

Impactul climatic al particulelor atmosferice; Studiu de caz pentru municipiul București

Climatic impact of atmospheric particles; Case study for Bucharest municipality

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. Emisiile rezultate din transportul rutier participă direct și indirect la schimbările climatice resimțite la nivel local, regional și planetar. Aerosolii solizi și lichizi influențează troposfera urbană din punct de vedere fizico-chimic, modifică bilanțul radiativ înregistrat la nivelul suprafeței terestre și atmosferei, afectează biosfera și implicit sănătatea umană. Folosindu-se o bază de date formată din valorile medii orare ale concentrației de particule PM10, corespunzătoare anilor 2018 și 2019, se va analiza calitatea aerului în București în strânsă legătură cu indicii specifici, atât în perioada rece cât și în cea caldă. Se vor identifica intervalele de timp din zi în care potențialul de poluare crește semnificativ. Datele astfel obținute se pot folosi în elaborarea unor strategii de protecție a atmosferei prin măsuri de amenajare a teritoriului.

Cuvinte cheie: trafic rutier, particule, schimbări climatice, bilanț radiativ, ciclul hidrologic

Abstract. Emissions resulted from road transport participate directly and indirectly to climate changes felt at local, regional and planetary levels. Solid and liquid aerosols influence the urban troposphere from a physical and chemical perspective, modify the radiative balance recorded at the earth's surface and atmosphere, and affect the biosphere and implicitly human health. Using a database created from hourly average values of PM10 particles concentrations, corresponding to 2018 and 2019, air quality in Bucharest will be analyzed in strong connection with specific indices, in the cold as well as hot periods. Certain time intervals within the day, in which pollution potential increases significantly, will be identified. The data obtained can be used in elaborating an atmosphere protection strategy with landscaping measures.

Key words: traffic, particles, climate change, radiative balance, hydrological cycle

1. Introducere

Asistăm în prezent la o accentuare a dezechilibrelor ecologice datorate în principal intervenției tot mai agresive a factorului antropic. Activitățile umane din ce

în ce mai diversificate au dus la perturbarea ciclurilor biogeochimice, modificarea ecosistemelor, scăderea biodiversității prin substituții de biocenoze, poluarea aerului, apei, solului și la schimbări climatice. Emisiile rezultate din surse artificiale (preponderent) și naturale se prezintă sub formă de pulberi și gaze și influențează direct condițiile de mezoclimat. Particulele solide emise au o importanță mare în analiza troposferei urbane din punct de vedere fizico-chimic. Particulele cu un diametru mai mare de 75 μm se depun destul de repede și sunt denumite pulberi, iar cele cu diametrul mai mic de 50 μm pot rămâne în aer sub formă de aerosoli (particule în suspensie) [1]. Natura acestor particule este foarte variată. Astfel, ele pot conține particule de carbon (funingine), metale grele (plumb, cadmiu, crom, mangan, etc.), oxizi de fier, sulfati, dar și alte substanțe toxice, unele dintre acestea având efecte cancerigene (de exemplu hidrocarburile aromatice policiclice, adsorbite pe suprafața particulelor de aerosoli solizi). Aerosolii solizi și lichizi din aer cu dimensiuni variabile influențează echilibrul energetic al Pământului, ciclul hidrologic și circulația atmosferică. Aerosolii solizi pot acționa de multe ori ca și catalizatori în desfășurarea unor reacții chimice. Parametrii primari ai aerosolilor ce influențează efectele asupra mediului și asupra sănătății organismelor vii sunt concentrația, dimensiunea, structura și compoziția lor chimică [2].

Efectele aerosolilor asupra atmosferei, climatului și organismelor vii se numără printre temele importante ale cercetării în domeniul mediului [3,4,5,6] și al sănătății omului [7], dar se impune continuarea studiilor atât în domeniul limitării emisiilor de particule cu scopul respectării condițiilor de calitate ale aerului exterior și interior, a studierii efectelor acestora asupra sănătății oamenilor de sensibilități diferite, cât și în cel al diminuării urmărilor încălzirii globale prin acțiuni de adaptare.

Un aerosol este în general definit ca o suspensie de particule lichide sau solide într-un gaz, cu diametrul particulelor ce variază în intervalul 10^{-9} - 10^{-4} m (limita inferioară-dimensiune moleculară; limita superioară-sedimentare) [8]. În domeniul fizicii atmosferice, termenul aerosol se referă în mod tradițional la particulele în suspensie care conțin o proporție mare de substanțe condensate, altele decât apa, în timp ce norii sunt tratați separat din punct de vedere fenomenologic. Particulele aerosolului atmosferic provin dintr-o largă varietate de surse naturale și antropice. Particulele primare sunt emise direct sub formă de substanțe solide sau lichide, iar dintre surse s-ar putea aminti: arderea incompletă a combustibililor fosili, arderea biomasei, erupțiile vulcanice, praful mineral, pământul, cristalele de sare marină și materialele biologice (fragmente de plante, microorganisme, polen, etc.). Particulele apărute prin procese secundare (aerosoli secundari) sunt rezultatul conversiei gaz-particulă, fenomen ce are loc în atmosferă ca urmare a condensării gazelor precursoare.

După cum se poate observa în figura 1, particulele din aer pot interacționa fizic și chimic, pot suferi modificări ale dimensiunii, structurii și compoziției prin coagulare (proces care are loc într-un sistem coloidal sau analog, prin care se produce unirea particulelor în suspensie în particule mai mari, care formează un precipitat [8]). Multe particule se comportă ca și nuclee de condensare (microparticule solide higroscopice cu rol de suport pentru apa lichidă sau cristalul de gheață) favorizând formarea norilor

[9]. Durata de viață a particulelor (timpul de rezidență; îmbătrânirea), variază în funcție de proprietățile aerosolului și de condițiile meteorologice.

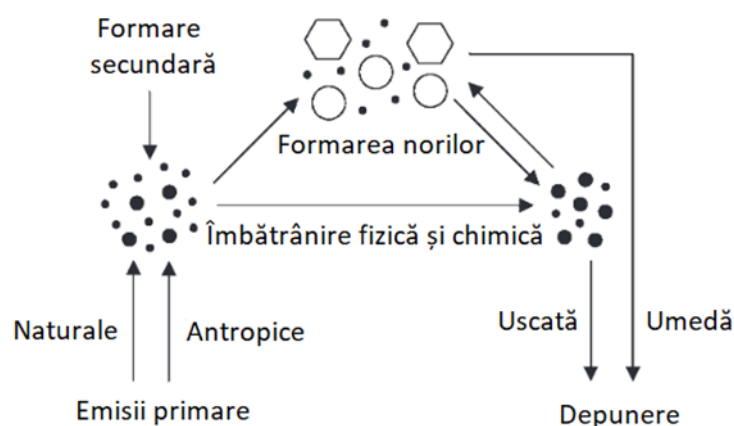


Fig. 1. Ciclul atmosferic al aerosolilor

Particulele de aerosol primar tind să fie mai mari și au un diametru mai mare de 1 μm , fiind în cea mai mare parte de origine mecanică. Frațiunea fină reprezintă de cele mai multe ori categoria particulelor secundare, cu dimensiuni ce variază între 0,1 și 1 μm în diametru, fiind în principal de origine chimică. Sulfatii sunt considerați a fi cele mai importante elemente de împrăștiere ale radiației solare la scară globală, producând o răcire netă la suprafața Pământului, în timp ce funinginea are tendința de a fi un absorbant major al radiației solare și are un efect de încălzire netă [10]. Particulele tind să fie cele mai eficiente în difuzia radiațiilor cu lungimi de undă comparabile cu dimensiunile lor fizice; particulele de praf submicronic pot avea un efect de răcire datorită absorbției unei părți a radiației solare incidente din domeniul vizibil, în special în apropierea suprafeței Pământului. Deoarece radiația reflectată de suprafața terestră aparține zonei de infraroșu IR și mineralele silicați au benzile de absorbție în IR, se poate spune că ele acționează ca și "particule cu efect de seră". Produsele de condensare din nori folosesc ca și suport higroscopic particula. Numărul, dimensiunile și compoziția acestor nuclee au influențe majore asupra formării norilor. Materialele higroscopice, cum ar fi sulfatii și cristalele de sare marină, sunt deosebit de eficiente ca și nuclee de condensare; praful mineral și produsele de ardere pot fi, de asemenea, eficiente, mai ales dacă sunt umectabile. Numărul crescut de nuclee de condensare conduce la mai multe picături în nor și scăderi concomitente ale dimensiunilor acestora. Din cauza dispersiei multiple ce are loc în interiorul norului, albedoul norului (raportul dintre energia reflectată prin difuzie și energia incidentă [9]) tinde să crească în condițiile unor dimensiuni reduse ale particulelor de aerosol higroscopic, ceea ce are ca rezultat accentuarea efectului de răcire. În plus, norii cu picături mai mari și mai mici precipită mai greu și, prin urmare, persistă mai mult, având mai mult timp pentru a-și exercita efectul de răcire.

Procesele de transport ale particulelor din atmosferă la suprafața ce face obiectul studiului sunt analizate ținându-se cont de cele două posibilități de depunere:

uscată sau umedă [11]. *Depozitul uscat* este definit ca și rezultat al colectării gazelor și pulberii direct pe suprafață. Procesele dezvoltate sunt complexe, iar viteza de depunere depinde atât de concentrația din atmosferă cât și de rezistența suprafeței pe care se realizează sedimentarea. *Depozitul umed* este rezultatul încorporării poluanților în produsele de condensare din aerul umed suprasaturat din zone ale atmosferei în care se formează ceața sau chiciura, în aerul umed rarefiat din norii în care se formează ploaia sau ninsoarea, precum și direct în precipitațiile sub formă de ploaie, lapoviță sau ninsoare. Aceste fenomene sunt de o mare complexitate, depind de intensitatea producerii lor și de originea acestora. "*Depunerea umedă*" este de fapt modalitatea principală de curățare a atmosferei de particulele de aerosol. Depunerea particulelor fără precipitarea hidrometeorilor (particule de apă în aer), adică "depunerea uscată" prin transportul, difuzia și aderența la suprafața Pământului este mai puțin importantă la scara unei aglomerări urbane, dar este extrem de relevantă în ceea ce privește efectele asupra sănătății la nivel local (inhalarea și depunerea în tractul respirator uman), murdărirea clădirilor și a monumentelor culturale și de patrimoniu.

În figura 2 este evidențiată strânsa legătură dintre compoziția aerosolului și proprietățile dependente de aceasta, transformările atmosferice, efectele climatice și asupra sănătății, precum și sursele acestor poluanți. Analiza acestor interacțiuni este foarte importantă în studierea fenomenelor asociate poluării atmosferei și a schimbărilor climatice.

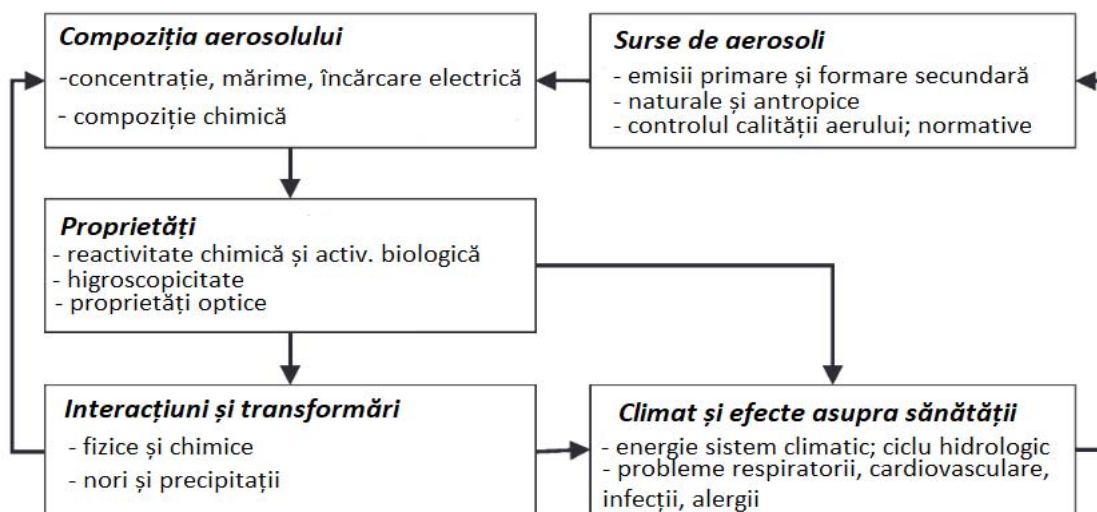


Fig. 2. Schemă a interacțiunilor dintre compoziția aerosolului atmosferic, proprietățile și transformările acestuia, schimbările climatice, efecte asupra sănătății și surse de poluare

În general, în troposfera urbană, componenta chimică predominantă a particulelor din aer (PM) se prezintă sub formă de sulfat, nitrat, amoniac, sare de mare, praf mineral, compuși organici și cărbune negru [7]. Controlul nivelului de poluare atmosferică presupune cercetarea particulelor cu diametre aerodinamice $\leq 1\mu\text{m}$ (PM1-extrafine) sau $\leq 2,5\mu\text{m}$ (PM2.5-fine) și $\leq 10\mu\text{m}$ (PM10-mari).

Avându-se în vedere complexitatea studierii factorilor ce determină încălzirea globală, a interacțiunilor dintre aceștia, acest articol se dorește a fi un instrument în cercetarea teoretică și experimentală a influenței particulelor din atmosfera poluată asupra bilanțului radiativ de la nivelul suprafeței terestre, a ciclului hidrologic, precum și a efectelor asupra sănătății, în strânsă legătură cu sursele de aerosoli.

2. Contribuția particulelor la încălzirea globală

Variațiile concentrațiilor atmosferice ale aerosolilor și gazelor cu efect de seră, albedoul terestru (raportul dintre radiația reflectată de suprafața terestră și cea incidentă [9]) și radiația solară influențează bilanțul energetic al sistemului climatic și contribuie la încălzirea globală. Cercetarea în acest domeniu presupune o analiză a absorbției, difuziei și emisiei radiației ce au loc în atmosferă și la nivelul suprafeței terestre. Un bilanț radiativ pozitiv la nivelul suprafeței terestre determină o accentuare a efectului de seră și implicit o încălzire, iar un bilanț radiativ negativ antrenează o răcire. Variațiile pozitive sau negative ale bilanțului energetic poartă numele de “forcaj radiativ”[12].

Forcajul radiativ datorat aerosolilor se numește *direct* dacă rezultă din absorbția radiației de către particulele aerosolului în sine și *indirect* dacă rezultă din influența particulelor asupra proprietăților optice, cantităților și duratelor de viață (timpului de rezidență) din nori. Mărimea efectelor radiative ale particulelor aerosol depinde de compoziția, dimensiunile, higroscopicitățile, densitățile și indicii de refracție ai acestora [10]. Unii dintre acești parametri sunt interdependenți și pot varia în funcție de localitate, surse și variabilele de mediu, dintre care am putea aminti intensitatea radiației solare și umiditatea relativă a aerului.

Contribuțiile antropice ale particulelor aerosol (în principal sulfați, carbon organic, cărbune negru, nitrați și praf) produc un efect global de răcire, cu un forcaj radiativ direct total de $-0,5$ [$-0,9$ la $-0,1$] W/m^2 și un forcaj indirect datorat albedoului norilor de $-0,7$ [$-1,8$ la $-0,3$] W/m^2 [12]. Aerosolii, pe de altă parte, influențează și cantitatea de precipitații (aerosolii cu rol de nucleu de condensare – nucleu Aitken). Particulele de tip funingine sunt rezultatul arderii incomplete a combustibililor fosili, a biocombustibilului și a biomasei și sunt tipul dominant de particule cu un efect de încălzire globală. Raportul IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [12] indică faptul că forța lor globală anuală medie de radiație directă (RF) este de aproximativ $0,34 W/m^2$, contribuind cel mai mult la încălzirea globală după dioxid de carbon și metan [13].

3. Evaluarea contribuției traficului rutier la poluarea cu particule a troposferei urbane - Studiu de caz pentru București

3.1. Generalități

Transportul rutier se consideră a fi principala sursă de poluare într-o zonă cu densitate mare de locuitori. Nu face excepție nici capitala României [14].

Dintre sursele de poluare cu pulberi înregistrate în municipiul București, pe lângă traficul rutier, s-ar putea aminti: activitățile industriale, centralele termoelectrice, șantierele de construcții, sistemul de încălzire a populației (sobe sau centrale cu combustibili solizi), depozitele de deșuri industriale și municipale [15]. Particulele aerosol se regăsesc în toate zonele urbane, proprietățile lor optice fiind afectate de forma și poziția lor în particulele gazdă [10].

Emisiile poluante ale motoarelor cu ardere internă ce echipează autovehiculele provin din trei surse principale: gazele de eșapament, antrenarea prafului existent în zona de rulare și evaporarea combustibilului lichid [16].

3.2. Studiu experimental

În cadrul studiului experimental s-a evaluat impactul emisiilor poluante sub formă de particule generate de circulația autovehiculelor asupra imisiilor înregistrate într-o zonă caracterizată prin trafic rutier intens – centrul municipiului București. Municipiul București este cea mai mare aglomerare urbană din România, populația sa fiind de 1.943.981, ceea ce reprezintă puțin mai mult de 9% din populația totală a țării, din care 51% reprezintă populația activă [15]. Municipiul București are o suprafață de 228 km² (0.8 % din suprafața României), din care suprafața construită este de 70%.

Datele referitoare la imisia din zona centrală au fost preluate de la Agenția Națională pentru Protecția Mediului (ANPM), ce are în administrare Rețeaua Națională de Monitorizare a Calității Aerului (RNMCA). Municipiul București este parte componentă a regiunii 8 din RNMCA (București-Ilfov).

Rețeaua este formată din 8 stații fixe de monitorizare calitate aer ce sunt de tip industrial (B2 – Titan, B4 – Berceni, B5- Drumul Taberei), de trafic (B3-Mihai Bravu, B6 – Cercul Militar), de fond urban (B1 – Lacul Morii), de fond suburban (B7 – Măgurele) și de fond regional (B8 – Balotești) [17]. În figura 3 se poate observa diseminarea acestor stații pe teritoriul municipiului București.

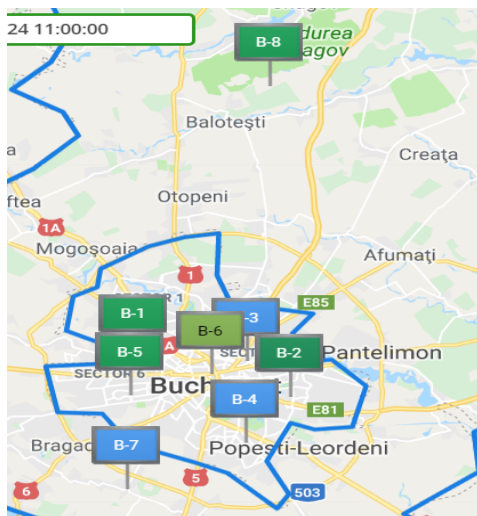


Fig. 3. Distribuția stațiilor ce formează rețeaua de monitorizare a calității aerului din municipiul București

Dimensiunea particulelor este strâns legată de gravitatea efectelor negative. O problemă importantă o reprezintă particulele cu diametrul aerodinamic mai mic de 10 μm (PM10), fapt care permite trecerea prin nas și gât și pătrunderea în alveolele pulmonare provocând inflamații și intoxicații.

Potrivit legislației în vigoare [18] valorile limită pentru categoria de poluanți particule în suspensie PM10 sunt:

- 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – valoarea limită zilnică pentru protecția sănătății umane
- 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – valoarea limită anuală pentru protecția sănătății umane

În anul 2010, toate cele 8 stații de monitorizare a calității aerului din zona București-Ilfov au înregistrat depășiri ale concentrațiilor limită zilnice pentru PM10 [19].

Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a clasificat efectele poluanților atmosferici asupra sănătății în efecte pe termen scurt și efecte pe termen lung. O sinteză a efectelor pulberilor în suspensie PM10 și PM2.5 asupra sănătății este prezentată în tabelul 1 [19].

Tabelul 1

Efectele poluanților atmosferici PM 10 și PM 2.5 asupra sănătății

| Tip de poluant | Efecte la expunerea pe termen scurt | Efecte la expunerea pe termen lung |
|--|--|---|
| Pulberi în suspensie (PM 10 și PM 2.5) | Reacții inflamatorii la nivelul plămânului | Creșterea simptomelor respiratorii |
| | Efecte negative asupra sistemului cardiovascular | Scăderea funcției respiratorii la copii |
| | Creșterea consumului de medicamente | Creșterea prevalenței bolilor respiratorii obstructive |
| | Creșterea numărului de internări | Scăderea capacității vitale la adulți |
| | Creșterea mortalității | Scăderea speranței de viață prin creșterea patologiei cardio-pulmonare și, posibil, a cancerului pulmonar |

Valorile măsurate au fost evaluate în funcție de reglementările impuse de către Uniunea Europeană pe baza cărora ANPM folosește o scară în șase trepte (1-6) pentru clasificarea aerului de la *excelent* (1) la *foarte rău* (6).

Indicele specific corespunzător particulelor în suspensie se stabilește prin încadrarea mediei aritmetice a valorilor orare, înregistrate în ultimele 24 de ore, în unul dintre domeniile de concentrații înscrise în tabelul 2 [17]:

Tabelul 2

Indicele specific corespunzător particulelor în suspensie

| Domeniu de concentrații pentru particule în suspensie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Indice specific |
|--|-----------------|
| 0-10 | 1 |
| 10-20 | 2 |
| 20-30 | 3 |
| 30-50 | 4 |
| 50-100 | 5 |
| >100 | 6 |

Având în vedere faptul că din analiza ultimelor rapoarte privind calitatea aerului în România realizate în anii 2017 și 2018 de ANPM [20] a rezultat faptul că cele mai multe depășiri ale valorilor limită anuale la PM 10 și PM 2.5 s-au înregistrat la stații de trafic și de fond urban, s-a impus o analiză a calității aerului într-o zonă centrală a municipiului București, zonă caracterizată prin trafic rutier intens.

Cele două stații ce fac obiectul acestei analize sunt B3 (Șos. Mihai Bravu) și B6 (Piața Universității – Cercul Militar Național). Baza de date folosită în acest studiu este aferentă anilor 2018 și 2019 și este formată din concentrațiile medii orare ale poluantului PM10, valori înregistrate în perioade mai calde (11.06.2018-30.06.2018; 17.06.2019-03.07.2019) sau mai reci (30.10.2018-08.11.2018).

În figurile 4 și 5 se pot observa variațiile concentrației medii zilnice ale PM10, și raportarea rezultatelor obținute la indicii specifici 3, 4 și 5.

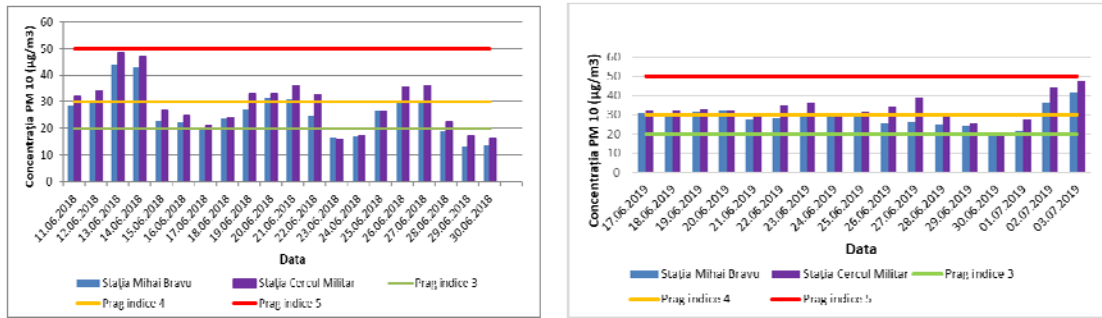


Fig. 4. Variația concentrației medii zilnice a PM10 (perioada caldă)

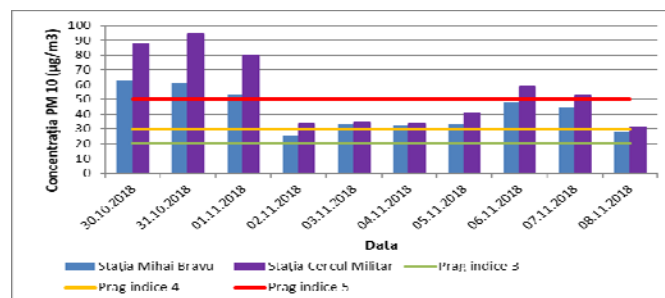


Fig. 5. Variația concentrației medii zilnice a PM10 (perioada rece)

Analizându-se cele trei reprezentări grafice se pot desprinde următoarele concluzii:

- Nivelul de poluare cu PM10 este destul de mare atât în perioada caldă cât și în cea rece; s-au înregistrat frecvent depășiri ale indicelui specific 4 și chiar ale valorii limită pe 24 ore pentru protecția sănătății umane - indicele specific 5 (30.10.2018-01.11.2018);
- Pragul superior de evaluare – $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [18] s-a atins frecvent la ambele stații, atât în perioada caldă cât și în cea rece;
- În aceleași intervale de timp, valorile concentrației medii zilnice a PM10 sunt mai mici la stația Mihai Bravu decât la cea amplasată în apropierea Pieței Universității; explicația ar consta în intensitatea mult mai mare a traficului în zona Cercului Militar.

Studiul experimental se continuă cu identificarea intervalelor orare din zi caracterizate prin imisii mai mari pentru categoria de poluant PM10. Se va face de asemenea o

analiză comparativă pentru cele două stații. Baza de date folosită este asociată intervalului 16.06.2019-03.07.2019 și este formată din valorile concentrațiilor medii orare ale acestui poluant. Prelucrarea acestor date a făcut posibilă obținerea unei zile generice, considerată a fi de referință pentru intervalul de timp ce a făcut obiectul acestei analize și pentru fiecare stație de trafic analizată. Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute se poate observa în figura 6.

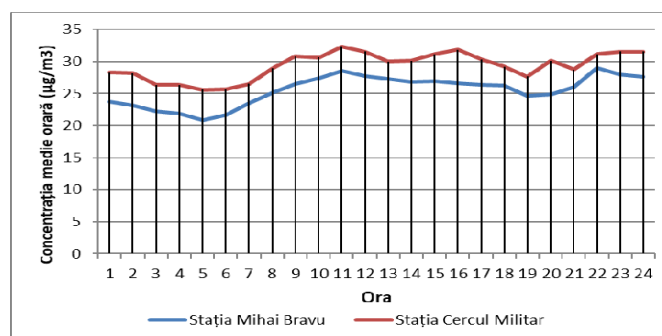


Fig. 6. Variația concentrației medii orare a PM10 (zi generică)

Această parte a studiului experimental a făcut posibilă evidențierea următoarelor aspecte:

- Vârfurile de poluare s-au înregistrat la ambele stații în intervalele de timp 10.00-12.00, 15.00-17.00 și 22.00-24.00;
- Din analiza datelor aferente perioadei de studiu a rezultat faptul că cele mai multe valori maxime s-au înregistrat seara, în intervalul de timp 20.00-01.00 (la stația Mihai Bravu de 11 ori și la stația Cercul Militar de 9 ori);
- Alura graficelor de variație a concentrației medii orare pentru PM10 este asemănătoare la cele două stații de trafic; valorile mai mici s-au înregistrat tot la stația amplasată pe Șoseaua Mihai Bravu, emisiile rezultate din traficul rutier fiind mai mici.

4. Concluzii

- Particulele aerosol influențează clima globală prin absorbția și difuzia radiației solare incidente sau a radiației terestre, precum și prin modificarea proprietăților radiative ale unui nor;
- Traficul rutier este o sursă importantă de particule și participă direct și indirect la schimbările climatice;
- Municipiul București intră în categoria aglomerărilor urbane cu un nivel ridicat de poluare cu particule;
- Vulnerabilitatea orașelor la impactul schimbărilor climatice trebuie să determine autoritățile locale și centrale să încurajeze achiziționarea de autovehicule ce folosesc energii de substituție, nepoluante, precum și să ia

măsurile de amenajare a teritoriului care să favorizeze dispersia poluanților și autopurificarea atmosferei.

Referințe

- [1] *Ardelean, F., Iordache, V.* „Ecologie și protecția mediului”, Editura MATRIX ROM ISBN 978-973-755-255-6, 256 pag., 2007
- [2] *Carslaw, K. S., Boucher, O., Spracklen, D. V., et al.* „A review of natural aerosol interactions and feedbacks within the Earth system”, *Atmos. Chem. Phys.*, **Vol. 10**, pp. 1701-1737, <https://doi.org/10.5194/acp-10-1701-2010>, 2010
- [3] *Hallquist, M., Wenger, J. C., Baltensperger, U. et al.* „The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues”, *Atmos. Chem. Phys.*, **Vol. 9**, pp. 5155-5236, <https://doi.org/10.5194/acp-9-5155-2009>, 2009
- [4] *Martin, S.T., Andreae, M., Artaxo, P., et al.* „Sources and properties of Amazonian aerosol particles”, *Reviews of Geophysics*, **Vol. 48**, Issue 2, 2010
- [5] *Pöschl, U., Martin, S.T., Sinha, B. et al.* „Rainforest Aerosols as Biogenic Nuclei of Clouds and Precipitation in the Amazon”, *Rev. Science*, **Vol. 329**, pp. 1513-1516, 2010
- [6] *Scott, C. E., Arnold, S. R., Monks, S. A., et al.* „Substantial large-scale feedbacks between natural aerosols and climate”, *Nature Geoscience*, **Vol. 11**, pp. 44-48, 2018
- [7] *Pöschl, U.* „Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects”, *Angewandte International Edition Chemie*, **Vol. 44**, Issue 46, pp. 7485-7647, 2005
- [8] *Runcanu, T., Bacinschi, D., Pescaru, V. I., Makkai, G., Tanczer, T.* „Dicționar meteorologic”, *Societatea Meteorologică Română*, ISBN 978-973-0-17096-2, București, 1526 pag., 2014
- [9] *Ardelean, F.* „Elemente de meteorologie și climatologie”, Editura MATRIX ROM, ISBN 978-606-25-0073-3, 277 pagini, 2014
- [10] *Buseck, P. R., Posfai, M.* „Airborne minerals and related aerosol particles: Effects on climate and the environment”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, pp. 3372-3379, 1999
- [11] *Brimblecombe, P.* „Effect of Air Pollution on the Built Environment”, *Imperial College Press*, ISBN 9781860942914, 449 pp, 2003
- [12] *Pachauri, R.K., Reisinger, A.* „Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthèse”, Geneva, 103 pages, Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat, ISBN 92-9169-222-0, 2008
- [13] *Adachi, K., Chung, S. H., Buseck, P. R.* „Shapes of soot aerosol particles and implications for their effects on climate”, *Journal of Geophysical Research*, **Vol. 115**, D15206, 2010
- [14] *Gavrila, C., Coman, A., Gruia, I., Ardelean, F., Vartires, A.* „Prediction Method Applied for the Evaluation of the Tropospheric Ozone Concentrations in Bucharest”, *Romanian Journal of Physics*, **Vol. 61**, Number 5-6, pp.1067-1078, ENVIRONMENTEL AND EARTH PHYSICS, 2016
- [15] <http://www.pmb.ro/>
- [16] ***EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016
- [17] <http://www.calitateaer.ro>
- [18] *** Legea calității aerului nr. 104/15 iunie 2011 republicată
- [19] Centrul pentru Politici Durabile Ecopolis „Calitatea aerului în București. Efecte asupra sănătății”, 2011
- [20] Ministerul Mediului-Agenția Națională pentru Protecția Mediului „Raport privind calitatea aerului în România în anul 2018”;
<http://www.anpm.ro/documents/12220/2723600/Raport+calitatea+aerului+in+Romania+in+2018.pdf/dbb627ed-a6a8-44e2-a1d7-0523f1042711>