

DIMINUAREA EFECTELOR INSULEI DE CĂLDURĂ ÎN AGLOMERĂRILE URBANE UTILIZÂND SOLUȚII SPECIFICE CLĂDIRILOR VERZI

Adriana L. KADHIM-ABID¹, Gabriela M. ATANASIU², Irina BLIUC³

¹Facultatea de Construcții și Instalații – Iași

²Membru corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România

³Facultatea de Arhitectură „G.M. Cantacuzino” – Iași

Rezumat. Insula de Căldură Urbană este un fenomen influențat direct de gradul ridicat de urbanizare înregistrat în ultimele decenii. Efectele dăunătoare ale acestui fenomen se manifestă atât la nivel urban, cât și la nivelul clădirii, prin disconfort și implicit prin creșterea necesarului de energie pentru climatizare și ventilare mecanică. Soluțiile pentru diminuarea efectelor acestui fenomen presupun integrarea unor sisteme ce favorizează prezența vegetației la nivelul acoperișului terasă. Lucrarea de față susține validitatea soluțiilor de integrare a suprafețelor înverzite în anvelopa clădirilor prin analiza efectelor acestora asupra microclimatului interior comparativ cu soluțiile convenționale.

Cuvinte cheie: insulă de căldură, acoperișuri verzi, confort termic.

Abstract. The Urban Heat Island phenomenon is directly influenced by the high level of urbanization registered in the last decades. This phenomenon is manifested by increased air temperature values in densely built areas compared to those values registered outside the city and is generated by the amount of anthropogenic heat release, thermal properties of the urban fabric and reduction of green permeable surfaces. The harmful effects of the Urban Heat Island phenomenon occur especially during the hot season at both urban and building level, through discomfort, therefore through an increased energy demand for cooling loads. In order to prevent overheating of the urban areas a series of interventions on the urban fabric and on the building's envelope can be adopted as to reduce the amount of absorbed solar radiation. Solutions for Urban Heat Island mitigation on buildings involve developing permeable surfaces with high reflectance of solar radiation by integrating on the building's envelope systems that favour the presence of vegetation on the roof terrace and vertical elements. This paper supports the validity of green surface integration solutions by analyzing their effects on indoor climate, in comparison with conventional systems. The analysis is based on computer simulated models of the heat transfer phenomena under variable conditions, with respect to external climatic parameters influenced by the Heat Island effects.

Keywords: Urban Heat Island, green roofs, thermal confort.

1. INTRODUCERE

Unul din cele mai evidente efecte ale creșterii gradului de urbanizare este Insula de Căldură, IC, fenomen ce se manifestă prin diferențe semnificative între valorile de temperatură ale aerului din zonele urbane dens construite și cele din mediul rural. Fenomenul a fost identificat de meteorologi pentru prima oară în 1833 la Londra [1]. Primele studii sistematice privind prezența IC și efectele acesteia asupra confortului la nivel urban și la nivelul clădirii datează din cel de al 6-lea deceniu al secolului trecut [2, 3].

Cauzele fenomenului trebuie căutate în principal în modificarea valorii albedo-ului, ca urmare a reducerii suprafețelor plantate și a înlocuirii cu suprafețe din beton sau asfalt, modificarea direcției și vitezei curenților de aer în zonele dens construite și, nu în ultimul rând, în căldura antropică degajată prin funcționarea industriilor și a mijloacelor de transport.

Aceste valori crescute ale temperaturii au efecte defavorabile atât asupra confortului exterior, urban, cât și a celui interior, îndeosebi în anotimpul cald în cazul încăperilor expuse direct, cum sunt cele situate la ultimul nivel sau orientate S, SV, SE. Pentru ameliorarea acestei situații sunt gândite două categorii de soluții:

– soluții care să acționeze la nivel urban în sensul reducerii diferenței de temperatură între zonele centrale dens construite și cele limitrofe, prin creșterea suprafeței plantate, reducerea cantității de căldură antropică, evitarea arterelor de tip canion, etc.;

– soluții care să acționeze la nivelul clădirii, bazate pe creșterea gradului de izolare și a masei termice, dispozitive de umbrire, etc.

O soluție care poate fi încadrată în ambele categorii, întrucât răspunde atât dezideratului referitor la confortul urban, cât și la nivelul clădirii și din acest motiv se bucură de mare interes în marile metropole ale lumii, constă în integrarea suprafețelor înverzite în arhitectura clădirilor, respectiv a acoperișurilor și fațadelor. Prin introducerea acestor sisteme tip suprafețe înverzite se modifică raportul între suprafața cu beton sau asfalt și suprafața plantată, nemodificând modul de gestionare a terenului afectat construcțiilor. Acoperișurile verzi cunosc o mai mare extindere și popularitate fiind mai ușor de aplicat din punct de vedere tehnologic. Primul loc privind adoptarea soluțiilor tip terasă înverzită îl ocupă Germania, urmată îndeaproape de marile metropole ale lumii, de la New York [4] la Tokyo și Singapore.

În România efectele defavorabile, uneori chiar periculoase, ale IC în anotimpul cald se fac din ce în ce mai vizibile, dar nu există un program coerent care să urmărească fenomenul și să propună soluțiile cele mai potrivite. Deși cercetări sistematice privind prezența și intensitatea fenomenului IC în România s-au derulat în perioada 2000-2006, în cadrul unei colaborări la nivel European, acestea au cuprins doar arealul Municipiului București [5].

Actualmente, soluțiile de combatere a efectelor fenomenului IC asupra confortului în clădiri s-au limitat la cele adoptate de utilizatori, constând în special la instalarea în apartamente a aparatelor de condiționare a aerului. Posibilitatea integrării suprafețelor înverzite în arhitectura clădirilor cu ocazia lucrărilor de reabilitare termo-energetică a fost analizată în cadrul proiectului S.I.R. din cadrul PN2, în perioada 2008- 2012 de către colectivul de la Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași [6]. Studii pe această temă, finalizate cu elaborarea unui normativ de proiectare a acoperișurilor verzi au fost realizate și de un colectiv coordonat de conf. arh. A.M. Dabija, de la Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”, București [7].

Considerăm că promovarea unor asemenea soluții se impune cu atât mai mult, cu cât aria suprafețelor înverzite în raport cu cea a celor acoperite cu beton sau asfalt, a scăzut foarte mult în ultimii ani, ca urmare a creșterii valorii terenului în zonele centrale ale orașului. Prezenta lucrare își propune să evidențieze oportunitatea și necesitatea integrării suprafețelor înverzite în arhitectura clădirilor noi și existente pe baza unor argumente susținute de cercetări în diferite țări ale lumii, dar și de investigații proprii.

2. ACOPERIȘURI ÎNVERZITE. DIMINUAREA EFECTELOR INSULEI DE CĂLDURĂ ASUPRA CONFORTULUI INTERIOR

2.1. Alcătuire generală, tipologie

Acoperișurile înverzite sunt caracterizate de prezența vegetației în stratul expus radiației solare și pot fi înclinate sau de tip terasă având straturi cu funcțiuni specifice. Inerția termică a stratului vegetal contribuie la evitarea supraîncălzirii și asigurarea condițiilor de confort în anotimpul cald. Grosimea stratului vegetal și a mediului de creștere determină clasificarea acestor tipuri de acoperiș în trei categorii: de tip intensiv, de tip semiintensiv și de tip extensiv, reprezentate în tabelul 1 [8].

Funcție de cerințele de proiectare, aceste structuri se pot realiza atât la construcții noi cât și în etapele de reabilitare a teraselor circulabile, respectiv necirculabile.

Tabelul 1

Tipuri de terasă grădină funcție de natura plantelor și grosimea stratului vegetal [8]

Caracteristici	Extensiv	Semi-intensiv	Intensiv
Adâncimea mediului cultivabil	6... 15 cm	12... 50 cm	35... 150 cm
Accesibilitatea	Inaccesibil	Parțial accesibil	Accesibil
Greutatea	Redusă sub 300 daN/m ²	Variabilă – în jur de 300 daN/m ²	Mare - peste 300 daN/m ²
Vegetația	Mică - iarbă, flori de dimensiuni mici	Media - flori, arbuști	Mare - arbori

2.2. Bilanțul energetic la nivelul acoperișului cu strat vegetal

Mărimea și direcția fluxurilor termice care apar la nivelul acoperișului influențează în mod hotărâtor condițiile de microclimat urban, respectiv Insula de Căldură Urbană (ICU), dar și confortul interior. Toate analizele și studiile, indiferent de care din cele două obiective considerate, pornesc de la identificarea și evaluarea fluxurilor termice, în acest scop se folosesc modele analitice completate, respectiv validate prin date experimentale obținute în laborator sau in situ. Bilanțul energetic pentru acoperișul cu strat vegetal include fluxuri de căldură specifice rezultate din procesele biologice, fenomenele de evaporare – transpirație, stocarea căldurii în stratul de pământ într-o anumită stare de umiditate (figura 1 și respectiv ecuația (1)) [9].

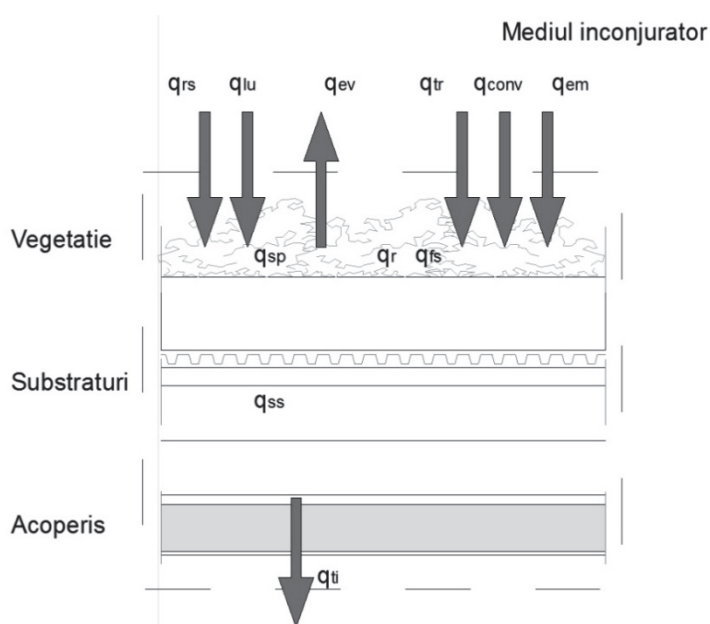


Fig. 1. Bilanțul de energie în cazul unui acoperiș verde extensiv.

Ecuția de echilibru energetic la nivelul acoperișului verde intensiv poate fi scrisă sub forma:

$$q_{rs} + q_{lu} + q_{conv} + q_{em} + q_{tr} + q_{ev} + q_{sp} + q_{ss} + q_{ti} + q_{fs} + q_r = 0 \quad (1)$$

în care: q_{rs} reprezintă aportul de căldură din radiația solară [W/m^2]; q_{lu} – aportul de căldură din unde lungi de radiație [W/m^2]; q_{conv} – căldura transferată prin convecție [W/m^2]; q_{em} – pierderea de căldură prin emisie [W/m^2]; q_{tr} – pierderea de căldură prin transpirație [W/m^2]; q_{ev} – pierderea de căldură prin evaporare [W/m^2]; q_{sp} – căldura stocată de plante [W/m^2]; q_{ss} – căldura stocată de sol [W/m^2]; q_{ti} – căldura transferată către interior [W/m^2]; q_{fs} – energia solară convertită prin procesul de fotosinteză [W/m^2]; q_r – căldura generată de respirație [W/m^2].

Literatura de specialitate prezintă diferite modele de calcul pentru majoritatea termenilor din ecuația de bilanț. Valorile unor serii de parametri cum ar fi radiația solară incidentă, căldura transferată către interior, temperatura mediului ambiant, temperatura punctului de rouă, temperatura plantelor și a solului, viteza vântului deasupra stratului vegetal, rata de evapo-transpirație nu se pot obține decât prin măsurători experimentale. Ceilalți parametri considerați în calcul sunt constanți, fiind specificați funcție de condiții reale de exploatare.

3. ANALIZA OPORTUNITĂȚII UTILIZĂRII ACOPERIȘURILOR ÎNVERZITE ÎN REABILITAREA TERMO-ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR DIN ROMÂNIA

Oportunitatea utilizării acoperișurilor înverzite în reabilitarea termo-energetică a clădirilor în vederea diminuării efectelor IC la nivel urban, constituie obiectul unui studiu în derulare, care are drept obiectiv atât evaluarea economiei de energie pentru încălzire/ răcire preconizate cât și identificarea problemelor care pot apărea în practică, ca urmare a măsurilor de soluționare ale acestora.

Principalele etape ale studiului sunt:

- analiza situației existente prin măsurători sistematice de temperatură în anotimpul rece și respectiv în anotimpul cald;
- propunerea soluțiilor de reabilitare care integrează sistemul de acoperiș înverzit;
- analiza eficienței soluțiilor de reabilitare propuse prin simularea numerică a fenomenelor de transfer de căldură și masă;
- amenajarea, cu caracter experimental, a unei suprafețe de acoperiș înverzit la o clădire existentă;
- efectuarea de măsurători sistematice privind regimul de temperatură și umiditate în sezonul rece, respectiv cald la acoperișului experimental;
- evaluarea efectelor acoperișului înverzit asupra consumului energetic și confortului termic în spațiile adiacente;

În această lucrare se prezintă primele trei etape ale studiului menționat mai sus, estimările fiind efectuate exclusiv pentru condițiile specifice sezonului cald din zona Municipiului Iași.

3.1. Determinări privind condiții climatice specifice anotimpului cald din municipiul Iași

Determinările de temperatură s-au derulat pe parcursul a 24 ore în luna august 2013 într-un spațiu situat la ultimul nivel, cu destinația de birou, situat în spațiul construit al Facultății de Construcții și Instalații din Iași. Pentru determinarea temperaturii aerului exterior la nivelul terasei și respectiv a aerului interior într-un spațiu adiacent s-au folosit senzori tip Haxo-8. Datele înregistrate, prezentate în tabelul 2,

evidențiază valori de temperatură ale aerului interior mai ridicate decât cele ale aerului exterior și cu mult peste valoarea de confort recomandată pentru perioada de vară, respectiv de 26 °C.

Tabelul 2

Valori de temperatură înregistrate în ziua de 9 august 2013 în Municipiul Iași, Facultatea de Construcții și Instalații

Mediul	Temperatura		
	Maximă	Medie	Minimă
Exterior	36,8°C	28,2°C	18,8°C
Interior (ultimul nivel)	34,8°C	32,3°C	31,4°C

Este evidentă influența acoperișului terasă care transmite spre interior un flux de căldură cu valori semnificative, datorită capacității de absorbție a radiației solare (albedo-ului redus).

**3.2. Propuneri de reabilitare la nivelul acoperișului.
Evaluarea eficienței prin simulare numerică**

Pentru diminuarea fluxului de căldură care pătrunde în spațiul util în perioada caldă a anului s-au considerat două soluții de reabilitare, reprezentate în figura 2, pentru clădirea din cadrul Facultății de Construcții și Instalații din Iași, utilizată pentru monitorizarea valorilor de temperatură prezentate în tabelul 2:

- amenajarea acoperișului înverzit peste terasa existentă, fără termoizolație suplimentară;
- amenajarea acoperișului înverzit peste terasa existentă, pe care se prevede aplicarea unei termoizolații suplimentare.

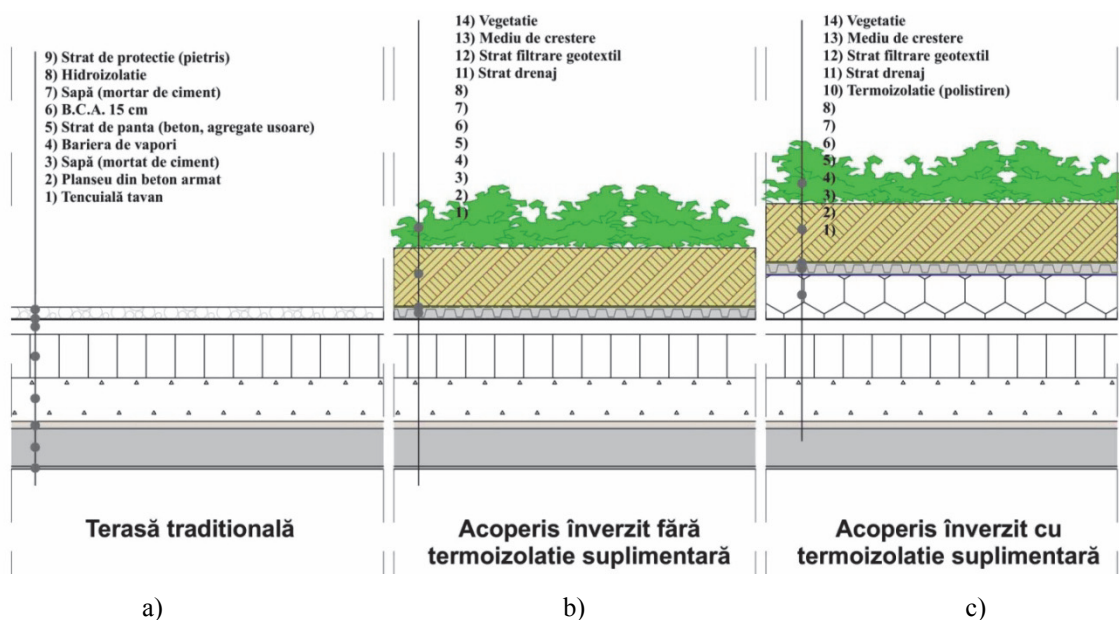


Fig. 2. Propuneri soluții de reabilitare pentru un acoperiș convențional (a): acoperiș înverzit fără termoizolație suplimentară (b) și respectiv cu termoizolație suplimentară (c).

Pentru evaluarea eficienței soluțiilor propuse au fost efectuate simulări numerice ale câmpului termic unidirecțional în regim variabil, utilizând softul WUFI, versiunea 2.1.1.73 [10]. Analiza cuprinde soluții cu mare probabilitate de apariție în condiții reale de exploatare pentru un acoperiș înverzit cu strat vegetal (sol) cu și fără vegetație și strat vegetal (sol) în stare uscată respectiv în stare saturată. Luând în considerare și situația inițială, terasa convențională, au rezultat nouă cazuri de simulare.

Condițiile de climat exterior, respectiv temperatura aerului, radiația solară directă și difuză, au fost cele corespunzătoare lunii august 2013, datele fiind colectate de la stația Meteo Mădârjac, județul Iași furnizate prin amabilitatea Departamentului Geografie, Facultatea de Geografie și Geologie, Iași. Pentru mediul interior a fost considerată valoarea temperaturii de confort pentru condiții de vară, de 26 °C. Din simulările numerice efectuate cu ajutorul softului de calcul WUFI am obținut informații privind regimul de temperatură și umiditate pe frontierele domeniului analizat (respectiv pe suprafața exterioară a terasei și pe suprafața tavanului), la limitele straturilor precum și în orice secțiune pe grosimea acestora. În acest studiu, programul a furnizat date referitoare la regimul diurn de temperatură pe suprafața exterioară și interioară a terasei pentru toate cele nouă cazuri analizate, incluzând și cazul terasei tradiționale reprezentate în tabelul 3.

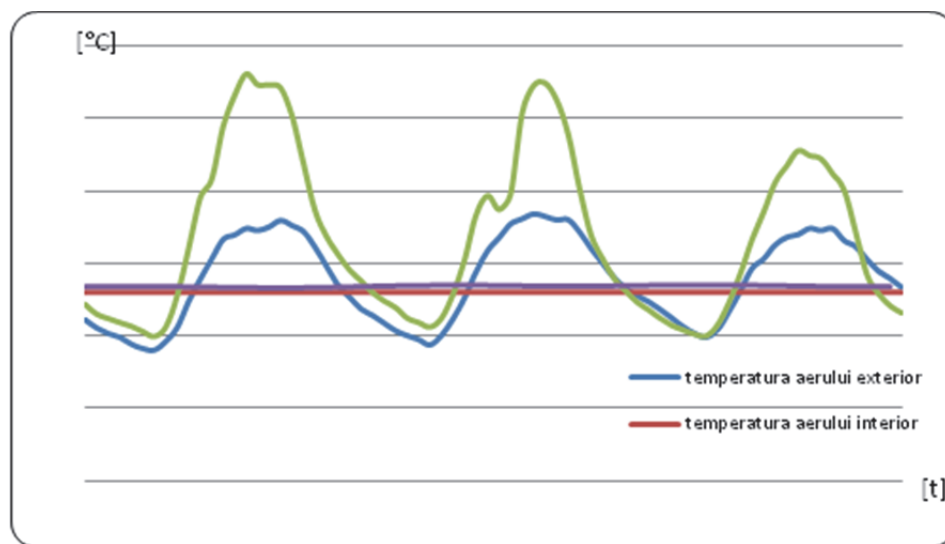


Fig. 4. Regimul diurn de temperatură pentru situația existentă (terasa tradițională) rezultat prin simulare cu programul WUFI.

Prelucrarea datelor experimentale a condus la evaluarea valorilor unor mărimi considerate ulterior criterii de analiză a măsurii în care diferiți parametri cum sunt prezența vegetației, gradul de izolare termică și starea de umiditate a solului, parametri care influențează comportarea termo-energetică a acoperișului înverzit. Astfel:

- diferența dintre valorile maxime și minime ale temperaturii suprafeței exterioare, $\Delta\theta_{se}$ permite evidențierea capacității de absorbție/reflexie a suprafeței înverzite în raport cu situația inițială;
- diferența dintre valorile maxime și minime ale temperaturii suprafeței interioare, $\Delta\theta_{si}$ permite evaluarea măsurii în care sunt respectate condițiile de confort;
- valoarea densității medii a fluxului termic, q , ce pătrunde în spațiul util dinspre exterior, care trebuie compensat prin funcționarea instalației de climatizare în scopul menținerii constante a temperaturii de confort de 26 °C și dă măsura eficienței energetice a soluției propuse.

Tabelul 3 prezintă sintetic limitele criteriilor de analiză pentru cele nouă soluții de acoperiș considerate.

Tabelul 3

Valorile criteriilor caracteristice situațiilor analizate rezultate prin simulare numerică pentru cele nouă soluții considerate

Nr. caz	Descriere	$\Delta\theta_e$ [°C]	$\Delta\theta_{se}$ [°C]	$\Delta\theta_{si}$ [°C]	q [W/m ²]
1	Terasă convențională	25,33	44,56	1,325	6,134
2	Acoperiș înverzit, sol uscat, fără vegetație		45,62	0,183	1,062
3	Acoperiș înverzit, sol saturat, fără vegetație, cu izolație suplimentară		40,88	0,190	1,066
4	Acoperiș înverzit, sol uscat, fără vegetație, fără izolație suplimentară		45,087	0,851	4,61
5	Acoperiș înverzit, sol saturat, fără vegetație, fără izolație suplimentară		40,15	1,046	4,62
6	Acoperiș înverzit, sol uscat, cu vegetație, cu izolație suplimentară		33,57	0,173	1,06
7	Acoperiș înverzit, sol saturat, cu vegetație, cu izolație suplimentară		26,22	0,18	1,13
8	Acoperiș înverzit, sol uscat, cu vegetație, fără izolație suplimentară		32,74	0,74	3,83
9	Acoperiș înverzit, sol saturat, cu vegetație, fără izolație suplimentară		26,17	0,86	4,688

Rezultatele prezentate pun în evidență influența următorilor factori:

1. *Prezența vegetației* influențează diferența dintre valorile maxime și minime ale temperaturii suprafeței exterioare prin modificarea albedoului, reprezentată în figura 5.

Implicit, prezența vegetației conduce la diminuarea valorii fluxului de căldură ce pătrunde în clădire până la 68% în cazul unui sol uscat și respectiv 76% în cazul solului saturat, chiar în absența izolației suplimentare ilustrate de cazul 5, respectiv cazul 8).

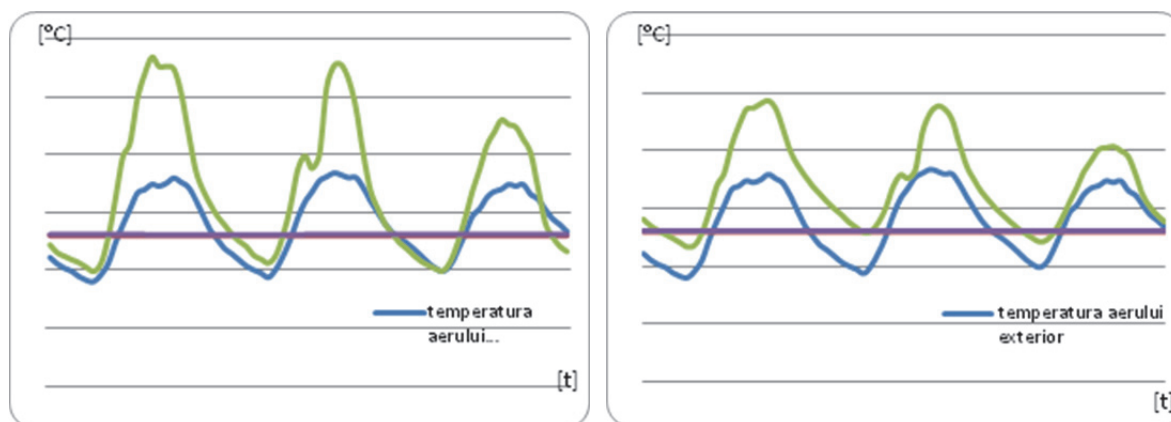


Fig. 5. Influența vegetației asupra regimului de temperatură la suprafața terasei pentru 8, 9 și 10 august 2013: cazul 2 (stânga) – izolație suplimentară, sol uscat, fără vegetație; cazul 6 (dreapta) – izolație suplimentară, sol uscat, cu vegetație.

2. *Termoizolația suplimentară* este factorul care intervine semnificativ în valoarea fluxului de căldură ce determină supraîncălzirea și suprasolicitarea instalației de climatizare. Astfel, indiferent de

prezența vegetației, valoarea fluxului de căldură se diminuează cu 15 %, situație prezentă în cazurile 3, 4 respectiv 6, reprezentate în figura 6;

3. *Starea de umiditate a solului* influențează valoarea fluxului de căldură dirijat spre interior prin creșterea conductivității termice a solului și implicit reducerea rezistenței termice. Acest lucru este mai evident pentru soluțiile în care este prezentă vegetația, dar nu este prevăzută izolație suplimentară, conform cazurilor 8 și 9 reprezentate în figura 7.

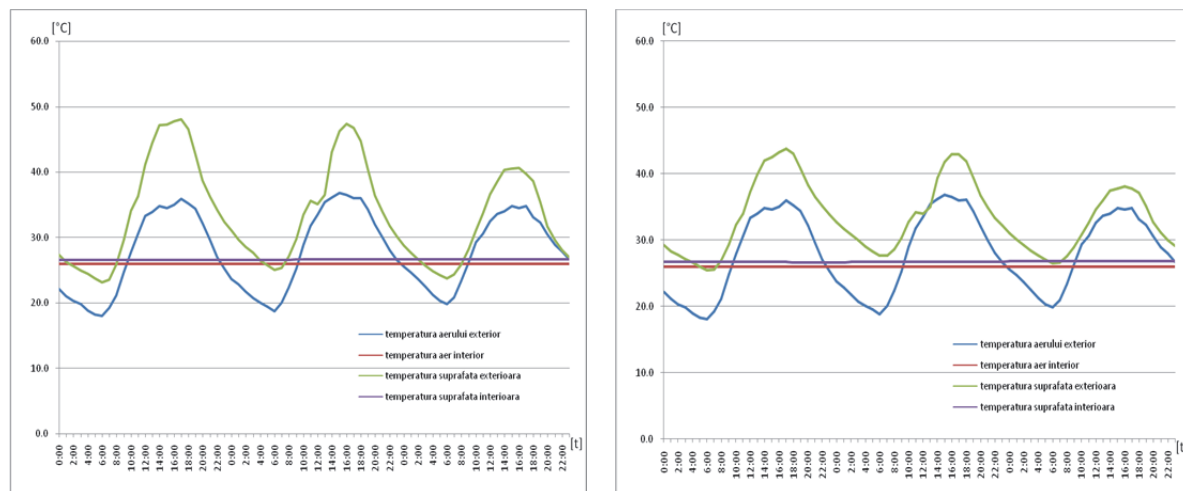


Fig. 6. Influența vegetației asupra regimului de temperatură la suprafața terasei pentru 8, 9 și 10 august 2013: cazul 4 (stânga) – fără izolație suplimentară, sol uscat, fără vegetație; cazul 6 (dreapta) – izolație suplimentară, sol uscat, cu vegetație.

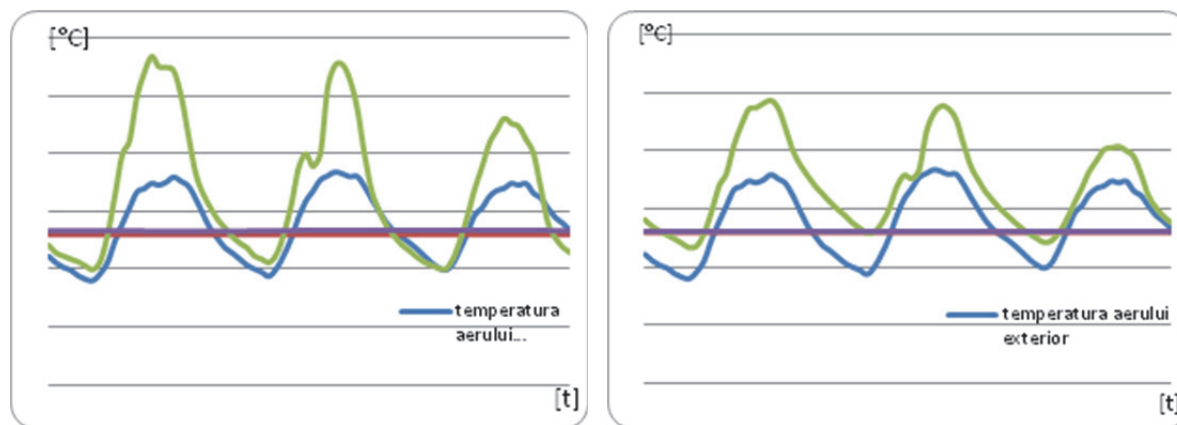


Fig. 7. Influența umidității asupra regimului de temperatură la suprafața terasei pentru 8, 9 și 10 august 2013: cazul 8 (stânga) – fără izolație suplimentară, sol uscat, fără vegetație; cazul 9 (dreapta) – izolație suplimentară, sol saturat, cu vegetație.

Referitor la temperatura suprafeței interioare se constată că aceasta prezintă diferențe foarte mici între valoarea maximă și minimă, acestea depășind 1°C doar în cazul situației existente ($1,325^{\circ}\text{C}$) și în cazul 5, respectiv acoperiș înverzit fără termoizolație suplimentară și sol saturat ($1,046^{\circ}\text{C}$). Acest lucru se explică prin inerția termică ridicată ce caracterizează sistemul de acoperiș terasă.

4. CONCLUZII ȘI DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRII

Rezultatele cercetărilor derulate până în prezent în cadrul simulărilor numerice conduc la formularea următoarelor concluzii:

- fenomenul ICU este prezent și în marile orașe din România. Măsurătorile efectuate în Iași în vara anului 2013 relevă diferențe de temperatură mai mari de 10 °C între zona centrală și cea limitrofă;
- efectele defavorabile ale ICU se resimt în special prin situații de disconfort termic determinate de creșterea temperaturii aerului interior, respectiv peste 30°C, în special în spațiile adiacente acoperișului terasă. În consecință, pentru asigurarea condițiilor normale de confort pentru clădirea utilizată pe parcursul monitorizării parametrilor climatici, este necesară funcționarea instalațiilor de aer condiționat, consumatoare de energie.

Concluzii generale

Integrarea unor suprafețe înverzite în anvelopa clădirii contribuie pe de o parte la atenuarea efectului IC la nivel urban, diminuând în același timp fluxul de căldură ce pătrunde în clădire prin modificarea albedoului. Transformarea acoperișurilor terasă în acoperișuri înverzite în cadrul lucrărilor de reabilitare termo-energetică a clădirilor existente poate constitui o soluție viabilă, simulările numerice evidențiind faptul că vegetația diminuează valoarea fluxului de căldură ce pătrunde în clădire cu 68% în cazul unui sol uscat și respectiv 76% în cazul solului saturat, chiar în absența izolației termice suplimentare.

În continuarea cercetărilor se vor efectua o serie de analize similare prin metoda simulării numerice pentru condiții climatice specifice anotimpului rece, care va lua în considerare transferul de căldură cuplat cu transferul de masă. Se menționează de asemenea faptul că softul WUFI utilizat pentru simulările numerice consideră doar valoarea albedoului, ce modifică parțial valoarea fluxului de căldură dirijat spre interior. Comportarea reală determinată de celelalte componente ale bilanțului energetic cum sunt evapotranspirația, fotosinteza, căldură latentă de evaporare și altele, nu poate fi evaluată decât prin măsurări pe un model experimental la scară naturală, care în esență constituie obiectivul următoarei etape al cercetării.

Bibliografie

- [1] L. Howard, *The climate of London- deduced from meteorological observations*, Volume 1, Volume 2, Volume 3, International Association for Urban Climate, second edition, 1833.
- [2] A. Sundborg, *Climatological studies in Uppsala with special regard to the temperature conditions in the urban area*, Geographica, 22, Q.J. R. Meteorological Society, 78, 1952, 653-654.
- [3] T.J. Chandler, *The changing form of London's heat-island*. Geography, 46, 1961, 295-307.
- [4] C. Rosenzweig, S. Gaffin, L. Parshall, *Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report*, Columbia University Center for Climate Systems Research NASA Goddard Institute for Space Studies, 2006, <http://pubs.giss.nasa.gov/abs/ro05800e.html>.
- [5] S. Cheval, M. Žák, A. Dumitrescu, V. Květoň, *MODIS- Based Investigations on the Urban Heat Islands of Bucharest (Romania) and Prague (Czech Republic)*, Research Plan no. MSM0021620860, European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites.
- [6] M.S. Georgescu și colab., *Rezultatele proiectului de cercetare S.I.R.: Reabilitarea complexă, multicriterială, integrată a ansamblurilor urbane și de locuințe. Certificarea clădirilor durabile.*, Editura Universitară „Ion Mincu”, București, 2011.
- [7] Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”, *Proiectarea și execuția acoperișurilor verzi la clădiri noi și existente, 2010*.
- [8] I. Baran, I. Bliuc, *Soluții moderne de închideri și finisaje pentru clădiri*, Editura Politehniem, Iași 2011.
- [9] N. Carroll, *The Thermal and Rainwater Runoff Performance on an Extensive Green Roof System*, Master Degree Thesis, Master of Science in Renewable Energy Systems and the Environment, 2010.
- [10] WUFI 2.1.1.73 Software, www.wufi.de.