

Variații temporale și spațiale ale efectului insulei de căldură urbană; Studiu de caz pentru municipiul București

Space and time variations of the effect of the urban heat island; Case study for the city of Bucharest

Florinela Ardelean¹

¹Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, B-dul Pache Protopopescu nr. 66, București, România
E-mail: florinela.ardelean@gmail.com

Rezumat. *Relația dintre climă și oraș este reciprocă. Clima influențează modul în care este utilizat spațiul orașului, fiind un element esențial în proiectarea, execuția și exploatarea clădirilor. Orașul, prin amenajare și activități specifice, modifică condițiile climatice regionale. În această lucrare s-a realizat o analiză a insulei de căldură urbane (ICU), ca rezultat al acestei interacțiuni. Indicatorul care descrie ICU este diferența de temperatură dintre zona centrală a orașului și cea de la periferie. Folosindu-se valorile medii lunare ale temperaturii troposferei joase precum și a altor parametri meteorologici, valori obținute în urma prelucrării datelor corespunzătoare intervalului 2005-2013, s-au putut face aprecieri asupra zonei metropolitane a Bucureștiului.*

Cuvinte cheie: insulă de căldură, parametri climatici, aglomerare urbană

Abstract. *The relationship between the city and the climate is reciprocal. The climate influences the way the city's space is used, being an essential element in designing, execution and exploitation of buildings. The city, through its specific activities and arrangement, modifies regional climate conditions. This paper analyzes the urban heat island (UHI), as a result of this interaction. The indicator, which describes UHI, is the temperature difference between the city's downtown and outskirts. Using the average monthly temperatures of the lower troposphere as well as other meteorological parameters, the values obtained by processing data corresponding to the 2005 – 2013 interval, appreciations could be made on the metropolitan area of Bucharest.*

Key words: heat island, climate parameters, urban congestion

1. Introducere

Asistăm în prezent la o tendință de urbanizare excesivă, fapt care influențează direct calitatea aerului exterior și interior, caracteristicile microclimatice ale zonei, condițiile de viață și starea sănătății populației. Adaptarea la noile condiții a impus reamenajarea și extinderea teritoriului construit. Astfel, s-au înregistrat substituții de

ecosisteme, au fost înlocuite zonele naturale acoperite cu vegetație cu suprafețe în mare parte impermeabile și cu o biodiversitate redusă. Obținerea acestor zone impermeabile este rezultatul utilizării materialelor de tipul betonului, cărămizilor, sticlei, gresiei, asfaltului, bitumului, etc, pentru a construi clădiri moderne, cu consum energetic redus, drumuri și locuri de parcare. Analizându-se valorile principalilor factori meteorologici temperatură, umiditate relativă, intensitatea radiației solare la nivelul solului, s-au înregistrat diferențe semnificative între zona centrală a orașului și zonele limitrofe acestuia [1, 2]. Existența temperaturilor mai ridicate în partea centrală a aglomerărilor urbane definește *insula de căldură*, în care temperatura scade dinspre centru către periferie. La schimbările climatice deja demonstrate [3] se adaugă și dezvoltarea insulei de căldură urbane. Apariția insulei de căldură este manifestarea climatică cea mai cunoscută a influenței mediului urban asupra climatului. Din literatura de specialitate rezultă că există cercetări efectuate în diferite țări referitoare la insula de căldură urbană [4,5,6,7], la efectul acesteia asupra sănătății omului [8,9] și asupra biodiversității, dar se impune continuarea studiilor atât în domeniul combaterii cauzelor apariției insulei de căldură urbane, cât și în cel al diminuării efectelor prin acțiuni de adaptare. Alături de încălzirea globală, urmările sunt deja vizibile și inevitabile din cauza inerției sistemului climatic. Avându-se în vedere gravitatea acestor aspecte observate, s-a impus realizarea unui studiu care să urmărească evoluțiile simultane în timp ale valorilor medii ale parametrilor climatici: temperatură și cantitate de precipitații, atât în centrul municipiului București, cât și la periferia acestei aglomerări urbane reprezentative.

2. Orașe și climat

2.1. Cauzele apariției insulei de căldură urbane

Orașul – prin amenajarea teritoriului aferent, clădirile sale, materialele de construcții folosite, rugozitate, scăderea suprafeței acoperită cu vegetație și înlocuirea cu suprafețe impermeabile, activitățile antropice generatoare de căldură și emisiile suplimentare de poluanți sub formă de gaze, pulberi, aerosoli, *este sursa* perturbațiilor termice, radiative, hidrologice și aerologice și influențează climatul, determinând o încălzire a troposferei joase.

Cauzele apariției insulei de căldură urbane (ICU) sunt în prezent bine documentate de comunitatea științifică [1, 10, 11]. Dintre acestea s-ar putea aminti:

- a) înălțimea și amplasarea clădirilor - influențează evacuarea pe timp de noapte a energiei solare absorbite în timpul zilei de materialele de construcții (valori diferite ale conductivității termice);
- b) albedouri mai mici - datorate materialelor urbane;
- c) existența străzilor canion și a clădirilor înalte și compacte ce le mărginesc - determină o creștere a radiației infraroșii absorbite;

Variații temporale și spațiale ale efectului insulei de căldură urbană; Studiu de caz pentru municipiul București

- d) o parte tot mai mare din radiația solară absorbită la suprafață este transformată în căldură sensibilă (încălzirea suprafețelor) în defavoarea căldurii latente (schimbarea stării fizice a materiei fără modificarea temperaturii) - se datorează înlocuirii solurilor umede cu suprafețe acoperite și impermeabile, rezultând o scădere a nivelului evaporării ce ar avea loc la nivelul acestor suprafețe;
- e) o mai mare emisie de căldură sensibilă și latentă datorată arderii petrolului din transportul urban, activității industriale și climatizarea spațiilor locuite.

Astfel, diferența în orice moment al zilei dintre temperatura din interiorul cartierelor de blocuri și cea măsurată în câmpul de la marginea orașelor este de cel puțin opt grade [12].

2.2. Bilanțul energetic în troposfera urbană

Așa cum s-a evidențiat anterior, urbanizarea modifică bilanțul energetic normal, respectiv cantitatea de energie solară absorbită de suprafața terestră, iar utilizarea acesteia este diferită. În meteorologie interesează în special regiunile spectrale ultravioletă, vizibilă și infraroșie, cărora le corespund cele mai mari cantități de energie radiantă.

În *zonele rurale* căldura din timpul zilei este în mare parte utilizată pentru evaporarea apei. În *oraș*, conținutul de umiditate este mult mai scăzut, deoarece evaporarea nu se mai produce în aceeași măsură. Diferența de căldură este înmagazinată de beton, asfalt, de construcții în general. Ea este restituită în timpul nopții încetinind astfel scăderea temperaturii în zonele urbane [13]. La această cantitate de căldură cedată se adaugă și căldura provenită din activitățile industriale, traficul rutier, climatizarea și ventilarea mecanică a clădirilor, precum și din activitățile domestice. Nu puține au fost situațiile când în același timp s-au înregistrat ploi în zona centrală și ninsori în zonele rurale adiacente. Aceasta este și explicația scăderii în zonele urbane a numărului anual de zile cu îngheț.

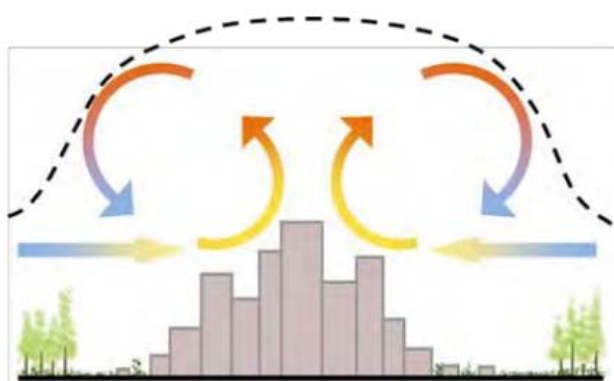


Fig. 1. Circulația maselor de aer – troposfera urbană

Circulația maselor de aer specifică insulei de căldură (figura 1), caracterizată prin ascendențe în zona centrală (stratul limită atmosferic se ridică) și coborâre spre periferie, favorizează aflusul de aer rece și mai curat spre oraș, determinând o îmbunătățire ușoară a aerului în zona centrală, dar și o creștere a poluării de fond în zonele periurbane (briza rurală).

În același timp, temperaturile ridicate din zona centrală favorizează descompunerea rapidă a numeroaselor deșeuri organice menajere, ale căror emisii toxice afectează chimia atmosferei urbane.

Poluanții sub formă de particule și gaze, precum și aerosolii mai numeroși în atmosfera urbană absorb sau difuzează o parte din radiația solară incidentă, efectul constând într-o reducere a radiației solare înregistrată la nivelul solului. Acest lucru determină o posibilă creștere a duratei de persistență a unui strat de inversiune termică și implicit vor fi împiedicate dispersia poluanților și autopurificarea atmosferei.

Albedoul terestru ca și raport dintre energia reflectată prin difuzie și energia incidentă este variabil în timp. El depinde de aspectul orașului: prezența spațiilor verzi, culorile pereților și acoperișurilor clădirilor. Străzile absorb radiația, o parte este reflectată pe pereți și pătrunde în interiorul clădirilor (figura 2).

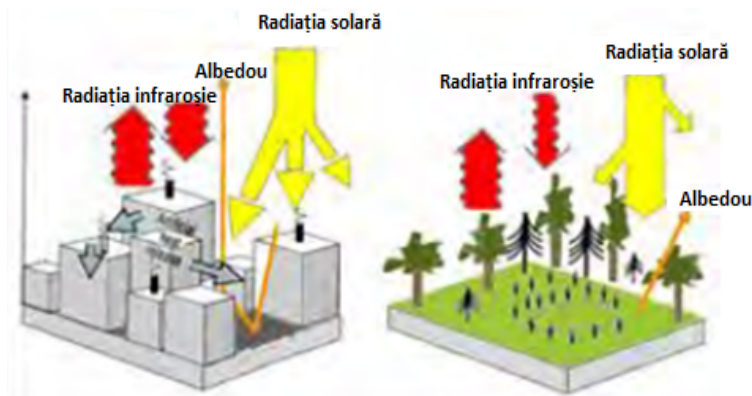


Fig. 2. Transferul radiativ în troposfera urbană/rurală

În cazul unei străzi înguste, soarele nu poate să pătrundă decât în mică măsură și implicit absorbția este mai slabă. În cazul unui bulevard, reflexia pereților este mai slabă, iar stratul care asigură acoperirea carosabilului joacă un rol important. În concluzie, albedoul orașelor este mai mic decât cel din zonele rurale cu cca. 16 % [13].

În ecuația de bilanț energetic (1) se regăsesc următorii termeni:

$$Q^* + Q_P = Q_H + Q_E + Q_S \quad (1)$$

- Q^* – radiația la nivelul suprafeței terestre;
- Q_P – energia antropică;
- Q_H – căldură sensibilă sau perceptibilă (energie care încălzește prin conducție și convecție straturile inferioare de aer);
- Q_E – căldură latentă (energia conținută în apa evaporată);
- Q_S – căldura acumulată în principal de elementele exterioare ale construcțiilor.

Energia antropică este caracteristică orașului. Aceasta este mult mai importantă în perioada rece a anului și are următoarele componente principale: încălzirea rezidențială, circulația urbană, industria, iluminatul exterior și metabolismul uman [13].

Căldura latentă de vaporizare, adică energia consumată pentru evaporarea apei, este mai mică în oraș. În zonele rurale, în perioada ploilor, apa se infiltrază în sol, iar ulterior se evaporă și se întoarce în atmosferă. Consumul energetic pentru evaporare

Variații temporale și spațiale ale efectului insulei de căldură urbană; Studiu de caz pentru municipiul București

este de cca. 2500 kJ/kg apă evaporată la 0°C și 2407 kJ/kg la 40°C. Într-un oraș cu spații verzi tot mai puține, cu multe suprafețe impermeabile, apa rezultată din ploii se scurge pe acoperișuri și șosele, dispare ulterior în rețeaua de canalizare și apoi direct în râuri. Urmarea constă într-o evaporare mult mai redusă. Această reducere a căldurii latente de evaporare depinde în primul rând de topografia urbană. În orașe, unde suprafața este în mare parte impermeabilă, căldura latentă utilizată nu reprezintă decât o mică parte a celei rezultate prin procesul de *evapotranspirație* (fenomenul de pierdere combinată a umidității solului prin evaporare directă și prin transpirația plantelor) specific mediului înconjurător. Acest lucru duce la o creștere substanțială a căldurii sensibile, care încălzește straturile atmosferice joase. Aceasta este cauza principală a formării insulelor de căldură urbane. Insulele de căldură apar în special noaptea.

3. Evoluția parametrilor climatici în zone cu densități diferite de populație – Studiu de caz pentru municipiul București

Municipiul București are o suprafață de 228 km² (0,8 % din suprafața României), din care suprafața construită este de 70% [14]. Climatul este de tip temperat – continental cu tendințe de excesivitate. Capitala României face parte din sectorul climatic al Câmpiei Române și al Luncii Dunării.

Temperatura medie anuală a aerului este de 10,5°C. Administrația Națională de Meteorologie are amplasate pe teritoriul municipiului București trei stații meteorologice, dispuse atât în zona centrală, cu densitate mare de populație (București-Filaret), cât și spre periferie (București – Băneasa) și zona periurbană (București-Afumați). Normalele climatologice pentru cele trei stații și pentru intervalul de referință 1961-1990 sunt: 10,5 °C (București-Filaret), 10,6 °C (București – Băneasa) și 11,2 °C (București-Afumați) [15].

În continuare sunt prezentate sintetic evoluțiile parametrilor meteorologici strâns legați de fenomenul insulei de căldură: temperatura medie anuală (figura 3) și cantitate anuală de precipitații (figura 4).

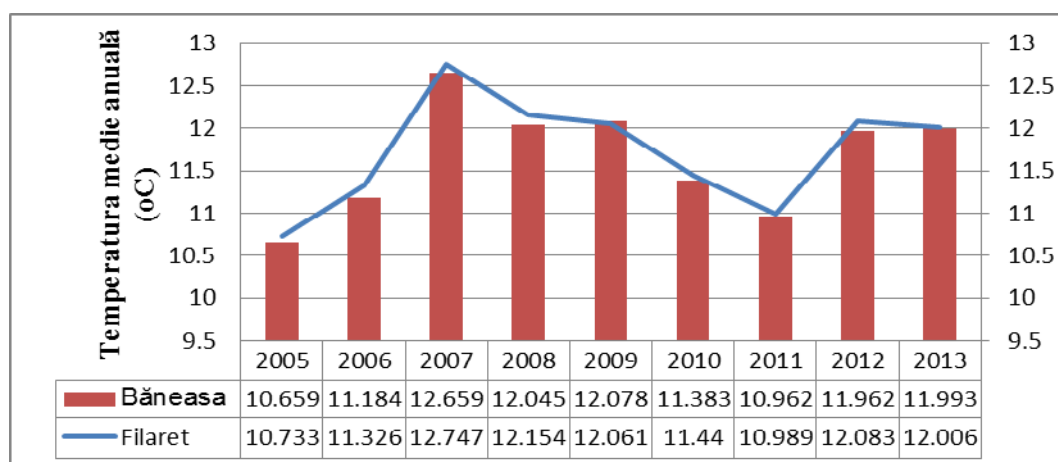


Fig. 3. Variația temperaturii medii anuale

Baza de date necesară realizării acestui studiu este rezultatul prelucrării statistice a datelor obținute din măsurătorile continue cu pas zilnic de timp [16], efectuate în intervalul 2005-2013, într-o zonă centrală a municipiului București (Filaret) și una periferică (Băneasa).

Din analiza variației temperaturii medii anuale la cele două stații a rezultat faptul că:

- În intervalul de timp ce a făcut obiectul analizei, la ambele stații s-au înregistrat depășiri ale normalelor climatologice;
- Temperatura medie anuală la stația amplasată în centrul municipiului București a fost în toți anii ușor mai mare decât cea înregistrată la periferie; diferența nu foarte mare se datorează și traficului rutier ce caracterizează ambele zone.

Precipitațiile atmosferice - reprezintă un parametru meteorologic important în evaluarea calității atmosferei, prin efectul de spălare a aerului în troposfera inferioară, unde se desfășoară activitățile umane.

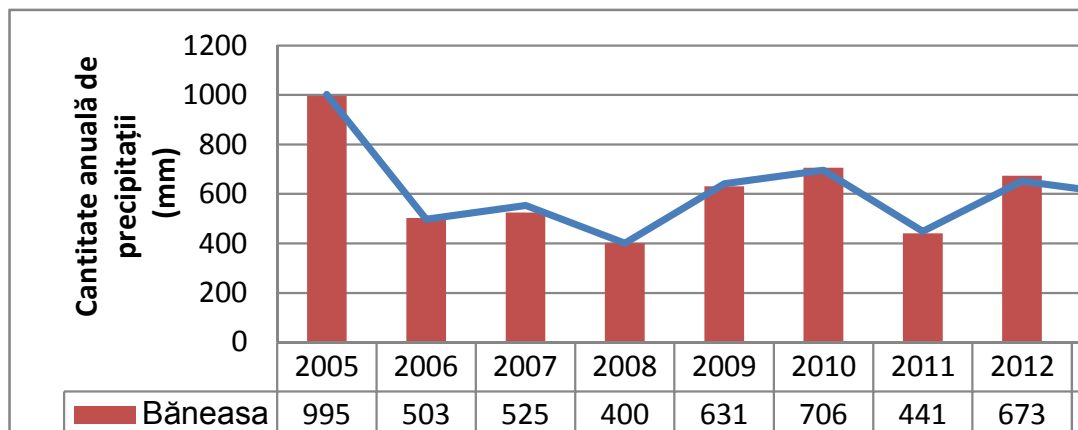


Fig. 4. Variația cantității anuale de precipitații

Se poate observa din figura 4 că în cei mai mulți ani din perioada ce face obiectul analizei, cele mai mari cantități medii anuale de precipitații au căzut în zona centrală, cu densitate mare de populație (ex. anul 2005 - 1002 mm la stația București-Filaret), fiind favorizat transferul poluanților din aer și de pe suprafața solului spre rețeaua de canalizare și apoi spre sistemele acvatice. Explicația ar fi și cantitatea mare de poluanți sub formă de pulberi cu rol de nuclee de condensare.

Cantitățile de precipitații puțin mai mari din zona centrală se datorează și puternicei instabilități a maselor de aer influențată de topografia complexă a urbanului (cauză a apariției insulei de căldură urbane).

Se vor analiza în continuare temperaturile maxime (figura 5) și minime (figura 6) înregistrate în intervalul 2006-2015, în zile apropiate, la aceleași două stații [15].

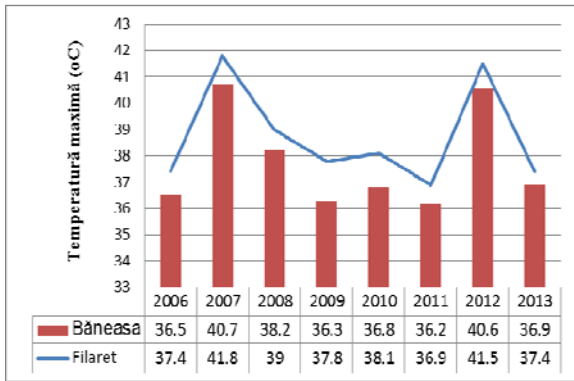


Fig.5. Variația temperaturii maxime

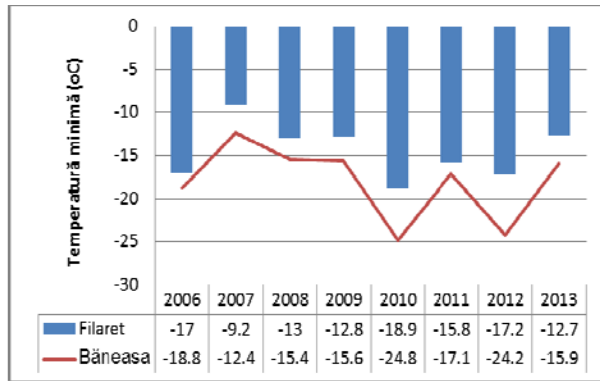


Fig. 6. Variația temperaturii minime

Analizând comparativ rezultatele măsurătorilor efectuate la cele două stații, se poate evidenția faptul că valorile corespunzătoare temperaturilor maxime și minime anuale sunt ușor mai mari în cazul stației amplasate în zona centrală (există mai multe surse de energie termică).

Astfel, în cazul municipiului București se înregistrează variații pozitive ale mediilor climatologice multianuale și influența spațiilor construite este evidentă. Acest lucru evidențiază prezența fenomenului de insulă de căldură urbană, ce cuprinde o mare parte a intravilanului acestei aglomerări urbane caracterizată printr-o densitate mare de populație.

Un alt element important în analiza insulei de căldură urbane ar fi zilele cu ceață. Prelucrându-se datele corespunzătoare intervalului 1973-2017 [17], se observă faptul că numărul de zile cu ceață este ușor mai mare în zona urbană (București - Băneasa) față de cea periurbană (București - Afumați) (figura 7).

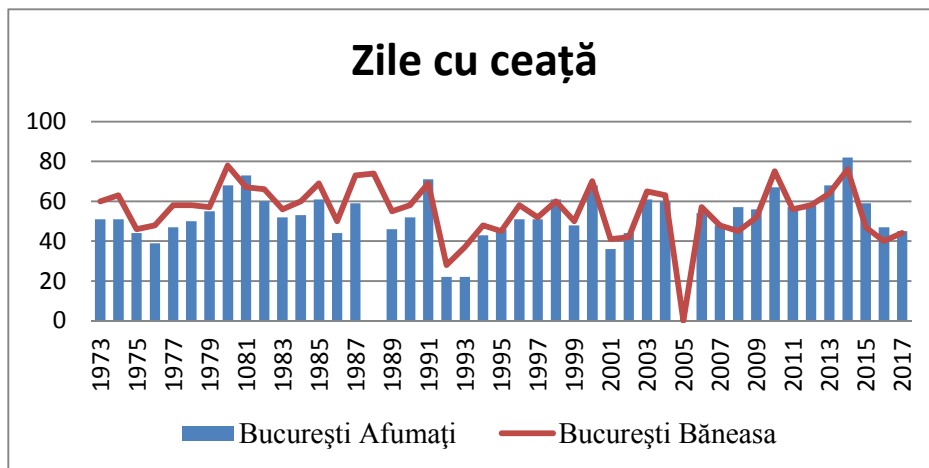


Fig. 7. Numărul mediu de zile cu ceață

Explicația constă în existența unui nivel de poluare cu particule cu rol de nuclee de condensare mai mare în zona urbană, în condițiile în care temperatura punctului de rouă înregistrează la ambele stații valori apropiate.

Sub efectul încălzirii globale și al fenomenului de insulă de căldură urbană, marile orașe ar putea înregistra o creștere suplimentară a temperaturii de 7°C sau chiar 8°C până în 2100 [18]. Aproximativ 5°C ar fi atribuite încălzirii globale, iar restul ar proveni de la fenomenul analizat în această lucrare.

4. Concluzii

- Insula de căldură urbană (ICU) - face orașul mai cald decât împrejurimile lui, accentuează canicula și valurile de căldură, crește consumul de energie pentru răcirea clădirilor, produce disconfort, îmbolnăviri și este însoțită de un aer mai poluat;
- ICU influențează negativ și ecosistemele situate mai departe de orașe;
- Zonele urbane tind să fie mai uscate decât cele rurale din cauza lipsei spațiului verde, existenței suprafețelor impermeabile și a sistemelor de drenaj urbane care elimină rapid apa din aceste zone;
- Diferența dintre temperaturile urbane și cele rurale, măsurate la același moment de timp, depinde de densitatea populației, amenajarea teritoriului construit, în general de amploarea și diversitatea activităților antropice;
- Existența simultană a unei perioade caniculare și a unor emisii importante de NO_x și COV (rezultate în special din traficul rutier intens înregistrat în centrul orașului) sunt cauzele principale ale apariției unui episod de smog fotochimic însoțit de creșterea concentrației de O₃ troposferic;
- Analiza valorilor parametrilor meteorologici măsurați în municipiul București a evidențiat o intensificare a efectelor negative ale fenomenului de insulă de căldură urbană;
- Evaluarea temporală și spațială a insulelor de căldură urbane și a strategiilor de punere în aplicare a planurilor de atenuare a acestora devin din ce în ce mai importante pentru agențiile guvernamentale și cercetătorii din multe țări afectate.

Referințe

- [1] ***Institut Amenagement Urbanisme Ile de France (IAU îdF), “Adapter l’Île-de-France à la chaleur urbaine”, Septembre 2017
- [2] C. Coseo, L. Larsen, “How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago”, *Journal of Landscape and Urban Planning*, pp. 117–129, 2014
- [3] *** IPCC, 2014, Fifth Assessment Synthesis Report; <http://www.ipcc.ch/>
- [4] S.K. Jusuf, N. H. Wong, E. Hagen, R. Anggoro, Y. Hong, “The influence of land use on the urban heat island in Singapore”, *Journal of Habitat International*, Vol. 31, Issue 2, pp. 232-242, 2007
- [5] H. Wu, T. Wang, N. Riemer, P. Chen, M. Li, S. Li, “Urban heat island impacted by fine particles in Nanjing, China”, *Scientific reports* 7, 2017, <https://www.nature.com/articles/s41598-017-11705-z>

- [6] *S. Cheval, A. Dumitrescu, A. Bell*, “The urban heat island of Bucharest during the extreme high temperatures of July 2007”, *Theoretical and Applied Climatology*, 97(3), pp. 391-401, 2009
- [7] *O. Rotem-Mindali, Y. Michael, D. Helman, I.M. Lensky*, “The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing”, *Journal of Applied Geography* **Vol. 56**, pp. 145-153, 2015
- [8] *L. Kleerekoper, M. Esch, T.B. Salcedo*, “How to make a city climate, addressing the urban heat island effect”, *Journal of Resources, Conservation and Recycling* **Vol.64**, pp. 30– 38, 2012
- [9] *E.J. Gago, J. Roldan, R. Pacheco-Torres, J. Ordóñez*, “The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects”, *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* **Vol. 25**, pp. 749–758, 2013
- [10] *I.C. Iojă*, “Metode și tehnici de evaluare a calității mediului în aria metropolitană a municipiului București”, Editura Universității București, 260 pag, 2009
- [11] *A. Mohajerani, J. Bakaric, T. Jeffrey-Bailey*, “*The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete*”, *Journal of Environmental Management* **Vol.197**, pp. 522-538, 2017
- [12] <http://www.agir.ro/buletine/2017.pdf>
- [13] *F. Ardelean*, „Elemente de meteorologie și climatologie”, Editura MATRIX ROM, ISBN 978 – 606 – 25 – 0073 – 3, 277 pagini, 2014
- [14] www.pmb.ro
- [15] ***Primăria Municipiului București, Planul Integrat de Calitate a Aerului în Municipiul București 2018-2022
- [16] *M.V. Birsan, A. Dumitrescu, A.*, “ROCADA: Romanian daily gridded climatic dataset (1961-2013) V1.0.” National Meteorological Administration, Bucharest, Romania, doi:10.1594/PANGAEA.833627, 2014
- [17] <https://en.tutiempo.net/climate/europe.html>
- [18] <https://www.green-report.ro/>