

# Smogul estival și Ozonul. Studiu de caz pentru București

Summer smog and Ozone. Bucharest case study

Florinela Ardelean<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Ingineria Instalațiilor, B-dul Pache Protopopescu nr. 66, București, România  
E-mail: florinela.ardelean@gmail.com

**Rezumat.** *Smogul fotochimic este o problemă serioasă de mediu și determină probleme grave de sănătate locuitorilor multor zone urbane. Compușii chimici asociați acestui tip de poluare și analizați în această lucrare au fost oxizii de azot  $NO_x$  ( $NO/NO_2$ ), ozonul ( $O_3$ ) și compușii organici volatili nemetanici (COVNM). S-a urmărit înțelegerea fenomenologică a unor aspecte legate de ciclul fotodinamic al oxizilor de azot, variația concentrației ozonului troposferic, în strânsă legătură cu intensitatea radiației solare. În acest context, lucrarea prezintă o parte dintre rezultatele obținute în urma unui studiu experimental efectuat în centrul unei aglomerări urbane reprezentative -București, zonă caracterizată prin trafic rutier intens.*

**Cuvinte cheie:** smog fotochimic, ozon troposferic, oxizi de azot, trafic rutier, radiație solară

**Abstract.** *Photochemical smog is a serious environment problem and determines serious health issues for inhabitants of several urban areas. The chemical compounds associated with this type of pollution and analyzed in this paper were Nitrous Oxides  $NO_x$  ( $NO/NO_2$ ), ozone ( $O_3$ ) and non-methane volatile organic compounds (NMVOC). With this case study, the attempt was made to understand, from a phenomenological standpoint, some aspects related to the photodynamic cycle of Nitrous oxides, the variation of tropospheric ozone concentration, in strong connection to the solar radiation intensity. In this context, the paper presents a part of the obtained results following an experimental study performed downtown of a representative urban congestion - Bucharest, an area characterized by heavy road traffic.*

**Key words:** photochemical smog, tropospheric ozone, Nitrous oxides, road traffic, solar radiation

## 1. Introducere

Poluarea aerului este rezultatul introducerii în atmosferă, direct sau indirect, a unor substanțe sau a unor cantități de energie caracterizate prin nocivitate, care ar putea să pună în pericol sănătatea indivizilor, să deterioreze bunurile materiale, având ca finalitate degradarea mediului înconjurător [1]. Se evidențiază două categorii de

poluanți: primari (emiși direct în atmosferă dintr-o varietate mare de surse) și secundari (formați în atmosferă ca rezultat al reacțiilor dintre poluanții primari între ei sau dintre poluanții primari și alte substanțe diferite, existente normal în aerul atmosferic; lumina solară influențează de multe ori desfășurarea acestor reacții chimice). Secolul XX s-a caracterizat printr-o tranziție de la troposfera urbană dominată de poluanții primari la cea în care poluanții secundari sunt într-o continuă creștere [2]. Cele trei mari probleme de poluare la scară regională și urbană sunt: *smogul reducător* (industrial) - ca rezultat al arderii combustibililor fosili, *smogul fotochimic* (oxidant) – asociat emisiilor industriale și a celor rezultate din traficul rutier și *ploile acide* – urmarea combustiei ce are loc în focarele instalațiilor mari de ardere sau a motoarelor cu ardere internă.

„*Smogul fotochimic (oxidant)*” apare în perioada caldă a anului, este o ceață cenușie și oxidantă ce este formată dintr-un amestec de particule și gaze (ozon, nitrat de peroxiacetil-PAN, aldehide, cetone, etc), produse ca urmare a acțiunii radiației solare asupra câtorva poluanți (oxizi de azot și hidrocarburi). Acest tip de poluare induce multe efecte negative, mergând de la un simplu disconfort și până la apariția unor probleme grave, cum ar fi: tulburări respiratorii și/sau oftalmologice locuitorilor aglomerărilor urbane, pagube asupra vegetației, degradarea materialelor (rigidizarea cauciucului, reducerea rezistenței materialelor textile, deteriorarea picturilor) și implicit deteriorarea patrimoniului arhitectural [2]. La acestea se mai adaugă și scăderea vizibilității orizontale.

Câteva mari aglomerări urbane sunt bine cunoscute pentru smogul lor fotochimic intens, apărut în perioada estivală a anului: Los Angeles (reprezentativ), Atena, Mexic. S-au înregistrat astfel de episoade și în Israel, Japonia, Australia și India [3].

Ozonul troposferic ce însoțește acest tip de poluare este un poluant secundar, caracterizat printr-o mare dinamicitate, deoarece sub influența radiației solare și în prezența precursorilor este în continuu format și distrus. Acest aspect face ca urmărirea evoluției imisiei de ozon, într-o anumită zonă urbană, să fie o activitate foarte complexă. Din literatura de specialitate rezultă că există cercetări efectuate în diferite țări referitoare la cauzele apariției smogului fotochimic și elaborarea de strategii privind adaptarea la noile condiții create [4], [5], [6], [7], [8], [9], la efectul poluanților asupra sănătății omului [10], [11], [12] și asupra biodiversității, dar se impune aprofundarea studiului poluării fotochimice datorate în cea mai mare măsură intensificării transportului rutier urban, în condițiile în care efectele schimbărilor climatice pe fondul creșterii temperaturii medii anuale sunt o certitudine.

În acest context, această lucrare are ca principale obiective: studiul chimiei troposferei urbane asociate smogului fotochimic, precum și realizarea unui studiu de caz pentru o aglomerare urbană reprezentativă pentru România, caracterizată prin trafic rutier intens. Datele utilizate au fost rezultatul măsurărilor în timp real realizate cu echipamentul existent în dotarea unei stații amplasate în centrul municipiului București.

## 2. Poluanți implicați în smogul fotochimic

Acest tip de poluare a fost identificat prima dată în Los Angeles, în anul 1944. Un episod de smog fotochimic poate să apară dacă sunt îndeplinite simultan următoarele condiții: introducerea în atmosferă a unor cantități mari de hidrocarburi HC și oxizi de azot  $\text{NO}_x$ , existența unor perioade de timp caracterizate prin temperaturi și intensități ale radiației solare globale ridicate (generatoare de reacții fotochimice) și reținerea acestor poluanți sub un strat de inversiune termică, fapt care duce la o creștere importantă a concentrației acestora [1].

Smogul fotochimic este de asemenea cunoscut ca „smog oxidant” sau „ceață fotochimică oxidantă”, deoarece se caracterizează prin existența unor concentrații mari de agenți oxidanți (ozonul este un agent oxidant important). Prin reacții fotochimice se sintetizează în troposferă *ozon ( $\text{O}_3$ ) și nitrat de peroxiacetil (P.A.N.)*.

### 2.1. Ozonul troposferic - principalul indicator al smogului fotochimic

Ozonul este un poluant secundar, apare ca urmare a unor procese chimice complexe, plecând de la alți poluanți, numiți *precursori*. Este un gaz de culoare albastruie, cu miros înțepător, agresiv și se caracterizează prin faptul că în atmosfera terestră este în continuu format și distrus [1]. Bioindicatorul reprezentativ al poluării cu ozon este tutunul. Toxicitatea ozonului este un fenomen complex care nu depinde numai de concentrația poluantului ci și de durata expunerii, precum și de sensibilitatea organismelor vii. În tabelul 1 sunt prezentate efectele negative ale acțiunii ozonului la diferite concentrații și la anumite intervale de timp [13].

Tabelul 1

Efectele ozonului la diferite concentrații

Concentrația ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Efecte deduse din experimentări de laborator
20	Pragul de miros
40 - timp de 8 ore	Începe vătămarea frunzelor de tutun
60 – timp de 8 ore	Vătămare importantă a frunzelor de tutun
100	Prag de iritare a nasului și gâtului
200 – timp de 1 oră	Necrozarea frunzelor de tutun; vârfurile acelor de pin sunt „arse”
100	Prag de iritare a ochilor la persoanele sensibile (oxidant ambiental)
300	Prag de iritare a ochilor pentru majoritatea persoanelor
200	Reducerea aportului de oxigen și a concentrației oxigenului din sânge la pacienții cu emfizem pulmonar
200 ÷ 500 – pe durată mare	Scurtează durata vieții cobailor
200 – timp de 8 ore	Efecte simptomatice clare la persoanele sensibile
400 – timp de 3 ore	Scăderea acuității vizuale
1200	Prag de iritație cu tuse, iritație pronunțată a nasului și gâtului
2000 – timp de 1-2 ore	Tuse, iritație, oboseală severă
6000 ÷ 24000 – câteva ore	Fatal pentru animalele mici de laborator

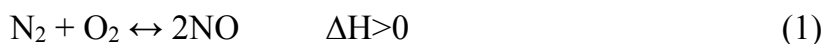
Nitratul de peroxiacetil (P.A.N.) oxidează grupările de sulf ale aminoacizilor din celulele producătoare de clorofilă, cu inhibări ale procesului de fotosinteză. Fasolea este sensibilă la acțiunea P.A.N.-ului și de aceea poate fi considerată un bioindicator al acestui tip de poluare. Pe lângă fitotoxicitate, P.A.N.-ul mai poate produce iritații oculare manifestate prin lăcrimări sau conjunctivită.

## 2.2. Precursorii ozonului

Principalii precursori ai  $O_3$  sunt: oxizii de azot  $NO_x$  și compușii organici volatili nemetanici  $COVNM$ . În reacțiile ce însoțesc poluarea fotochimică un rol important are și monoxidul de carbon (CO), rezultat dintr-o ardere incompletă.

### 2.2.1. Oxizii de azot - $NO_x$

Oxizii de azot sunt rezultatul combinării la temperatură ridicată a azotului cu oxigenul (sunt gaze regăsite în mod normal în aerul atmosferic uscat). Emisiile provenite din instalațiile de combustie ca și cele rezultate de la motoarele termice conțin toate tipurile de oxizi de azot. Dintre oxizii de azot, monoxidul de azot (NO) și respectiv dioxidul de azot ( $NO_2$ ) reprezintă un risc pentru sănătate. Deși tehnicile analitice de măsurare pot face o deosebire clară între cei doi compuși, ei au fost grupați împreună sub denumirea generică de  $NO_x$  datorită convertibilității lor reciproce în reacțiile de formare a smogului fotochimic. Cantități mari de NO rezultă din numeroase procese biologice, precum și din diferite activități umane concentrate în zone urbane și industriale. Reacția endotermă (1) stă la baza obținerii la temperaturi ridicate a monoxidului de azot.



$NO_2$  este prezent în atmosferă și se obține din oxidarea directă și lentă a NO (2). Această reacție are loc la ieșirea din focare sau din țevile de eșapament.



$NO_2$  mai poate fi rezultatul reacțiilor fotochimice ce se desfășoară în atmosferă, unde intervin hidrocarburile și ozonul.

Gazele rezultate de la motoarele autovehiculelor conțin inițial oxizi de azot  $NO_x$  (la gura țevilor de eșapament) în medie circa 95% NO și doar 5%  $NO_2$ . Din cauza transformărilor chimice atmosferice, o mare parte din emisiile inițiale directe de NO sunt oxidate relativ repede de ozonul ambiant, generându-se astfel concentrații mari de  $NO_2$  [14].

Raportul  $NO/(NO+NO_2)$  este destul de bine corelat cu proximitatea sursei de NO. Dacă acest raport este ridicat, punctul de măsură este apropiat de sursele de emisie (este cazul măsurării oxizilor de azot în mijlocul traficului). Dacă acest raport este mic, transformarea NO în  $NO_2$  este destul de avansată și ne găsim destul de departe de surse.

### 2.2.2. *Compușii organici volatili nemetanici (COVNM)*

Principalele surse de emisie de COVNM sunt solvenții organici emiși din procedee industriale, traficul auto în care se folosește benzina ca și combustibil lichid (manipularea, transportul, depozitarea, ca și arderea incompletă a benzinei), precum și agricultura. Țițeiul este principala sursă de benzen, toluen și xilen folosit în industria chimică și în producerea de benzine cu cifră octanică ridicată. Benzenul ( $C_6H_6$ ) - este toxic și cancerigen, îmbunătățește cifra octanică a benzinei și favorizează formarea oxizilor de azot.

## 3. Traficul rutier și poluarea troposferei urbane cu oxizi de azot și ozon - Studiu de caz

### 3.1. *Studiu experimental*

#### 3.1.1. *Evoluția nivelului de poluare în România*

Potrivit ultimului raport anual privind starea mediului în România, elaborat de Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor și realizat în anul 2016 pentru anul 2015 [15], se evidențiază faptul că în perioada 2009-2015, la toate tipurile de stații ce formează Rețeaua Națională de Monitorizare a Calității Aerului (RNMCA) există o tendință generală de reducere a concentrațiilor medii anuale pentru majoritatea categoriilor de poluanți analizați, valori care de regulă s-au situat sub cele limită / țintă, inclusiv în anul 2015. Contribuția cea mai mare la dioxid de azot ( $NO_2$ ) o are sectorul transporturi, la dioxid de sulf ( $SO_2$ ) sectorul industrial și la benzen ( $C_6H_6$ ) tot sectorul transporturi (în ultimii ani). Se poate observa faptul că sectorul transporturi contribuie puternic la apariția smogului fotochimic prin emisiile importante de precursori: oxizi de azot ( $NO_x$ ) și COVNM (Ex. Benzenul).

Potrivit aceluiași raport [15], cele mai mari valori înregistrate pentru ponderea populației urbane expusă la concentrații de  $O_3$  troposferic ce depășesc valoarea țintă, la nivel național, în intervalul 2010-2015, s-au înregistrat în anii 2012 (25,5%) și 2013 (20%), în restul anilor valorile fiind cuprinse în intervalul 1 – 5,5%. La  $NO_2$  cele mai mari valori s-au înregistrat tot în anii 2012 (23%) și 2013 (18%), în restul anilor valorile fiind cuprinse în intervalul 2 – 13 %.

#### 3.1.2. *Ciclul oxizilor de azot și radiația solară*

În cadrul studiului experimental s-a evaluat impactul emisiilor de monoxid de azot, 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 [16], cu o densitate de aproximativ 8.168 locuitori/ $km^2$ , ceea ce reprezintă circa 9% din populația totală a României și peste 16% din populația urbană a țării.

Datele referitoare la *imisia* din zona centrală au fost preluate de la Agenția Națională pentru Protecția Mediului, ce are în administrare RNMCA. Municipiul București este parte componentă a regiunii 8 din RNMCA (București-Ilfov). Rețeaua este formată din 8 stații fixe de monitorizare calitate aer, de categorii diferite, amplasate atât în zona urbană cât și în zona limitrofă acesteia.



Stația de monitorizare a calității aerului cu ajutorul căreia s-au realizat obiectivele acestei lucrări este amplasată în zona centrală, în apropiere de Piața Universității, pe Calea Victoriei nr. 32-34, zona Cercul Militar Național (punctul A din figura 1).

Fig. 1. Amplasarea stației de monitorizare a calității aerului - Cercul Militar Național

Aceasta este echipată atât cu analizoare pentru măsurarea în timp real a concentrațiilor următoarelor categorii de poluanți: NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, benzen, particule în suspensie, cât și cu senzori meteorologici.

Se va începe studiul cu analiza evoluției concentrațiilor de oxizi de azot NO<sub>x</sub> (NO/NO<sub>2</sub>) – proveniți în mare parte din traficul rutier, potrivit reacțiilor chimice (1) și (2). În figurile 2 și 3 este prezentată variația diurnă a acestor poluanți, a căror convertibilitate reciprocă este direct influențată de intensitatea radiației solare globale (SR). Pentru a observa dacă radiația solară este factorul meteorologic cu influența cea mai mare în desfășurarea reacțiilor chimice ce însoțesc un episod de smog fotochimic s-au ales două zile călduroase: 16.08.2012 (ora 15.00; SR=777 W/m<sup>2</sup>) și 18.09.2012 (ora 14.00; SR=621 W/m<sup>2</sup>).

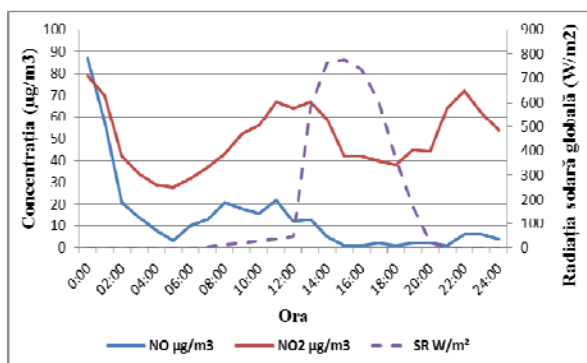


Fig. 2. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO<sub>2</sub>) și radiația solară globală (SR) – 16.08.2012

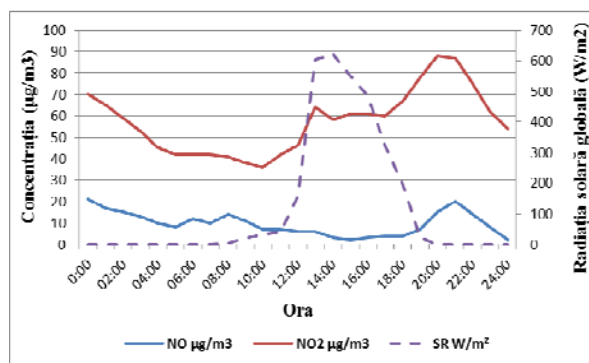


Fig. 3. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO<sub>2</sub>) și radiația solară globală (SR) – 18.09.2012

S-ar fi urmărit și evoluția singurei hidrocarburi monitorizate – benzenul, dar această serie de analizoare nu a funcționat corespunzător în intervalul de timp analizat, deci nu există niciun fel de date referitoare la acest poluant important.

Se pot evidenția următoarele aspecte:

- *înainte de apariția soarelui* – NO și NO<sub>2</sub> sunt în atmosferă în concentrații ușor superioare minimului zilnic;
- *între orele 7<sup>00</sup>÷9<sup>00</sup>* – are loc o intensificare a traficului rutier. Concentrația de NO crește și după aproximativ o oră energia solară în domeniul ultraviolet devine suficientă pentru transformarea NO în NO<sub>2</sub>;
- *între orele 17<sup>00</sup>÷21<sup>00</sup>* – traficul continuă să deverseze în atmosferă cantități importante de NO, se înregistrează o creștere ușoară a concentrației de NO<sub>2</sub>, dar reacțiile fotochimice sunt încetinite.

### 3.1.3. Variația concentrației de ozon troposferic și smogul fotochimic

Așa cum s-a precizat anterior, un episod de smog oxidant este însoțit de o creștere a concentrației de ozon troposferic.

În figurile 4 și 5 este prezentată variația diurnă a oxizilor de azot NO<sub>x</sub> (NO și NO<sub>2</sub>), precursori ai smogului fotochimic, a ozonului troposferic, precum și a radiației solare globale ce s-a demonstrat că influențează direct ciclul fotodinamic al NO<sub>x</sub>. Pentru completarea studiului, s-au ales zile de primăvară caracterizate prin valori mari ale radiației solare globale (02.04.2012, ora 15.00, SR=656 W/m<sup>2</sup> și 24.05.2012, ora 14.00, SR=858 W/m<sup>2</sup>).

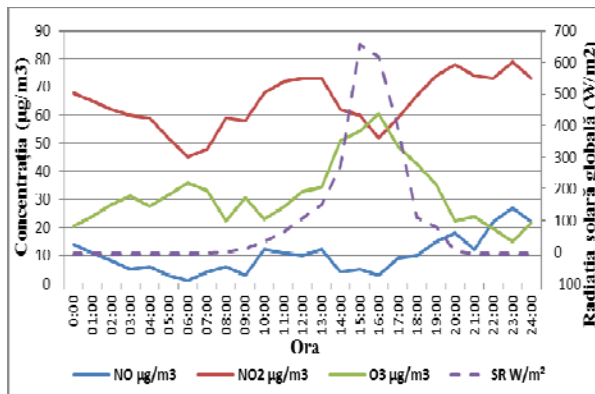


Fig. 4. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO<sub>2</sub>), O<sub>3</sub> și radiația solară globală (SR) – 02.04.2012

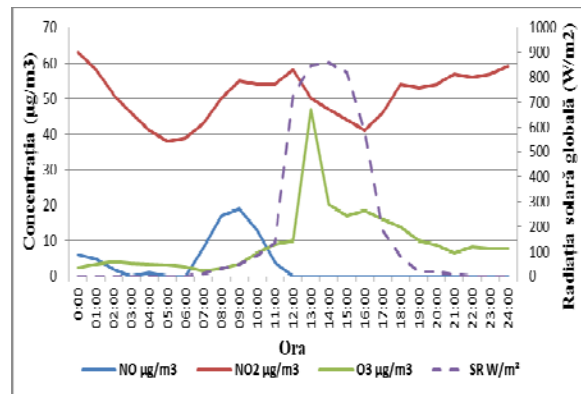


Fig. 5. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO<sub>2</sub>), O<sub>3</sub> și radiația solară globală (SR) – 24.05.2012

### 3.2. Interpretarea rezultatelor

Din analiza datelor măsurate și a graficelor prezentate anterior au rezultat următoarele constatări:

- O creștere importantă a concentrației de monoxid de azot (NO) s-a înregistrat în jurul orei 9.00., atunci când circulația autovehiculelor este intensă;
- Valori mari ale concentrației de dioxid de azot s-au înregistrat spre ora 12 (datorită reacțiilor chimice de oxidare ale monoxidului de azot care au avut loc);
- Concentrația maximă de O<sub>3</sub> s-a înregistrat după prânz, moment în care radiația solară globală este intensă, rezultă deci faptul că acest parametru meteorologic este elementul “cheie” în smogul fotochimic;
- Deși zilele alese pentru acest studiu au fost călduroase (valori mari ale intensității radiației solare globale) nu s-au înregistrat depășiri ale pragului “*de informare*” – 180 μg/m<sup>3</sup> sau a pragului “*de alertă*” - 240 μg/m<sup>3</sup> pentru ozon [17].
- Transportul rutier reprezintă principala sursă de poluare a troposferei urbane, observându-se o modificare importantă a chimiei atmosferei în această zonă.

#### 4. Concluzii

- Calitatea vieții este strâns legată și corelată de calitatea aerului. Ritmul de dezvoltare economico-social specific unei zone cu densitate mare de populație, precum și creșterea exigențelor de confort urban și economia de energie fac necesară elaborarea unor strategii bine gândite și documentate de protecție reală a atmosferei;
- În condițiile în care numărul de autovehicule înregistrat în zonele urbane este într-o continuă creștere, imisiile măsurate au o tendință de scădere atât datorită calității tot mai bune a combustibilului lichid folosit cât și a tehnologiilor tot mai performante de definitivare a arderii ce are loc în interiorul motoarelor;
- Ozonul troposferic ce însoțește un episod de smog fotochimic este un oxidant puternic și de aceea se pot înregistra efecte negative atât asupra sănătății umane, cât și asupra vegetației și materialelor;
- Smogul fotochimic, estival, este prezent în toate orașele moderne, dar este mai frecvent în cele cu climat cald și trafic rutier intens; pot fi afectate și zonele mai puțin populate datorită vântului care transportă poluanții la o anumită distanță de locul de formare al acestora;
- Radiația solară globală este parametrul meteorologic cu importanță foarte mare în reacțiile chimice ce însoțesc smogul oxidant;
- Intensificarea traficului rutier determină o creștere direct proporțională a vulnerabilității orașelor, fapt care ar trebui să determine autoritățile locale și centrale să regândească designul și managementul urban, precum și să încurajeze prin programe speciale achiziționarea de autovehicule ce folosesc energii de substituție, nepoluante.



## Referințe

- [1] *F. Ardelean, V. Iordache*, „Ecologie și protecția mediului”, Editura MATRIX ROM, București, ISBN 978-973-755-255-6, 256 pag., 2007
- [2] *C. Donald Ahrens*, „Essentials of Meteorology – An Invitation to the Atmosphere”, Brooks/Cole, CENGAGE Learning, ISBN 10: 0840049331, ISBN 13: 9780840049339, 528 pag., 2011
- [3] *B. Rani, U. Singh, A. K. Chuhan, D. Sharma, R. Maheshwari*, „Photochemical Smog Pollution and Its Mitigation Measures”, *Journal of Advanced Scientific Research*, **vol. 2**, no. 4, pp. 28-33, 2011
- [4] *R.G. Derwent, M.E. Jenkin, S.M. Saunders, M.J. Pilling, P.G. Simmonds, N.R. Passant, G.J. Dollard, P. Dumitrean, A. Kent*, „Photochemical ozone formation in north west Europe and its control”, *Journal Atmospheric Environment*, **vol. 37**, pp. 1983-1991, 2003
- [5] *M. Palacios, F. Kirchner, A. Martilli, A. Clappier, F. Martin, M.E. Rodrigues*, „Summer ozone episodes in the Greater Madrid Area. Analyzing the ozone response to abatement strategies by modelling”, *Journal Atmospheric Environment*, **vol. 36**, pp. 5323-5333, 2002
- [6] *C. Gavrilă, A. Coman, I. Gruia, F. Ardelean, A. Vartires*, „Prediction Method Applied for the Evaluation of the Tropospheric Ozone Concentrations in Bucharest” *Romanian Journal of Physics*, **vol. 61**, no. 5-6, pp. 1067-1078, 2016
- [7] *S.C. Nwanya, I. Offili*, „Global Warming Potential Implications and Methodological Challenges of Road Transport Emissions in Nigeria”, *Energy and Environment Research*, **vol. 3**, no. 1, pp. 169-179, 2013
- [8] *M.P. Chandra, K.M. Praveen, R.S. Jayarama*, „Monitoring of air pollution in indian metropolitan cities: modeling and quality indexing”, *International Journal of Environment and Pollution*, **vol. 21**, pp. 365-382, 2003
- [9] *I. Schiffer, L. Diaz, S. Avalos, M. Vera, I. Mejia, F. Reyes, E. Lopez-Salinas*, „Trends of exhaust emissions from gasoline motor vehicles in the metropolitan area of Mexico city”, *International Journal of Environment and Pollution*, **vol. 21**, pp. 166-174, 2004
- [10] *M. Brauer, C. Reynolds, P. Hystad*, „Traffic-related air pollution and health in Canada”, *Canadian Medical Association or its licensors*, **vol.185(18)**, pp. 1557-1558, 2013
- [11] *C. Lavanya, R. Dhankar, S. Chhikara, R. Soni*, „Outdoor Air Pollution and Health: A Comprehensive Review”, *Journal of Recent Scientific Research*, **vol 5**, no. 7, pp. 1248-1255, 2014
- [12] *J.L. Peel, R. Haeuber, V. Garcia, A.G. Russell, L. Neas*, „Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health. Biogeochemistry”, **vol. 114(1)**, pp. 121-134, 2013
- [13] *C. Saitanis, M.G. Karandinos, A.N. Riga-Karandinos, G. Lorenzini, A. Vlassi*, „Photochemical air pollutant levels and ozone phytotoxicity in the region of Mesogia-Attica, Greece”, *Journal Environment and Pollution*, **vol. 19**, no.2, pp. 197-208, 2003
- [14] *F. Ardelean*, Teză de doctorat „Poluarea atmosferei în mediul urban”, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Instalații, 2005
- [15] \*\*\*Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, Agenția Națională pentru Protecția Mediului, Raport anual privind starea mediului în România, [http://www.anpm.ro/documents/12220/2209838/RSM\\_2015%27.pdf/924aa8b6-429c-46f6-ac75-45f2fdd03e41](http://www.anpm.ro/documents/12220/2209838/RSM_2015%27.pdf/924aa8b6-429c-46f6-ac75-45f2fdd03e41)
- [16] \*\*\* Primăria Municipiului București (PMB), 2015 <http://www.pmb.ro/>
- [17] \*\*\* Legea nr. 104/2011 privind calitatea aerului înconjurător, actualizată în 2017