

# SOLUȚII INOVATIVE PRIVIND EFICIENTIZAREA CONSUMULUI ENERGETIC ÎN DOMENIUL REZIDENȚIAL

**Cătălin Scarlat**  
catalin\_scarlat@yahoo.com

**Tudor-George Alexandru**  
alexandru\_tudor\_imst@yahoo.com

Universitatea Politehnica din București,  
Facultatea IMST

**Rezumat:** Dezvoltarea tehnologiilor din domeniul TIC a dus de la sine la apariția unor paradigme care au remodelat, în ultimii 20 de ani, modul în care informația este preluată, stocată și utilizată. Limitele de conectare a dispozitivelor au crescut, de unde și posibilitatea ca acestea să realizeze un schimb liber de informații între ele, fără a mai fi necesare protocoale sau interfețe intermediare. În acest fel, a apărut paradigma "Internetul obiectelor" (Internet of Things). Pe lângă posibilitățile de a cerceta cauzele și efectele unor probleme globale, paradigma poate fi extinsă și în domeniul domestic. Lucrarea prezintă o abordare asupra conceptului de locuință inteligentă (Smart Home), luând în considerare tehnologiile inovative existente și cum acestea duc la reduceri substanțiale ale consumului casnic de energie. Se prezintă o serie de aspecte teoretice și posibilitatea reală de a integra o astfel de soluție în locuințe, demonstrată la finalul lucrării pe bază de prototipuri virtuale.

**Cuvinte cheie:** Smart Home, Internet of Things, senzori, prototip virtual.

**Abstract:** The development of the technologies for ITC domain led to the emergence of paradigms that, in the last 20 years, have redesigned the way in which information is retrieved, stored and used. The increasement of the connection limits of the devices led to the possibility of achieving a free exchange of information between them, without the necessity of protocols or interfaces. In this way, the paradigm "Internet of Things" has appeared. Besides the possibilities to investigate the causes and effects of global problems, this paradigm can be extended to the domestic field. This paper presents the concept of a Smart Home taking into account existing innovative technologies and how they lead to substantial reductions in domestic energy consumption. It presents a series of theoretical aspects and the real possibility of integrating such solutions in the house. This is demonstrated at the end of the paper-based on virtual prototypes.

**Key Words:** Smart Home, Internet of Things, sensors, virtual prototypes.

## 1. Introducere

Termenul de *locuință inteligentă (Smart Home)* poate fi înțeles ca locuința echipată cu dispozitive care asistă utilizatorul în activitatea casnică de rutină pe toată durata zilei. Această abordare conduce la reducerea consumului de energie și creșterea confortului, asigurându-se, totodată, și un mediu sănătos prin posibilitatea utilizării de servicii proactive [1]. Soluțiile de reglare folosite presupun observarea utilizatorului pentru a realiza un profil al acestuia în concordanță cu factori externi locali - precum consumul regional de energie - [2], globali - precum evoluția condițiilor meteo - [3] sau mixti - precum corelarea unor acțiuni locale cu impact global [4].

Pentru a susține astfel de soluții, sunt necesare infrastructuri informaționale complexe. Acestea au trei roluri semnificative: preluarea informațiilor din mediul casnic, transmiterea informațiilor la un dispozitiv de procesare și asigurarea unui răspuns la ieșire pe baza fluxului multimodal de date. Astfel de infrastructuri informaționale includ rețele compuse din senzori care fac schimb de informații cu dispozitivele de procesare a datelor. În funcție de tipul datelor de intrare, senzorii utilizați pot fi binari (spre exemplu, pentru certificarea prezenței unui obiect într-un spațiu), de tip video (senzor binar în combinație cu o cameră video care poate identifica anumite tipare, spre exemplu numărul de persoane dintr-un spațiu), meteo (spre exemplu barometrice, de temperatură, de umiditate), medicali (de exemplu, senzori binari atașați pe îmbrăcămintea utilizatorului pentru monitorizarea bătăilor inimii), de sunet (de exemplu, reglarea debitului de apă din rezervorul toaletei pe baza numărului persoanelor care se odihnesc în dormitor) [5].

Variantele optime de Smart Home impun înlocuirea soluțiilor existente (spre exemplu înlocuirea comutatorului de lumină cu un senzor de prezență) sau atașarea senzorilor pentru monitorizarea / reglarea elementelor de infrastructură casnică deja existente (spre exemplu senzori de presiune instalați la nivelul conductelor de apă [6]). Înafara aspectului funcțional, aspectul

estetic și ergonomic au un rol decisiv în a determina utilizatorul să adopte soluții inovative. Cu cât gradul de complexitate crește, cu atât atracția consumatorilor spre înlocuirea sistemelor convenționale scade.

Lucrarea este structurată în trei capitole:

- *stadiul actual*: se prezintă literatura de specialitate din domeniul abordat;
- *aspecte teoretice*: complexitatea unui sistem Smart Home este explicată schematic. Se realizează un exemplu de corelare a parametrilor funcționali în vederea eficientizării încălzirii locuințelor;
- *prototip virtual*: îngobarea tehnologiilor Smart Home într-un studiu de caz, pe baza unor prototipuri virtuale. Soluția prezentată nu presupune modificări majore în infrastructura locuinței, fiind deci o soluție atractivă;
- *concluziile* sunt prezentate la finalul lucrării.

## 2. Stadiul actual

O serie de articole și cărți au fost publicate din anul 2000 până în prezent, subiectul fiind relativ nou. Prima cercetare comercială privind realizarea unei locuințe inteligente a fost realizată de compania Orange în anul 2001. Scopul cercetărilor a fost acela de a integra tehnologii wireless în asistarea utilizatorului. Concluziile au fost publicate 2 ani mai târziu și au servit ca referință pentru viitoarele abordări [1].

Odată cu evoluția sistemelor de telemonitorizare folosite în industria medicală, o importanță sporită a fost acordată integrării conceptului Smart Home cu sisteme de monitorizare a stării persoanelor vârstnice sau care suferă de boli cronice [7].

În paralel cu dezvoltarea sistemelor informaționale, s-au dezvoltat o serie de tehnologii de transmitere a datelor în Smart Home (de exemplu, ZigBee, Z-Wave sau Insteon) [8], scopul lor fiind acela de a reduce timpul de răspuns dintre emitor și receptor, asigurând redundanța sistemului informatic.

Performanțele unui sistem Smart Home sunt afectate semnificativ de posibilitatea acestuia de a achiziționa și de a prelucra un volum cât mai mare de informații într-un timp cât mai scurt. Se pune accentul pe fiabilitatea sistemului de a fi personalizat pentru nevoile cumpărătorului și de a îngloba tehnologie hardware și software care să asigure totodată și securitatea transferului de date [9].

Eliminarea multiplelor protocoale de realizare a schimbului de date și a necesității de stocare a informațiilor la nivel local a fost asigurată prin integrarea conceptelor Smart Home cu Internet of Things. În acest fel, controlul se asigură prin prelucrarea datelor în cloud, interogarea informațiilor fiind posibilă prin servicii Web [10].

O interconectare a soluțiilor de tip Smart Home cu soluții de tip Smart Grid este prezentată în lucrarea [11]. Abordarea presupune folosirea instrumentelor de măsură inteligente în locuințe pentru a monitoriza energia produsă prin metode independente de rețeaua electrică (spre exemplu energia obținută prin panouri solare) și energia consumată de la rețeaua națională în raport cu costurile raportate, încărcarea rețelei, prioritatea consumatorilor și altele. Apare în acest fel noțiunea de infrastructură casnică inteligentă, care include, înafara funcțiilor de reglare, funcții de monitorizare și eficientizare energetică.

Lucrarea de față prezintă schematic dispozitivele hardware și software folosite în Smart Home, pe baza interacțiunii lor cu o soluție cloud. Rigiditatea utilizatorilor față de nou reduce semnificativ numărul de dispozitive Smart Home posibil a fi integrate într-o locuință. Soluțiile atractive devin acelea care se integrează cu soluții existente în locuințe (spre exemplu conectarea dintre sistemul de comandă Smart Home și un termostat electronic sau înlocuirea dispozitivelor de reglare a temperaturii apei cu dispozitive automate). O astfel de soluție este prezentată în lucrare pe bază de prototipuri virtuale.

### 3. Aspecte teoretice

#### 3.1 Provocări ale locuințelor inteligente

Locuințele inteligente reprezintă un complex hardware și software care înglobează tehnologia necesară asistării utilizatorilor pe parcursul activităților casnice. Totalitatea dispozitivelor integrate realizează un schimb de informații în mod continuu cu mediul casnic și cu utilizatorii cu scopul de a recunoaște anumite tipare. Dacă soluțiile inteligente au fost adoptate în sectoarele industriale cu ani în urmă, preluarea acestor concepte pentru a fi introduse din mediul industrial în mediul casnic reprezintă o provocare. Clasificarea și cuantificarea preferințelor indivizilor este dificilă. Pentru a rezolva acest impediment, primele variante de sisteme Smart Home funcționau prin achiziționarea directă a informațiilor de la utilizator. Spre exemplu, pentru a obține un optim al temperaturii într-un spațiu de locuit, utilizatorul trebuia să răspundă la un șir de întrebări: La ce oră se va trezi?; Cât timp îi trebuie pentru a se pregăti pentru serviciu?; Care este prognoza meteo pentru ziua respectivă?; La ce oră se va întoarce utilizatorul acasă?. Într-un astfel de sistem, datele de intrare sunt 4, la ieșire obținându-se reglarea temperaturii dorite. Randamentul unei asemenea soluții este de 25%, numărul datelor de intrare necesare de la utilizator fiind mai multe decât datele de ieșire.

$$\eta = \frac{Iesire}{Intrare} \cdot 100 = \frac{1}{6} \cdot 100 = 25\% \quad (1)$$

#### 3.2 Conceptul hardware și software

În concepția modernă, dispozitivele care compun un sistem Smart Home se caracterizează printr-un număr minim de date de intrare și un număr maxim de date de ieșire. Dezvoltarea algoritmilor de inteligență artificială face posibilă clasificarea datelor de intrare pentru a realiza un profil al utilizatorului. Datele de intrare sunt achiziționate în mod automat, fiind ulterior stocate și prelucrate pentru a oferi un răspuns la ieșire. Se realizează, în acest fel, funcția de anticipare a unor evenimente și se iau măsuri preventive de reglare în mod automat. Dispozitivele utilizate pentru comanda și reglarea parametrilor funcționali realizează un schimb continuu de informații (vezi Figura 1).

La baza conceptului se află un sistem central de comandă. Acest sistem este responsabil cu achiziționarea datelor interoceptive de la utilizator și interpretarea acestora pe baza schimbului de informații dintre senzorii interni și externi. Cum reglarea parametrilor poate fi sensibilă la informații exteroceptive, sistemul central comunică cu alte sisteme similare din vecinătate prin intermediul protocoalelor de internet. Având de a face cu un volum mare de date stocaste, posibilitățile de interpretare și recunoaștere a șabloanelor sunt extinse prin stocarea diverselor informații în baze de date cloud. Cu acordul utilizatorilor, aceste informații sunt studiate în scopuri de cercetare și inovare. Periodic, furnizorii asigură actualizări software pentru a preîntâmpina dificultățile apărute pe parcursul operării.

Complexul hardware care asigură răspunsul de reglare pe baza comenzilor software (vezi Figura 2) se compune din sisteme electrice, electronice și electromecanice. În funcție de gradul de automatizare al locuinței, se disting o serie de instrumente dedicate:

- *servosisteme electrice* pentru acționarea jaluzelelor în funcție de luminozitatea interpretată de sistemul de comandă pe baza informațiilor de la senzori interni / externi locuinței;
- *servosisteme electromecanice* pentru reglarea debitului și / sau presiunii fluidelor pentru sistemele de încălzire sau de furnizare a apei calde menajere;
- *sisteme electronice* de reglare a circuitelor de ventilare pe baza relațiilor dintre temperaturi interpretată de la senzori interni /externi /internet de sistemul de comandă.

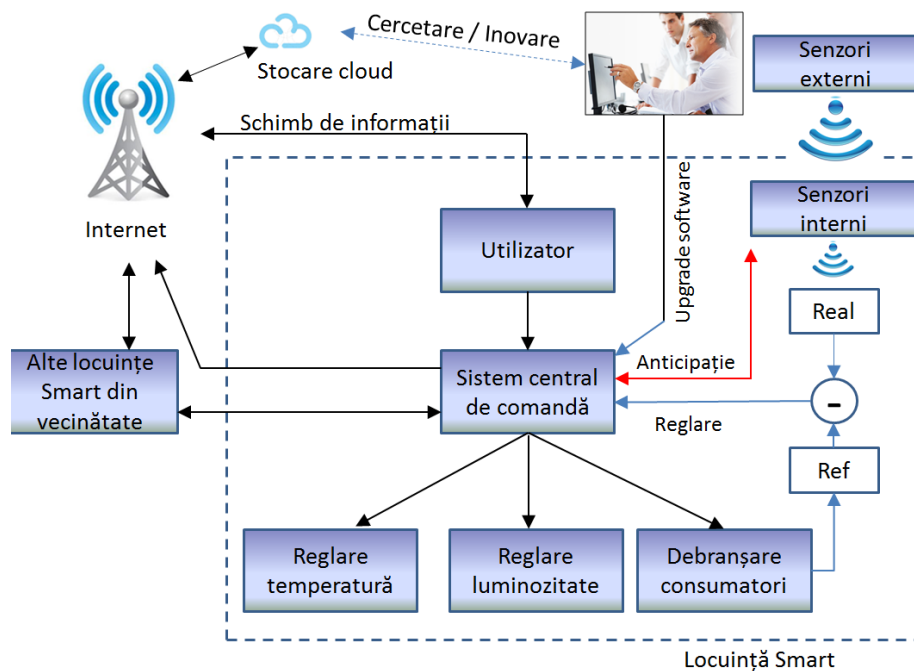


Figura1. Schimbul de informații dintre o locuință Smart și exteriorul

### 3.2 Smart Home în viziunea reducerii consumului de energie

Într-o locuință, există permanent pierderi și câștiguri termice [12]:

- *câștigurile termice* provin de la sistemul de încălzire, căldura solară sau pot fi câștiguri interne obținute prin utilizarea echipamentelor electronice sau electrocasnice sau din căldura cedată de corpul persoanelor din casă;
- *pierderile termice* pot avea loc prin conducție prin pereți (35%), ferestre (15%), uși (5%), podea (10%), fie prin ventilație (15%).

Valoarea medie a acestora este de aproximativ 200 kWh/m<sup>2</sup> pe an.

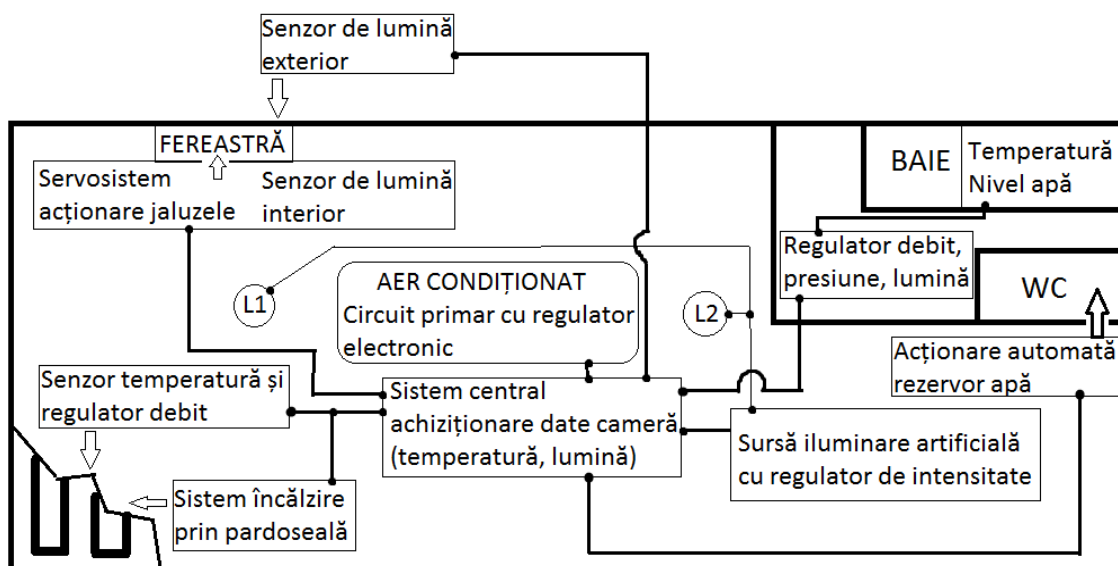


Figura 2. Complexul hardware dintr-o locuință inteligentă

Bazându-se pe datele furnizate de un mix de case din Europa [12], în Figura 3 se prezintă câștigurile și pierderile termice tipice pentru o casă europeană.

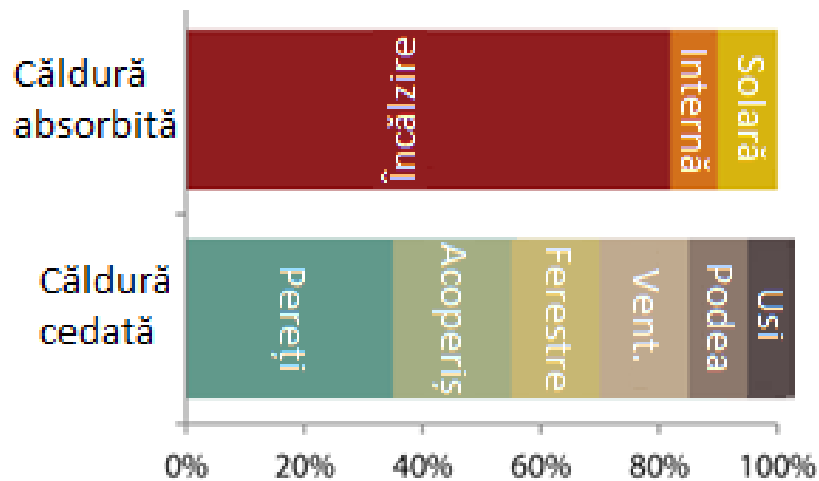


Figura 3. Câștigurile și pierderile tipice dintr-o casa europeană

Pierderile termice prin pereți, ferestre, uși, tavan, podea, etc. pot fi calculate, de exemplu, astfel:

$$H_t = A \cdot U(t_i - t_0) \quad (2)$$

Pierderile termice prin acoperiș trebuie mărite cu 15% datorită schimbului de căldură prin radiație în spațiu. Ecuația (2) poate lua forma (3):

$$H = 1.15 \cdot A \cdot U(t_i - t_0) \quad (3)$$

Pentru pereții și podeaua de la parter, (2) trebuie modificată ținând cont de temperatura solului:

$$H = A \cdot U(t_i - t_e) \quad (4)$$

Din cele prezentate mai sus, se observă o strânsă relație între factori interni, care țin cont de construcție, și factori externi, care țin cont de căldura solară, temperatura solului și altele. Integrarea unui sistem de telemonitorizare împreună cu sistemul central de comandă Smart Home, permite extinderea capacităților de reglare continuă a temperaturii din locuință. Achiziția de date de la senzori, corelarea parametrilor de reglare cu date privind câștigurile și pierderile termice duc la maximizarea capacităților de anticipație. Înafara confortului, se realizează și economii substanțiale de energie. Costurile scad și performanțele cresc pe măsură ce sistemul își extinde capacitățile de clasificare a informațiilor și de corelare a parametrilor.

## 4. Prototipuri virtuale

### 4.1 Prezentarea modelului propus

Prototipul realizat este o reprezentare a unei locuințe moderne în care s-au înlocuit metodele tradiționale de control a sistemelor energetice (temperatură, lumină, apă), cât și a celor multimedia cu un sistem centralizat de achiziție de date și stocare a acestora la nivel cloud. Conceptul este orientat către funcționalitate, simplitate și design ergonomic (vezi Figura 4).

Dispozitivele au fost integrate la un nivel cât mai discret. Spre exemplu, elementele convenționale de reglare precum întrerupătoarele, bateriile sanitare și teleoperarea clasică au fost înlocuite cu o rețea de senzori de prezență, lumină, temperatură și nivel de apă. O astfel de înlocuire nu presupune remodelarea totală a unei locuințe existente sau supra-aglomerarea spațiului de locuit cu dispozitive. Noile dispozitive trebuie să aibă posibilitatea fie de a fi montate împreună cu soluțiile de reglare existente, fie în locul acestora fără a incomoda utilizatorul sau fără a dăuna aspectului estetic.



**Figura 4. Prototip virtual: vedere de ansamblu camera de zi**

În vederea creșterii eficienței energetice, sistemul de iluminat (vezi Figura 5) este echipat cu LED-uri care dispun de o bună posibilitate de reglare a luminozității.

Sistemul de încălzire / ventilare este alcătuit dintr-o instalație în podea (fapt ce duce și la maximizarea spațiului) și o unitate de aer condiționat montată pe plafon.

Soluțiile de tipul jaluzelelor clasice au fost înlocuite de transperante servoacționate.



**Figura 5. Prototip virtual: Detaliu iluminare și control iluminare**

Bateriile sanitare acționate manual au fost înlocuite cu baterii ce dispun de senzori de proximitate (vezi Figura 6), care detectează prezența utilizatorului. Închiderea și deschiderea circuitului de apă se realizează în mod automat. Se satisface în acest fel aspectul de consum, dar și de confort prin reglarea automată a temperaturii apei în funcție de preferințele utilizatorului, utilizând un sistem de reglare automat instalat la nivelul conductelor de furnizare a apei.



**Figura 6. Prototip virtual: Baterie sanitară echipată cu senzori de proximitate**

## **4.2 Tehnici de modelare utilizate in realizarea prototipurilor**

Reprezentarea fotorealistică este o metodă de reprezentare atractivă și care aduce asemănări la nivel ridicat cu lumea reală. Procedeele cuprind modelarea liberă a obiectelor echivalente, acestea putând fi reprezentate în cele mai mici detalii în softuri de specialitate (Autodesk 3DS Max). O parte importantă o constituie randarea scenei în care au fost poziționate obiectele de interes și luminile fotometrice. Randarea unui singur cadru se realizează cu o cameră foto virtuală cu parametrii asemănători uneia reale, dar care lucrează într-un mediu ideal astfel încât se pot obține fotografii fără zgomot de imagine. Timpul de randare a imaginii finale crește direct proporțional cu mărirea nivelului de realism a scenei, în special mărirea numărului de lumini, cât și mărirea numărului de obiecte, în special obiecte care prezintă indici de refracție sau transparență.

## **5. Concluzii**

Domeniul Smart Home se extinde rapid pe măsură ce tehnologiile electronice converg. Domeniile implicate cuprind comunicații, divertisment, securitate, confort și sisteme de informare. Lucrarea abordează problema automatizării reglării inteligente a parametrilor aferenți confortului în locuințe. În contextul reducerii consumului energetic casnic, soluțiile prezentate pot constitui o variantă atractivă pentru utilizatori. Pe baza prototipurilor prezentate, se demonstrează aspectul de integrare în spațiul de locuit, funcționalitatea și ergonomicitatea soluției.

## **Mulțumiri**

Autorii mulțumesc doamnei Prof. Anca Bucureșteanu de la Catedra de Mașini și Sisteme de Producție a Facultății IMST din cadrul Universității Politehnica din București pentru coordonarea și sprijinul acordat în realizarea acestei lucrări.

## **BIBLIOGRAFIE**

1. **HARPER, R.:** Inside the Smart Homes, Harper, R. (Ed.) , 2006, Springer Science & Business Media.
2. **ZHOU, B.; LI, W.; CHAN, K. W.; CAO, Y.; KUANG, Y.; LIU, X.; WANG, X.:** Smart home energy management systems: Concepts, configurations and scheduling strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 61, 2016, pp. 30–40.
3. **STAROCH, P.:** A weather ontology for predictive control in smart homes. na., 2013).

4. **VARGAS, S. E.; GONZALEZ, J. E.; ASCHHEIM, M.:** Benefits of Monitoring Energy Use and Production Using Enhanced Smart Meters for California Houses, Proceedings, ASME 2012 6th International Conference on Energy Sustainability collocated with the ASME 2012 10th International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, 2012, pp. 97-104, American Society of Mechanical Engineers.
5. **DING, D.; COOPER, R. A.; PASQUINA, P. F.; FICI-PASQUINA, L.:** Sensor technology for smart homes, *Maturitas*, 69(2), 2011, pp. 131-136.
6. **THOMAZ, E.; BETTADAPURA, V.; REYES, G.; SANDESH, M.; SCHINDLER, G.; PLOTZ, T.; ABOWD, G. D.; ESSA, I.:** Recognizing Water-Based Activities in the Home Through Infrastructure-Mediated Sensing, Proceedings, UbiComp '12, Sep 5-Sep 8, 2012, Pittsburgh, USA.
7. **ARCELUS, A.; JONES, M. H.; GOUBRAN, R.; KNOEFEL, F.:** Integration of smart home technologies in a health monitoring system for the elderly, Proceedings, 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops AINAW'07, Vol. 2, 2007, pp. 820-825, IEEE.
8. **ROBLES, R. J.; KIM, T. H.:** Applications, systems and methods in smart home technology: a review, *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 15, February, 2010.
9. **ALAM, M. R.; REAZ, M. B. I.; ALI, M. A. M.:** A review of smart homes—Past, present, and future, *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, IEEE Transactions on, 42(6), 2012, pp. 1190-1203.
10. **SOLIMAN, M.; ABIODUN, T.; HAMOUDA, T.; ZHOU, J.; LUNG, C. H.:** Smart home: Integrating internet of things with web services and cloud computing, Proceedings, IEEE 5th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2013, Vol. 2, pp. 317-320, IEEE.
11. **MOHAMED, E.:** The Smart Grid—State-of-the-art and Future Trends, *Electric Power Components and Systems*, 42(3-4), 2014, pp. 239-250, DOI: 10.1080/15325008.2013.868558.
12. **SHRINK THAT FOOTPRINT:** The beginners guide to lower heating bills: for tenners, owners and home lovers, <http://shrinkthatfootprint.com/>

## Notății

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

$H_t$  = pierderile de căldură prin conducție (W)

$A$  = aria suprafeței expuse ( $m^2$ )

$U$  = coeficient global de transmisie termică ( $W/m^2K$ )

$t_i$  = temperatura interioară ( $^{\circ}C$ )

$t_o$  = temperatura exterioară ( $^{\circ}C$ )

$t_s$  = temperatura solului ( $^{\circ}C$ )