelor tipuri de sisteme sau modele nu este satisfăcătoare. Este important de știut de ce trebuie definită o nouă clasă de sisteme hibride, deoarece acest lucru clarifică noutatea fenomenelor dinamice care trebuie investigate și necesitatea dezvoltării de noi concepte, metode și instrumente. [6] O definiție a sistemului hibrid este dată de J. Lunze [6], și anume: „Un sistem hibrid este un sistem dinamic care nu poate fi reprezentat și analizat cu o precizie suficientă prin metodele sistemelor continue sau prin metodele sistemelor discrete”.

Sistemele energetice hibride sunt proiectate pentru generarea și utilizarea energiei electrice. Acestea sunt independente de o grilă centralizată de distribuție a energiei electrice și încorporează mai mult de un tip de sursă de energie. Sistemele energetice hibride pot va-

ria în funcție de dimensiunile rețelelor, de la megawați la kilowați pentru surse individuale de alimentare de uz casnic. [7]

Sistemele energetice hibride pot fi utilizate eficient în sisteme izolate geografic departe de sistemele electroenergetice clasice. În anumite situații surplusul de energie obținut poate fi injectat într-un sistem electroenergetic interconectat dacă distanțele între cele două sisteme nu este prea mare. [7]

Un sistem hibrid pentru casele pasive ar putea include pe lângă sursele clasice de energie (combustibili fosili, energie nucleară) și surse suplimentare de energie, cum ar fi sursele de energie regenerabile (panouri fotovoltaice, turbine eoliene), precum și surse de stocare a energiei. [7]

4. Trecerea de la sisteme clasice de alimentare cu energie la sistemele cu energie regenerabilă

În ultimii ani s-a remarcat un mare progres în domeniul energiei regenerabile. Utilizarea de surse regenerabile de energie (SRE) oferă multiple avantaje în diverse domenii ca agricultura, transportul și industria, în vederea gestionării consumului de energie.

În zilele noastre accentul fiind pus pe agricultura ecologică, utilizarea de SRE poate fi răspunsul pentru diferite situații. Necesitatea de energie electrică din ultimii ani a dus la construirea de case pasive, de-

oarece dispozitivele caznice consumă din ce în ce mai mult și cu ajutorul energiei regenerabile se poate atinge consumul total din locuință.

În tabelul 1 se va prezenta un scenariu de creștere a utilizării de SRE [8]:

Sursele regenerabile de energie (SRE) alimentează 14% din cererea de energie mondială. SRE include biomasa, hidroenergia, energia geotermală, solară, eoliană și marină. Sursele regenerabile sunt resurse energetice primare, interne și curate sau inepuizabile. Energia eoliană este o sursă de energie promițătoare în regiunile de coastă și cele cu vânt puternic. SRE sunt denumite și surse de energie alternativă. În următorii ani se așteaptă o creștere între 30-80% a utilizării de SRE [9].

5. Concluzii

Energia electrică este și va rămâne un element esențial pentru orice economie în dezvoltare, în condițiile în care sursele convenționale de energie sunt finite și se epuizează rapid. Și aceasta în condițiile în care problemele de poluare ale planetei sunt din ce în ce mai critice coroborat cu diminuarea până la restricție a energiei produse din surse convenționale. [10].

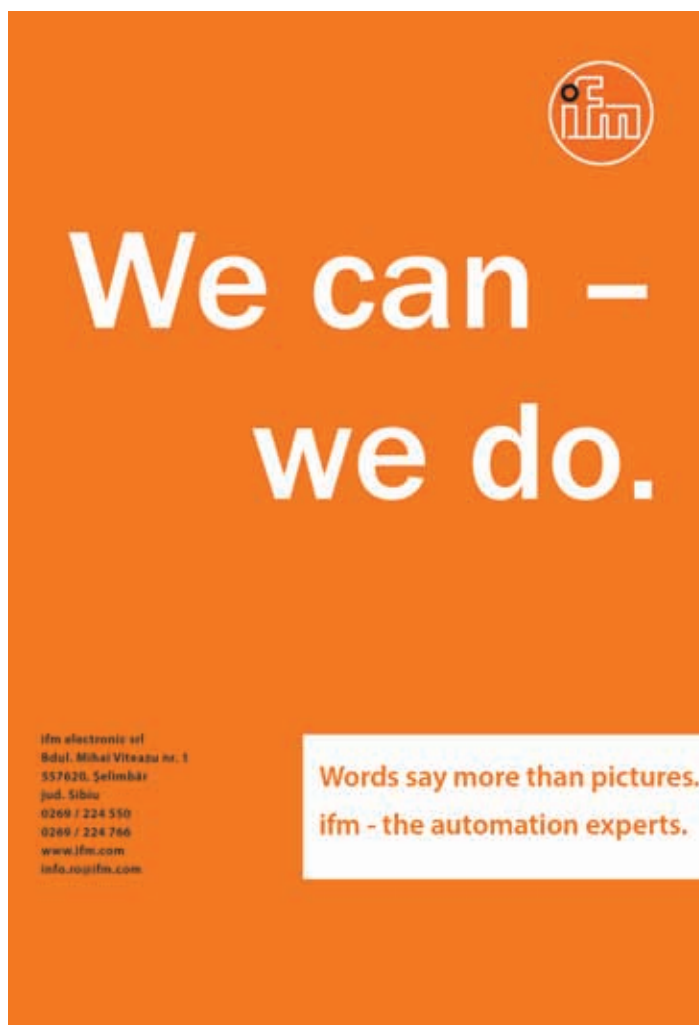
În concluzie, lucrarea pune accent pe tendințele în automatizarea caselor pasive și anume: utilizarea sistemelor automate bazate pe surse convenționale de energie (combustibili fosili, energie nucleară) sau surse regenerabile de energie (energie solară, energie eoliană) și utilizarea sistemelor energetice hibride care înglobează mai multe tipuri de surse de energie, atât clasice cât și surse regenerabile de energie.

Sistemul energetic hibrid prezentat anterior, utilizează panouri fotovoltaice și turbine eoliene și are prevăzut un sistem de stocare a energiei electrice. Simularea acestui sistem automat a fost efectuată de către autori, în Matlab/Simulink și au fost propuse diverse scenarii pentru a obține performanțe tranzitorii mai bune pentru sistem [11].

Un sistem termic pentru o seră care utilizează colectoare solare a fost dezvoltat de către autori în [12]. Sistemul global alcătuit din seră și colectoare solare a fost dezvoltat și modelat în Matlab/Simulink și diferite metode de reglare au fost aplicate sistemului: metode clasice de reglare (P/PI/PID), metode inteligente (FUZZY) și metode de optimizare (metoda gradientului).

Referințe

- [1] J. Schnieders, W. Feist, L. Rongen, "Passive Houses for different climate zones", Energy and Buildings 105 (2015) 71-87
- [2] C. Tiberiu, "Thermal comfort analysis in a passive house using dynamic simulations", Revista Română de Inginerie Civilă, Volumul 4 (2013), Numărul 3, Matrix Rom
- [3] P.A. Fokaides, E. christoforou, M. Ilic, A. Papadopoulos, "Performance of a Passive House under subtropical climatic conditions", Energy and Buildings 133 (2016) 14-31
- [4] http://www.passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm
- [5] http://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm
- [6] J. Lunze, Modelling, Analysis and Design of Hybrid Systems, Springer, 2002.
- [7] http://www.cres.gr/hypos/files/fs_inferior01_h_files/definition_of_hps.htm
- [8] I. Kralova, J. Sjöblom, "Biofuels - renewable energy sources: a review" Journal of Dispersion Science and Technology, 2010, pp. 409-25.
- [9] I.B. Fridleifsson, "Geothermal energy for the benefit of the people", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2001, pp. 299-312.
- [10] O.I. Okoro, T.C. Madueme. "Solar energy: a necessary investment in a developing economy", International Journal of Sustainable Energy, 2006; pp. 23-31.
- [11] M. Puianu, Flangea R-O., N. Arghira, S.S. Iliescu, "Microgrid simulation for smart city", IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing System Tehnology and Application, Bucuresti, septembrie 2017.
- [12] R-O. Grigoriu, A. Voda, N. Arghira, V. Calofir, S.S. Iliescu, "Temperature Control of a Greenhouse Heated by Renewable Energy Sources", articol publicat în volumul Conferinței ACEMP-OPTIM (Aegean Conference Machines and Power Electronics - Optimization of Electrical & Electronic Equipment - IEEE), pp. 494-499, Turcia, 2015, ISBN: 987-1-4763-7239-8.



ifm electronic srl
Bdul. Mihai Viteazu nr. 1
557620, Selimbăr
jud. Sibiu
0269 / 224 550
0269 / 224 766
www.ifm.com
info.ro@ifm.com

Words say more than pictures.
ifm - the automation experts.



AER For quality power

TGD For reliable power

SPC For smart power

BEE SPEED Automatizări

Committed to Smart Process Control

Suntem un colectiv de specialiști în Sisteme inteligente de acționări electrice cu turație variabilă, tablouri electrice de distribuție, sisteme de automatizare și optimizare a proceselor industriale, sisteme de monitorizare și dispecerizare SCADA în aplicații tehnologice, inclusiv pentru stații de tratare apă.

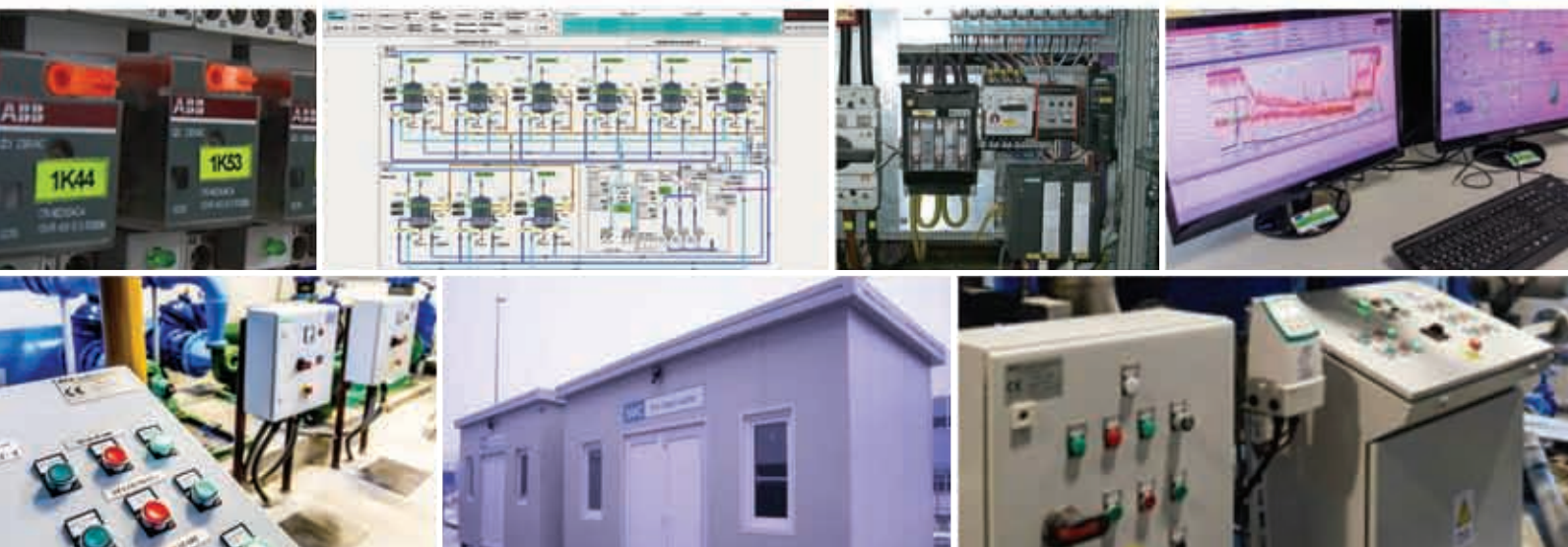
Complementar, oferim servicii de inginerie pentru mentenanță preventivă și service pentru echipamente electrice, expertiză și consultanță tehnică, studii de fezabilitate, proiectare cu realizare de prototipuri, asistență tehnică la punerea în funcțiune.

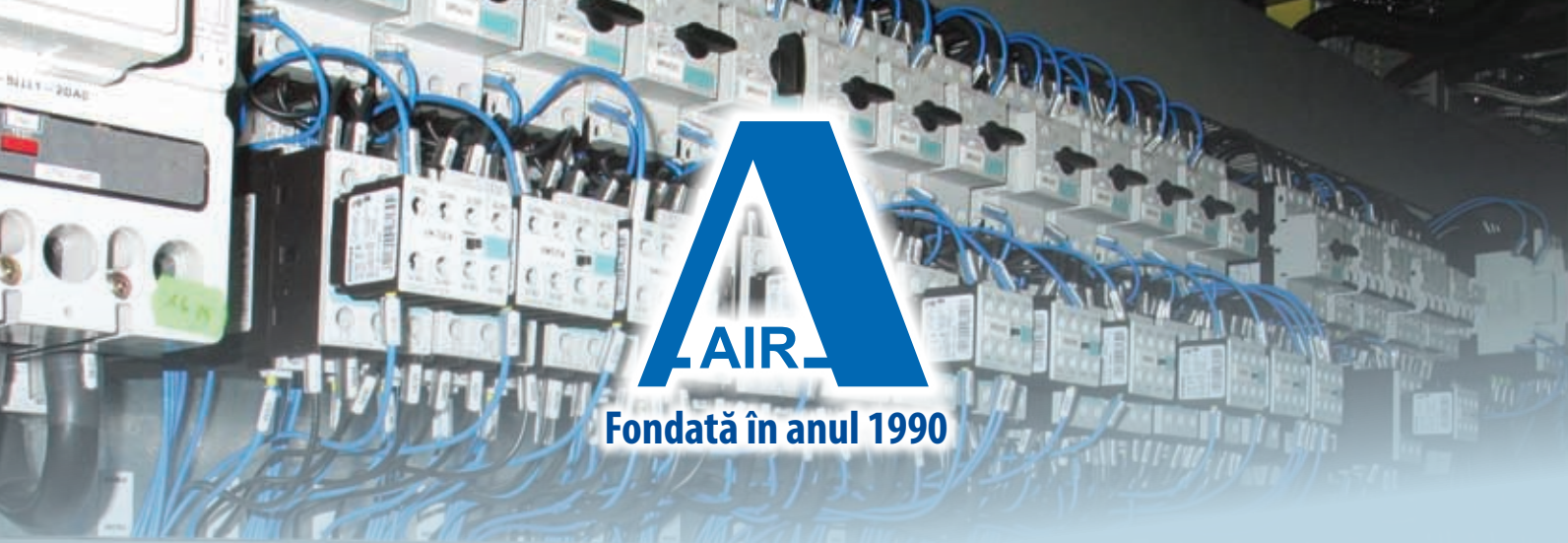
tel./fax: +40 256 204402

www.beespeed.ro

SMC For clean water

REGEN For green power





Fondată în anul 1990

Asociația pentru Automatizări și Instrumentație din România

Asociația națională, profesională și autonomă,
tribună și liant între specialiștii din România din domeniile:

- | automatizări | măsurări (industriale și de laborator) |
- | acționări (electrice, pneumatice și hidraulice) |
- | achiziție/procesare - transmitere date | software industrial | roboți |
- | educație și transfer de cunoștințe privind automatizările |



Editează revista

AUTOMATIZĂRI ȘI INSTRUMENTAȚIE

Fondată în anul 1991

Prima revistă de profil din România

www.aair.org.ro