

Obținerea confortului de vara fara utilizarea climatizarii, prin ventilare nocturna

Obtaining summer comfort without air condition through the use of nocturnal ventilation

Felicia Uciu¹, Andreea Vartires¹, Tiberiu Catalina¹, Iolanda Colda¹

¹ Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor
Bd. Pache Protopopescu nr. 66, sector 2, București, Romania
E-mail: feliciauciu@gmail.com , vartires2@gmail.com

Rezumat. Studiul realizat in vederea economisirii de energie pentru racirea cladirilor, a aratat eficienta tehnicii de ventilare nocturna in localitati din sudul Romaniei, zona afectata de temperaturi ridicate, cu grad de repetivitate inalt, in mod deosebit in ultimii ani.

Introducerea utilizarii temperaturii de echilibru pentru studiul ventilarii nocturne, care permite determinarea numarului de grade zile pentru care nu este necesara climatizarea, a constituit o a doua etapa in stabilirea consumului de energie de racire, ca indicator cu continut multicriterial in functie de care se poate estima economia de energie. Alaturi de informatii utile cu referire la raspunsul cladirii supusa la sarcini externe, temperatura de echilibru este baza determinarii numarului de grade zile de racire. Conceptul de grade zile prezinta doua aspecte: primul se refera la baza de calcul si al doilea, la modul in care acesta este aplicat la analiza si construirea strategiei de economisire a energiei. In ceea ce priveste primul aspect, determinarea temperaturii de echilibru raspunde nivelului de confort propus. In al doilea caz, pe baza liniilor de performanta ale cladirilor studiate, se vor propune temperaturi interioare care sa raspunda cerintelor de confort si de eficienta termica.

Cuvinte cheie: eficienta energetica, ventilare nocturna, temperatură de echilibru, grade zile de racire

Abstract. The study realized to establish the energy savings for cooling has tested the efficiency of nocturnal ventilation in cities in the south of Romania, an area that is affected by high temperatures that repeat often especially in the past years.

By introducing the use of equilibrium temperature for the study of nocturnal ventilation, which allows the determination of the large number of degree days for which we do not require air conditioning, we are able to determine the number of degree days for which we do not require air conditioning; this has constituted the second step in establishing the thermal demand for cooling as an indicator with a multi-criteria inventory based on which we can estimate the saving. Alongside useful information revealed through the answer of the building which has undergone external demand, the equilibrium temperature is based on determining the number of cooling degree days. The concept of degree days is formed of two specific aspects: the first refers to the base of the calculation and the second to the way in which these are applied to the analysis and how

we build the energy consumption strategy. When referring to the first aspect, determining the equilibrium temperature responds to the scope of the proposed comfort. In the second case, based on the lines of performance for the buildings we have studied, we will propose inside temperatures which would respond to the demanded comfort and efficiency.

Key words: energy efficiency, nocturnal ventilation, equilibrium temperature, cooling degree days

1. Introducere

Obiectivul principal al lucrării îl reprezintă o analiză a necesarului și al potențialului energetic al clădirilor, în vederea obținerii unor condiții de activitate adecvate, cu consumuri reduse de energie. Se va studia importanța controlului climatului interior în scopul reducerii consumului de energie pentru răcire în clădiri.

Lucrarea își propune să analizeze metodele de evaluare existente, cu scopul de a aproxima cât mai aproape de realitate, intervalul și valorile de temperatură exterioară, corelate cu capacitatea termică a clădirii, care permit practici disipatoare ale necesarului de energie pentru climatizare, prin ventilare nocturnă.

Specialiștii din domeniul eficienței energetice au căutat mereu tehnici simple de estimare a energiei necesare asigurării confortului în clădiri, una dintre abordări fiind metoda grade zile pentru încălzire (heating degree-days HDD), respectiv răcire (cooling degree-days CDD).

Privind în timp istoria în domeniu, primul care a prezentat metoda grade zile a fost Sir Richard Strachey în anul 1878, pentru durata de germinare a plantelor [1]. Prof. Tony Day evidențiază posibilitatea introducerii unor ipoteze simplificatoare în determinarea CDD [2]: “În cazul în care nu există nicio sarcină specifică, există doar evacuarea căldurii sensibile dată de relația: *Evacuarea căldurii (kW) = debitul masic aer (kg·s⁻¹) x căldura specifică a aerului (kJ·kg⁻¹·K⁻¹) x (temperatura aerului exterior – temperatura de echilibru) (K)*”.

În prezent, există o serie de modalități în care se determină numărul de grade zile de răcire. De exemplu:

I. Pentru a determina CDD care să corespundă tuturor situațiilor reale, Oficiul Meteorologic din Marea Britanie [3] a propus un set de ecuații în funcție de relația dintre temperatura de echilibru și temperaturile exterioare maxime și minime, care să aproximeze suprafața exprimată prin integrala:

$$CDD = \int (\theta_e - \theta_b) dt \quad (1)$$

Unde: CDD = valoarea grade-zile de răcire

θ_e = temperatura exterioară

θ_b = temperatura de echilibru

II. Folosind același principiu, de raportare la o temperatură de baza (de echilibru) au fost utilizate formule empirice bazate pe temperatura medie lunară a

Obținerea confortului de vara prin ventilare nocturna fara utilizarea climatizarii

aerului (care este calculată pe baza temperaturii medii zilnice). Relația este cunoscuta sub numele de formula Hitchin:

$$D_m = \frac{N_m (\theta_b - \bar{\theta}_{o,m})}{1 - e^{-k(\theta_b - \bar{\theta}_{o,m})}} \quad (2)$$

Unde: D_m = valoarea lunară grade-zile

N_m = numărul de zile din luna considerată

$\bar{\theta}_{o,m}$ = temperatura medie lunară

θ_b = temperatura de echilibru (de bază)

k = constantă specifică locației geografice a clădirii climatizate, $k = \frac{2,5}{\sigma_x}$.

σ_x = abaterea standard a variației de temperatura de-a lungul unei luni.

Beneficiul aplicării formulei lui Hitchin este numărul redus de informații necesare.

III. Direcția de Climatologie din Franța a prezentat doua metode: o “metoda a profesioniștilor” și o “metoda meteo” [4].

1. metoda Meteo este o metoda simplificată, exprimata astfel:

Pentru a calcula temperatura de răcire în comparație cu un prag selectat, avem:

$$\text{dacă } S \geq \text{Medie} : CDD = 0 \quad (3)$$

$$\text{dacă } S < \text{Medie} : CDD = \text{Medie} - S \quad (4)$$

unde: S = temperatura pragului de referință ales.

$$\text{Medie} = (T_x + T_n)/2, \text{ temperatura medie a zilei} \quad (5)$$

CDD = numărul de grade zile pentru racire

2. Metoda „Profesioniști in Energie” pastreaza principiul de calcul, dar se modifica relatia pentru determinarea numărului de grade zile.

Și US Energy Information Administration (EIA) utilizează marimea grade-zile pentru a modela consumul de energie. In analiza consumului energetic definesc o noua abordare: ”Consumul de energie este o funcție influentata nu numai de modificări ale temperaturii, dar și de migrarea populației” [5].

In “Final_report_eu_building_heat_demand - august 2014” privind cererea de energie, se precizeaza că nevoia de răcire a spațiilor este o problemă locală”, raportarea tabelara se face in functie de CDD (“grade zile de răcire lunare” pentru capitalele statelor UE). Aceasta se bazează pe o estimare potrivit căreia în 90 zile (2100 ore) in sezonul de racire, degajările interioare vor adăuga 1,5°C și aportul solar va contribui cu aproximativ 3°C la sarcina de răcire a spațiilor. Cu alte cuvinte, în această perioadă, numărul de grade zile de răcire sunt de așteptat să fie reprezentative, în cazul în care temperatura interioară va fi de 25°C sau mai ridicată. In acelasi raport, pentru Bucuresti (2013-2014) se mentioneaza 379 grade zile de răcire, la o densitate a populatiei de 3.4% [6].

În prezent există o piata a soft-urilor specializate in management energetic care cuprind si calculul automat al numărului de grade zile de răcire. BizEE Software Ltd, cu sediul în Marea Britanie, construieste si dezvolta din 2005 programe de consultanță

în energie și eficiența energetică [7]. Baza de lucru este constituită din înregistrările de consum și numărul de grade zile de răcire.

Aceste studii vorbesc despre interesul pe care statele cu economii puternice îl acordă eficienței energetice, pentru cele două valențe - economia în sectorul financiar și diminuarea emisiilor de gaze nocive.

2. Studiul eficienței energetice a răcirii prin ventilare nocturnă în condițiile climatice din sudul României

Întrebarea de la care s-a pornit cercetarea prezentă: “Este ventilarea naturală de noapte eficientă pentru climatul din România?” caută răspunsul în relația dintre mediu și clădire, definită de o diversitate de situații, influențate de o multitudine de factori. Clădirile sunt entități complexe, iar consumul de energie pentru răcire este răspunsul clădirii ocupate la mediul în care aceasta este plasată.

Metoda Grade-zile oferă o variantă simplificată pentru estimarea consumului de energie și poate fi folosită pentru a evalua implicațiile soluțiilor arhitecților, în faza de proiectare, menite să reducă consumul de energie (de exemplu, capacitatea termică, nivelul de protecție termică, deschiderile elementelor vitrate, etc.). Ulterior procesului de proiectare, faza de exploatare solicită monitorizarea clădirilor existente, unde numărul de Grade-zile, raportat la consumuri, va fi un barometru al comportării termice a clădirii.

Gradele zile de răcire (CDD) reprezintă o măsură a cât de mult (în grade) și pentru cât timp (în zile), temperatura aerului exterior este mai mare decât temperatura de echilibru și atunci clădirea are nevoie de răcire. Principiul pe care se bazează Metoda Grade zile de răcire, este similar cu cel utilizat la Metoda Grade zile de încălzire (HDD). Prin definiție “grade zile” este o funcție de timp, care variază cu temperatura.

Pentru a stabili CDD se raportează temperatura exterioară la un prag sub care clădirea poate asigura temperatura de confort propusă în orele de ocupare, independent. Temperatura de echilibru a clădirii este un indicator al relației dintre diferitele forțe termice care acționează asupra unei clădiri:

- radiația solară, prin nivelul ridicat, vara, specific fiecărei zone geografice, este sarcina principală în această relație,
- transferul de energie datorat diferenței de temperatură dintre interiorul construcției și mediu,
- gradul de ocupare al clădirii.

Temperatura de echilibru (t_{eq}) este o măsură a condițiilor necesare pentru a echilibra căldura care intră în clădire cu cea care părăsește clădirea, în absența sistemelor mecanice de răcire. Este de fapt un instrument conceptual, fiind o măsură a interacțiunii dinamice a mai multor variabile. Nu poate fi măsurată direct în câmp solicitând o corectă determinare.

Metodele uzuale de determinare sunt date de relații empirice:

Obținerea confortului de vara prin ventilare nocturna fara utilizarea climatizarii

$$teq = tint - \frac{\eta * (\Phi_{int} + \Phi S)}{HT + HV} \quad (6)$$

Unde: t_{int} = temperatura aerului interior (°C);

H_T = coeficientul de transfer de căldură prin transmisie (W/K);

H_V = coeficientul de transfer de căldură prin ventilare (W/K);

η = factorul de utilizare a pierderilor pentru răcire (-).

Perioada de răcire (specifica fiecărei clădiri prin H_T) este definita de temperaturile exterioare care sunt mai mari decât temperatura de echilibru. In aceeași zona geografica, tipologii diferite de clădiri vor avea nevoie de temperaturi de echilibru diferite si lungimi ale intervalului de răcire diferite.

In situatiile de mentenanța, cand se cunosc datele istorice de consum, a fost propusa o solutie numita „amprenta energetica -energy signature” [8]. Este un grafic al consumului zilnic de energie față de temperatura exterioară medie, care stabileste punctul/momentul in care este necesara incalzirea/racirea.

Pentru a investiga impactul sarcinilor climatice asupra necesarului de racire s-a ales pentru simulare soft-ul KoZiBu [9]. Protocolul de validare BESTEST ii asigura concordanta cu datele experimentale. Obiectivul principal al soft-ului KoZiBu este de a estima consumul de energie al unui sistem de incalzire/racire la o temperatura interioara impusa in cladire, sau de a calcula variația intervalului de temperatură interioara in regim liber, fara functionarea sistemelor. In aceasta lucrare am urmarit valorile temperaturilor interioare, in situatia cand nu se folosesc sisteme de climatizare, dar pentru racire ne bazam pe ventilarea nocturna, urmarind influenta variatiei numărului orar de schimburi de aer. Programul permite determinarea temperaturii interioare în regim liber. Programul KoZiBu are la bază modelarea unui sistem termic format dintr-o clădire amplasată în mediul exterior. Acest sistem este compus din module elementare (pereți, ferestre, volume de aer etc) pentru care se realizează o modelare. Conexiunea dintre aceste module reprezintă modelul global al clădirii. Acestui model ii sunt aplicate solicitări externe (climat exterior, sarcini interne etc), care pot fi și ele la rândul lor modelate. Comportamentul dinamic al clădirii rezultă din faptul că programul ține seama de caracterul variabil în timp al acestor solicitări; datele de ieșire sunt calculate în funcție de pasul de timp ales (in acest studiu este de o oră). KoZiBu are la baza modelul analogic termo-electric cu o rezistenta și doua capacitati.

S-a simulat utilizarea ventilarii nocturne pentru diferite tipuri de cladiri, amplasate in conditiile reale de clima pentru anul 2012 (lunile iunie, iulie, august, septembrie). In tabelul 1 sunt indicate localitatile si coordonatele geografice pentru care s-a realizat baza de date meteo.

Tabelul 1

Coordonatele geografice ale localităților considerate în studiu

Craiova	București	Constanța
Latitudine: 44.3N, longitudine: 23.8E, altitudine: 192 m	Latitudine: 44.5N, longitudine: 26.13E, altitudine: 90 m	Latitudine: 44.22N, longitudine: 28.63E, altitudine: 13 m

S-au realizat pe rând simulări pentru o clădire de birouri cu două tipuri de structuri posibile: zidarie GVP cu izolație termică și panouri tristrat. Ultimul nivel al clădirii a fost tip terasă sau tip pod. Simulările s-au făcut pentru parter și ultimul etaj. Tâmplăria este din PVC cu vitraj tip termopan (raportul de vitrare 10%). În birouri lucrează 40 persoane, fără degajări substanțiale de umiditate.

Programul de ocupare a clădirii este 8-18 h (luni, marți, miercuri, joi, vineri), iar la sfârșitul săptămânii este închis. Construcția beneficiază de lumină naturală, datorită ferestrelor dispuse pe orientarea sud. Nu s-au considerat alte surse interioare de căldură. Biroul a beneficiat în intervalul de lucru, 8-18h, de o rată de ventilație de $1,5 \text{ h}^{-1}$ (număr orar de schimburi de aer), pentru a menține calitatea aerului interior.

Scenariul de ventilație nocturnă urmărit pe parcursul simulărilor se bazează pe mărirea ratei de ventilație la 1, 2, 3, 4 h^{-1} , pe timpul nopții [10].

3. Stabilirea temperaturii de echilibru prin metode statistice pentru sezonul de răcire

Pentru situația în care nu se cunosc consumurile de energie pentru răcire s-a inițiat o metodă grafică de determinare a temperaturilor de echilibru în condiții libere de funcționare, fără funcționarea sistemului de climatizare. S-a utilizat regresia matematică ca metodă de modelare a legăturilor dintre variabile: temperatura exterioară este variabila independentă (axa X) și temperatura interioară este variabila dependentă (axa Y). Au fost păstrate toate condițiile prezentate (40 persoane, $1,5 \text{ h}^{-1}$ schimburi orare de aer ziua, iar noaptea $n_o = 2, 3, 4 \text{ h}^{-1}$, aceleași tipuri constructive, aceleași localități).

Cu ajutorul analizei de regresie s-a estimat valoarea medie a temperaturilor de echilibru, cunoscând valorile temperaturilor exterioare. Variabila Y, temperatura interioară, este rezultatul a două categorii de factori: un factor esențial X, temperatura exterioară și mai mulți factori specificați printr-o variabilă aleatoare de perturbație, ε [11] (ε reprezintă acea parte din valoarea variabilei Y care nu poate fi măsurată printr-o relație sistematică cu variabila X). Reprezentarea grafică a datelor de observație a fost făcută pentru fiecare săptămână a lunilor de vară, pentru fiecare caz abordat. Se prezintă pentru exemplificare săptămâna 13-17 august 2012:

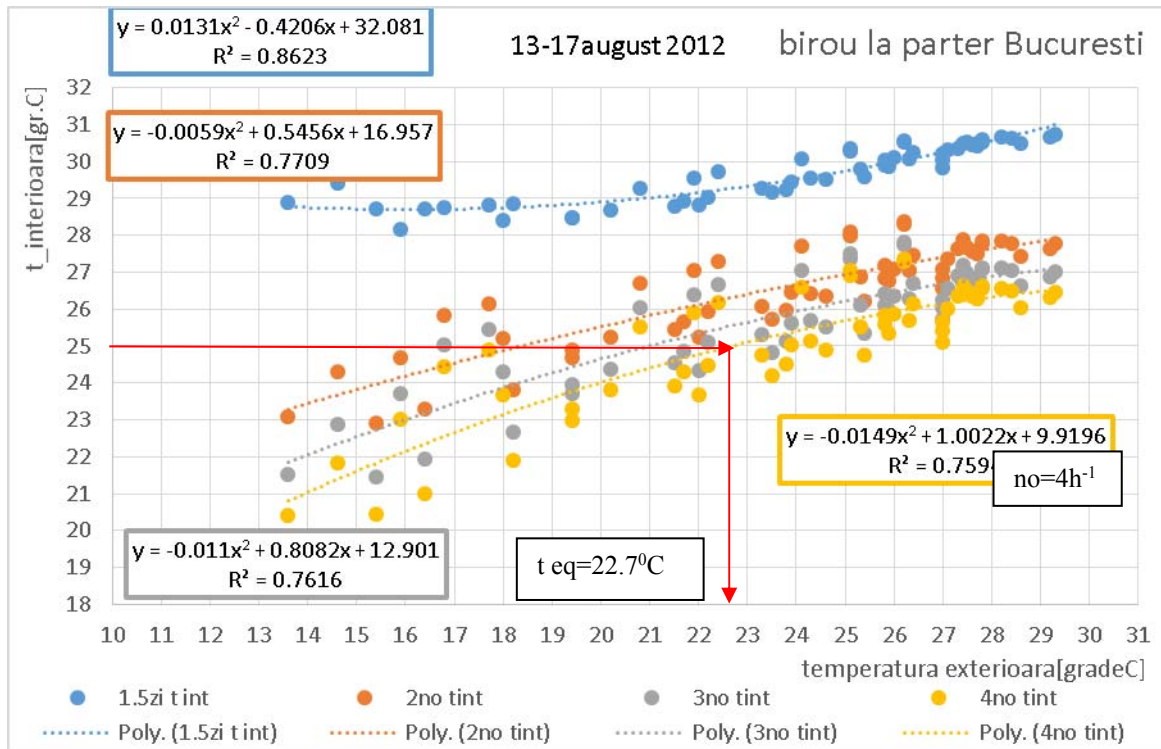


Fig. 1. Determinarea temperaturii de echilibru pentru un birou situat la parter (cladire GVP+izolație) București

Relatia matematica care descrie cel mai bine modelul de regresie este dată de polinomul de grad II. Soluția pe care o propunem pentru a determina cât mai aproape de realitate, temperatura de echilibru, este să folosim graficul pornim de la axa Y. Se impune condiția ca in intervalul 8-18h, temperatura interioara propusa să fie 25°C.

Exemplificam pentru situația prezentata in graficul din fig.1:

$$y = -0.0149x^2 + 1.0022x + 9.9196$$

pentru condiția impusa $y=25$, \Rightarrow ecuația $-0.0149x^2 + 1.0022x - 15.0804 = 0$

cu rădăcina $x=22.7$, ceea ce indica că biroul cu datele enunțate (structură, poziție, locație, sarcini) poate asigura in interior temperatura propusa, în regim liber, dacă temperatura exterioara este 22.7°C (saptamana 13-17 august 2012).

Aceasta metoda grafica este foarte ușor de folosit. Prin coeficientul de regresie se indica corectitudinea corelației, $R^2 > 0.7$ defineste o corelatie foarte buna. Pentru alte localități (fig. 2, 3), conditia $t_{int} = 25^\circ C$ va avea ca rezultat alte valori la care aceiasi cladire poate functiona utilizând ventilarea nocturnă pentru racire.

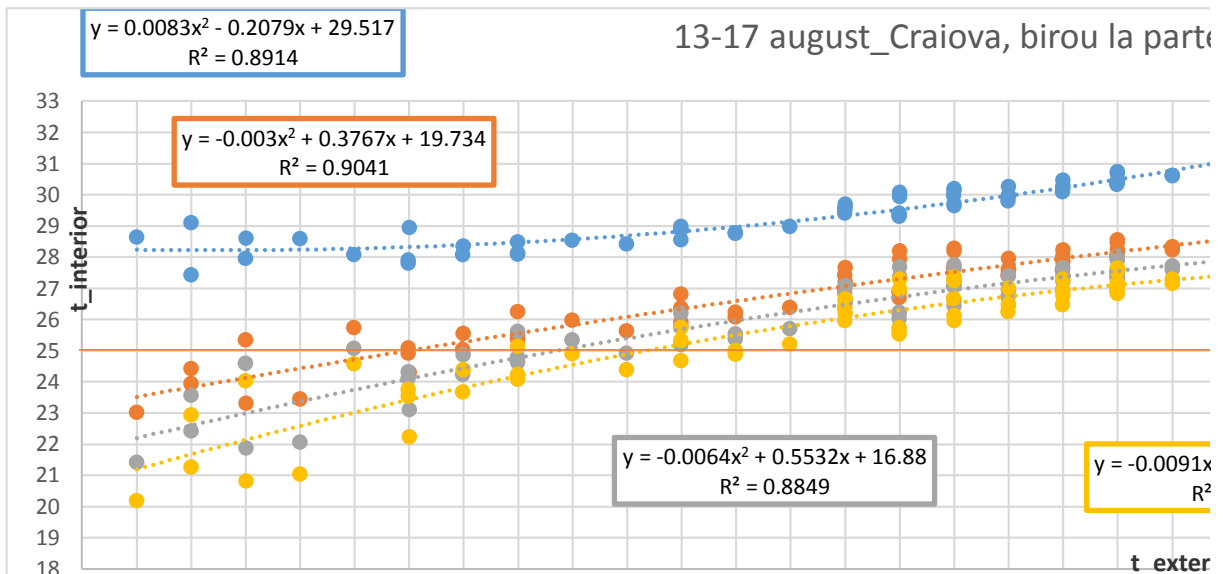


Fig. 2. Determinarea temperaturii de echilibru pentru un birou situat la parter (cladire GVP+izolație), Craiova

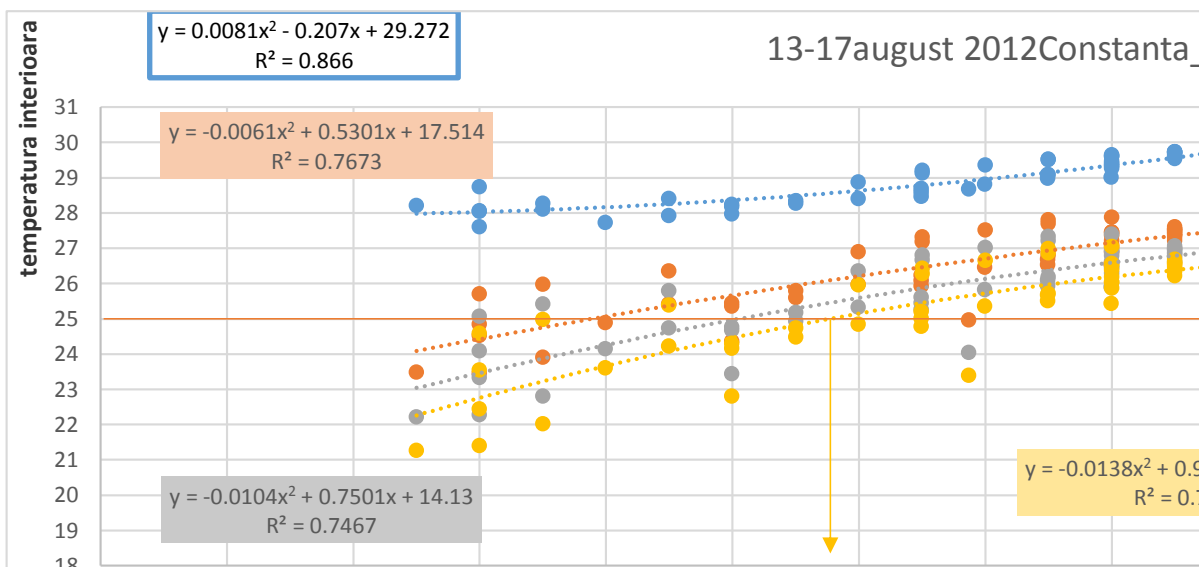


Fig. 3. Determinarea temperaturii de echilibru pentru un birou situat la parter, Constanta

Folosind facilitatile de calcul ale Office, ecuația de corelație este returnata automat. De asemenea este dată “r” valoarea coeficientului de corelație dintre X si Y. Cu cât este mai aproape de 1, corelația stabilita este mai aproape de realitate. Daca impunem în continuare o temperatura de confort mai ridicata, de exemplu 26°C, obținem valoarea temperaturii exterioare la care clădirea poate asigura confortul in orele de ocupare, $t_{ext,eq} = 25.4^{\circ}C$.

Graficele din fig. 1, 2, 3 redau exprimarea matematica a relatiei stabilite între t_{ext} și t_{eq} pentru situatia fara ventilare nocturnă (linia albastra) și pentru ipotezele când rata de ventilare nocturna este $2h^{-1}$ (linia rosie), $3h^{-1}$ (gri) și $4h^{-1}$ (galben). Prezentam spre exemplificare în Tabelul 2, t_{eq} pentru fiecare rata de ventilare, pentru a observa cu

Obținerea confortului de vara prin ventilare nocturna fara utilizarea climatizarii

cât mărirea ratei de ventilare nocturna conduce la o creștere a temperaturii de echilibru t_{eq} („no”=noapte).

Tabelul 2

Valorile temperaturii de echilibru t_{eq} in saptamana 13-17aug. 2012 in functie de rata de ventilare nocturna (cladire GVP+izolatie)

13-17.08.2012	t med ext zi	t med ext no	t eq 2no	t eq 3no	t eq 4no
Localitatea	[$^{\circ}$ C]	[$^{\circ}$ C]	[$^{\circ}$ C]	[$^{\circ}$ C]	[$^{\circ}$ C]
Craiova	24.7	19	16.02	18.74	20.41
Bucuresti	23.7	17	22.4	24.94	26.72
Constanta	24	19.5	17.74	20.08	21.5

O determinare pentru fiecare saptamana este conforma cu realitatea, raportat la o determinare lunara, situatie in care t_{eq} trebuie sa ia o valoare care să produca efectul asteptat la oricare variatie a t_{ext} .

4. Aplicarea Metodei grade zile de răcire pentru studiul ventilării nocturne

In prezent sunt state care admit generalizări pe zone geografice ale metodei prezentate, definind valori de referința pentru temperaturi de echilibru prestabilite, ceea ce este o forțare; temperatura de echilibru este rezultatul unic al relației dintre un cumul de factori (anvelopa clădirii, utilizare, sarcini interne si externe specifice fiecărei amplasări geografice).

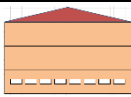
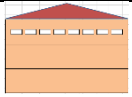
Pentru determinarea parametrului Grade zile de răcire s-a aplicat inițial metoda enunțată de Direcția de Climatologie din Franța “metoda profesioniștilor”. S-a efectuat un calcul tabelar pe baza relației de condiționare ($=IF(t_{ext}>t_{echil}, (t_{ext}-t_{echil})/10,0$). Ulterior, volumul de determinări fiind foarte mare, s-a utilizat un soft specializat de determinare a numarului de grade zile de răcire (de exemplu: www.degreedays.net, www.wolframalpha.com). In toate aceste abordări responsabilitatea alegerii temperaturii de echilibru ii revine specialistului pentru determinarea CDD, ca functie de t_{eq} , locatie si t_{ext} . S-a folosit ca bază de determinare a numărului de grade zile formula lui Hitchin [12].

5. Validarea metodei

Un volum mare de valori determinate pentru locații diferite, pe parcursul celor patru luni de vară, arata tendința de descreștere certă a consumurilor de energie pentru răcire, cu fiecare majorare a ratei de ventilare nocturnă. Cu cât temperatura de noapte este mai coborâtă si rata de ventilare mai ridicata, valoarea consumului coboară la 0. Din valorile determinate reținem intervalul de timp si rata de ventilare pentru care consumul atinge valoarea 0/(practic intervalul de consum sub 5 kWh). Metoda propusă pentru determinarea temperaturii de echilibru verifica condiția de a avea un număr de grade zile=0, in momentul de consum 0.



Tabelul 3

Corelarea consumului de energie cu numărul de grade zile de răcire CDD pentru birou situat la parter si la ultimul etaj (sub pod)

București 2012		Birou parter 				Birou ultimul etaj, sub pod 		
	t m zi t m no	Nr.sch. aer	teq [°C]	CDD	Răcire [kWh]	teq [°C]	CDD	Răcire [kWh]
13-17 aug	23.7	1.5zi	14	39.9	84	–		130
	17	2n	22.4	9.29	11	20.02	15.9	24
		3n	24.94	4	2	23.4	7.03	6
		4n	26.72	0	0	26	2.39	3
10-14 sept	22.01	1.5zi	–		94	2	88.4	132
	16.02	2n	18.75	13.4	19	21.62	6.63	26
		3n	21.5	6.88	7	27.8	0.5	7
		4n	23.35	3.07	2		0	3
17-21 sept	19.23	1.5zi	–		64			92
	15.9	2n	17.67	9.95	4	20.94	4.18	5
		3n	20.57	4.67	0		0	0
		4n	22.85	2.1	0		0	0

Tabelul 4

Corelarea consumului de energie cu numărul de grade zile de răcire CDD pentru birou situat la ultimul etaj (sub terasă)

București 2012		Birou la ultimul etaj Pereti GVP + izolație 				Birou la ultimul etaj Pereti tip panou 		
	t zi_no	n.sch	teq [°C]	CDD	Răcire [kWh]	t eq [°C]	CDD	Răcire [kWh]
17 - 21 08	19.23	1.5zi	–	-	138	3.4	73.5	103
	15.9	2n	18.56	7.96	35	18.05	9.03	24
		3n	19	7.09	12	20.8	4.36	5
		4n	22.11	2.8	0	24.07	1.18	0

Validarea metodei este pusă în evidență și grafic, urmărind relația clădire-mediul, exprimată prin raportul t_{int}/t_{ext} (fig. 4). Curbele realizate pentru fiecare rată de ventilare nocturnă, schimbă panta, merg aproximativ paralel cu linia temperaturilor exterioare. În acest moment nu se mai adună grade care să solicite consum pentru răcire, la 3 și 4h⁻¹ de noapte. Acest moment de schimbare, corespunde consumului 0kWh pentru răcirea spațiului definit.

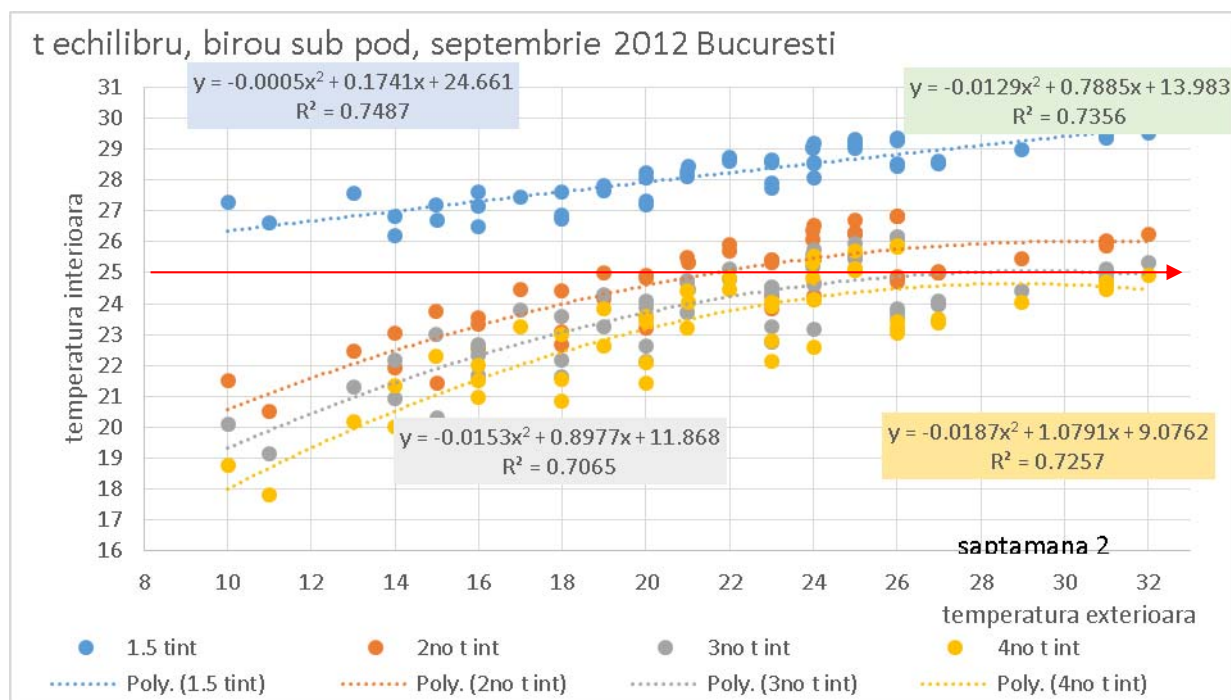


Fig. 4. Temperatura de echilibru pentru care CDD=0

6. Posibilități de extindere a utilizării metodei grade zile

În gestionarea consumurilor de energie pentru răcire/încălzire, pe plan internațional, este amplu uzitată metoda liniilor de performanță, metodă care se bazează pe relația de directă proporționalitate dintre consum și CDD. Metoda de modelare propusă este analiza de corelație pentru a evalua gradul de asociere dintre două variabile: CDD și consumul de energie de racire, kWh.

Graficul se construiește pornind de la perechile de valori determinate (pe axa OX, variabila independentă $x=CDD$, iar pe axa OY variabila dependentă $y=kWh$) care se reprezintă în sistemul de axe rectangulare. Liniile de performanță sunt rezultatele graficelor care stabilesc trendul consumului lunar de energie în raport cu grade-zile specifice ansamblului clădire-mediu.

Pentru datele exprimate în cazul biroului situat la parterul unei clădiri din București în fig. 5, se observă:

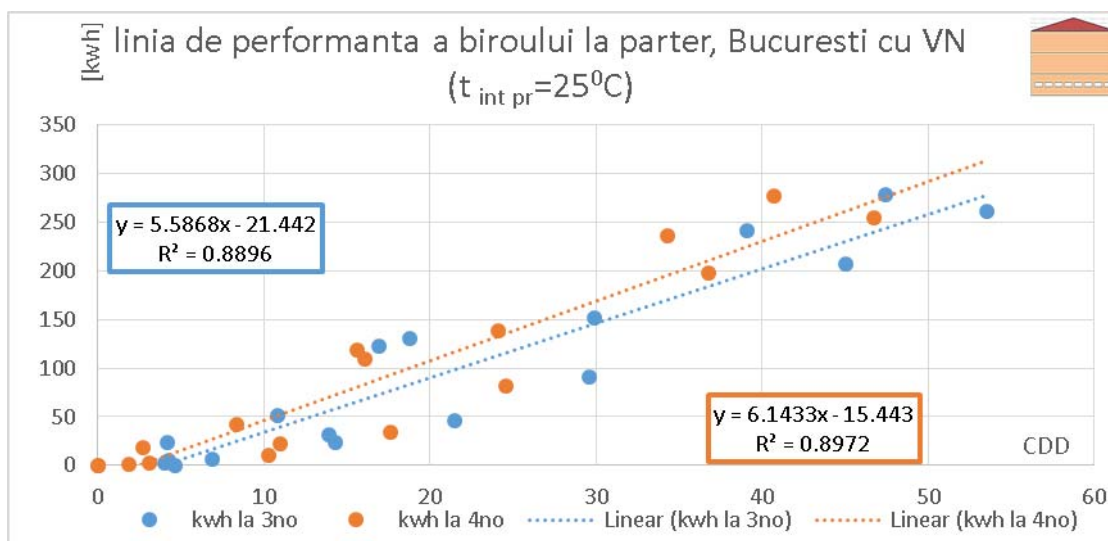


Fig. 5. Linia de performanță obținută pentru birou parter, București

Apelând la statistică, folosim relația de regresie liniara pentru a defini relația de corelație stabilita între CDD și consumul de energie pentru răcire. Perechile de puncte din grafic definesc traiectoria unei drepte, astfel utilizam analiza fenomenului cercetat cu ajutorul modelului de regresie liniară simplă.

Obținem o relație de forma $Y = aX + b$, unde:

b = interceptul (locul pe ordonata unde dreapta de regresie se intersectează cu OY, valoarea lui Y pentru $X=0$);

a = panta de regresie (ne arata cu cât se modifica Y atunci când X crește/scade cu o unitate);

R^2 = măsura în care corelația este corectă.

S-au realizat liniile de performanță pentru spațiul de la parter, București, iulie, august 2012, în varianta $t_{int\ propus} = 24.5^{\circ}C$. Analizăm în continuare același „sistem” pentru o temperatură interioară propusă $t_{int\ propus} = 25^{\circ}C$, fig.5.

S-a arătat în prima parte a lucrării că avem o scădere a consumului de la 16% la 42% pentru creșteri de $0.5^{\circ}C$ ale temperaturii interioare propuse (parter). Regăsim această situație în fig. 5 versus fig. 6, exprimată de elementele $R^2=0.89$ ($t_{int\ propus}=25^{\circ}C$) și panta relației. Distribuția punctelor față de linia de trend arată că dacă punctul se află sub linia de eficiența a clădirii, aceasta utilizează mai puțină energie decât este de așteptat, iar în cazul în care punctele sunt deasupra liniei, este folosită mai multă energie [8].

Obținerea confortului de vara prin ventilare nocturna fara utilizarea climatizarii

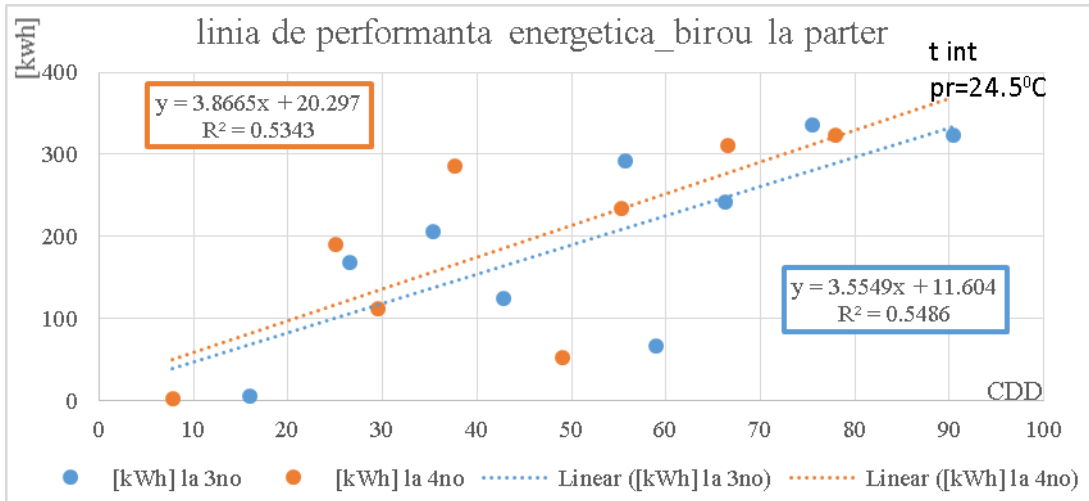


Fig. 6. Corelație între consum și CDD la variația ratei de ventilare nocturnă (no),
t_{int} pr=24.5°C birou la parter, Bucuresti

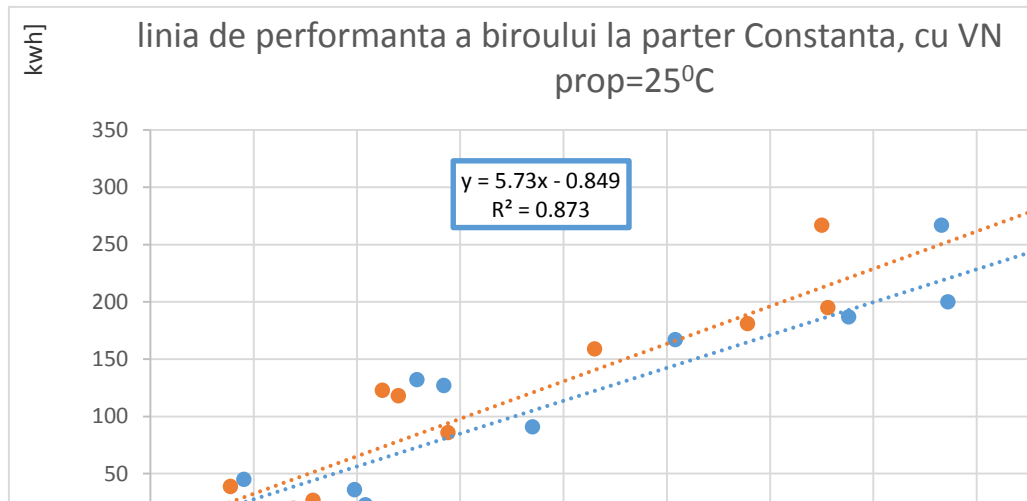


Fig. 7. Linia de performanta birou la parter, Constanta

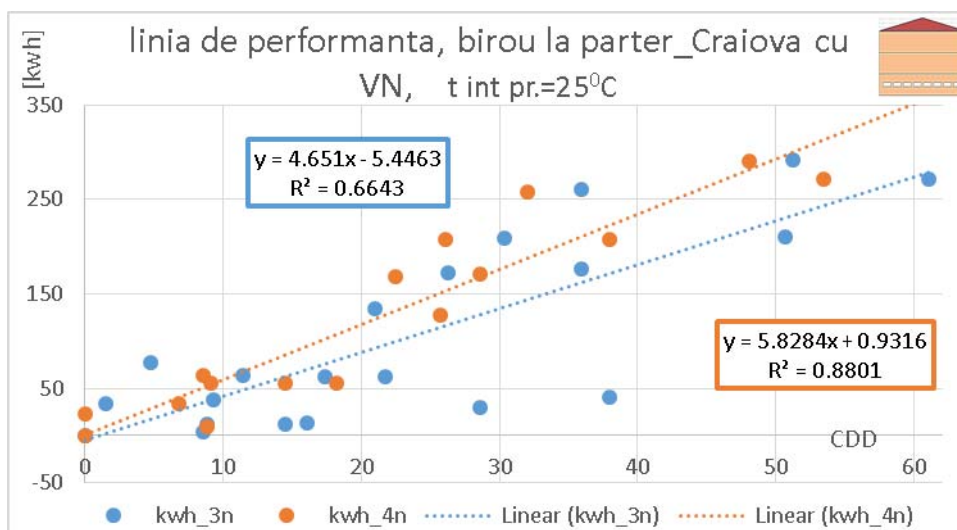


Fig. 8. Linia de performanta birou la parter, Craiova

Comparând cele trei grafice (fig. 5, 7 si 8) se observă că prezintă aceleași linii de performanță enuntate in tabelul 5, adica aceeasi variatie a consumului de energie de racire in functie de t_{ext} , pentru aceeasi cladire amplasata în Bucuresti, Constanta sau Craiova. Este diferită mărimea b , interceptul, care exprimă valoarea variabilei dependente când variabila independentă este egală cu zero, deci reprezintă porțiunea fixată a lui Y , care nu poate fi explicată prin variabila independentă. Pentru Constanta si Craiova, la $CDD=0$, consumul= 0 kWh, corect. Din dispunerea norului de puncte, sub linia de trend, concluzia este că ventilarea nocturnă produce o racire mai mare decat are nevoie cladirea.

Intre doua situații, birou la parter si birou la ultimul etaj, s-a modificat panta liniei de performanta, in concluzie un birou la parter, pentru aceleași condiții meteo, va fi mai eficient utilizând ventilarea nocturnă, având o crestere mai mica a consumului de energie.

Tabelul 5

Ecuatiile liniilor de performanță						
Elementele ec.regresie	Rata ventilare nocturnă $no = 4h^{-1}$, sezon racire 2012, $t_{int} pr=25^{\circ}C$					
	parter			ultimul etaj		
	Bucuresti	Constanta	Craiova	Bucuresti	Constanta	Craiova
R²	0.8972	0.8945	0.8801	0.8954	0.8564	
a	6.1433	6.541	5.8284	7.1797	6.7037	
b	-15.443	-0.0782	0.9316	-11.499	-1.5926	

In monitorizarea cladirii, pe baza datelor culese in timp, se pot construi linii de performanta ale cladirii care prin comparare, vor furniza informatii corecte, aratand daca interventiile tehnice realizate pentru o functionare cu costuri reduse, au avut rezultatul scontat.

7. Concluzii

Economia de energie realizată probează eficiența tehnicii de ventilare nocturnă chiar pentru zona de sud a României, afectată de perioade toride. Beneficiile energetice sunt foarte importante în perioadele de tranziție. Dacă efectul ventilării nocturne a fost stabilit pe baza observațiilor realizate pentru un număr foarte mare de simulări, în cea mai fierbinte zonă, se poate conchide că și pentru celelalte zone care au o frecvență mult mai mică a temperaturilor toride, este o metodă care trebuie implementată.

Introducerea utilizării temperaturii de echilibru pentru studiul ventilării nocturne, care permite determinarea numărului de grade zile pentru care nu este necesară climatizarea, va ușura deciziile arhitecților în vederea realizării clădirilor cu consum de energie aproape egal cu 0.

Referințe

- [1] S. Rahman, "Temperature correction of UK energy consumption statistics", from -methodology-symposium--6-july-2011: <https://www.ons.gov.uk/ons/about-ons>, 2011.
- [2] P.T. Day, "TM41: Degree days: theory & application", <http://www.cibse.org: http://www.degree-days-for-free.co.uk/pdf/TM41.pdf>, 2006.
- [3] Energy Efficiency Office, "Degree Days". <http://www.cibse.org: http://www.cibse.org/getmedia/5a988d9d-7dd4-45e7-985c-eebb0564f6cf/FEB07-Degree-Days-1993.pdf.aspx>, 1993.
- [4] Climatologie, "DJC-methode", METEO FRANCE, p. versiunea 1.1., 2005.
- [5] EIA, "Change in Regional and U.S. Degree-Day Calculations", www.eia.gov: https://www.eia.gov/outlooks/steo/special/pdf/2012_sp_04.pdf, 2012.
- [6] R. Kemna, "Average EU building heat load". ec.europa.eu/energy: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_final_report_eu_building_heat_demand.pdf, 2014.
- [7] BizEE Software Limited has UK company. [www.EnergyAuditSoftware.com: http://www.bizeesoftware.com/](http://www.bizeesoftware.com: www.EnergyAuditSoftware.com), 2005.
- [8] Carbon trust, "Degree days for energy management (CTG075)", www.carbontrust.com: https://www.carbontrust.com/resources/guides/energy-efficiency/degree-days/, 2012.
- [9] KoZiBu - Simulation Dynamique d'un Bâtiment, http://www.jnlog.com/kozibu1_fr.htm
- [10] F. Uciu, "Studii privind eficientizarea energetică a clădirilor", 2016.
- [11] A. Damalan, "Modele de regresie clasice. 3.1. Modelul unifactorial de regresie liniară Analiza de Regresie". http://www.academia.edu: http://www.academia.edu/11507942/3._MODELE_DE_REGRESIE_CLASICE_3.1._Modelul_unifactorial_de_regresie_liniar%C4%83_Analiza_de_Regresie, 2016.
- [12] Energy Lens. "Degree Days - Handle with Care!" <http://www.energylens.com: http://www.energylens.com/articles/degree-days#suggestions>, 2012.