

ПРОЦЈЕНА НИВОА ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА PM_{10} ЧЕСТИЦАМА У УРБАНОМ ПОДРУЧЈУ НОВОГ САДА**ASSESSMENT OF THE AIR POLLUTION LEVEL BY PM_{10} IN THE URBAN AREA OF NOVI SAD**

Рајко Марковић, Соња Дмитрашиновић, Јелена Радонић,

Област – ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Кратак садржај – У раду је приказана анализа дневног испитивања квалитета ваздуха на урбаном подручју града Новог Сада, коришћењем јавно доступних података са мреже која мјери квалитет ваздуха Климерко уређајима.

Кључне ријечи: квалитет ваздуха, PM_{10} честице, гранична вриједност

Abstract – The paper provides an analysis of daily air quality testing in the urban area of the city of Novi Sad, using publicly available data from the network that measures air quality with Klimerko devices.

Keywords: Air quality, PM_{10} , Limit value

1. УВОД

Загађење ваздуха је један од најзначајнијих еколошких изазова. Разумијевање карактеристика загађујућих материја (нпр. CO , NO_x , O_3 , SO_2 , PM_{10} , $PM_{2.5}$) у урбаном подручју је од суштинског значаја за рјешавање изазова повезаних са лошим квалитетом ваздуха. За процјену степена загађења ваздуха важно је узети у обзир и метеоролошке параметре (нпр. температура, брзина и правац вјетра, релативна влажност, сунчево зрачење и падавине). Загађење ваздуха у урбаним подручјима са великим обимом саобраћаја се посебно односи на емисију NO_2 и честица пречника до $10 \mu m$ (PM_{10}).

Познавање дневних, недјељних и сезонских варијација у концентрацијама загађујућих материја може помоћи да се развије план за спровођење мониторинга квалитета ваздуха. У раду ће бити приказано загађење амбијенталног ваздуха PM_{10} честицама на дневном и годишњем нивоу у урбаном подручју града Новог Сада, на одабрана три локалитета.

2. ЗАХТЈЕВИ КВАЛИТЕТА ВАЗДУХА

Заштита здравља људи је примарни разлог због кога је праћење квалитета ваздуха регулисано законодавством. У Европској унији, оквирни и

законски захтјеви за процјену и управљање квалитетом амбијенталног ваздуха описани су у Директиви о квалитету ваздуха [1] са дефинисаним референтним методама мјерења које државе чланице примењују приликом праћења квалитета ваздуха.

У складу са [2, 3] и другим прописима о квалитету ваздуха Републике Србије, захтјеви квалитета ваздуха су: граничне вриједности нивоа загађујућих материја у ваздуху, горње и доње границе оцјењивања нивоа загађујућих материја у ваздуху, границе толеранције и толерантне вриједности, концентрације опасне по здравље људи и концентрације о којима се извјештава јавност, критични нивои загађујућих материја у ваздуху, циљне вриједности и (национални) дугорочни циљеви загађујућих материја у ваздуху и рокови за постизање граничних и/или циљних вриједности, у случајевима када су оне прекорачене.

Услови за мониторинг квалитета ваздуха су: критеријуми за одређивање минималног броја мјерних мјеста и локација за узимање узорака у случају фиксних мјерења и у случају када су фиксна мјерења допуњена индикативним мјерењима или поступцима моделовања, методологија мјерења и оцјењивања квалитета ваздуха (референтне методе мјерења и критеријуми за оцјењивање концентрација), захтјеви у погледу података који се користе за оцјењивање квалитета ваздуха, начин обезбјеђења квалитета података за оцјењивање квалитета ваздуха (према захтјеву стандарда SRPS ISO/IEC 17025) и обим и садржај информација о оцјењивању квалитета ваздуха у складу са [3].

Праћење загађења ваздуха пружа корисне увиде у ниво загађујућих материја, њихове изворе и дистрибуцију, омогућавајући информисано доношење одлука и циљане интервенције, као и спровођење еколошких политика и прописа.

2.1. Горња и доња граница оцјењивања PM_{10} по дану

Горња граница оцјењивања просјечне 24-часовне концентрације PM_{10} представља 70% граничне вриједности ($35 \mu g/m^3$, не смије се прекорачити више од 35 пута у једној календарској години).

Доња граница оцјењивања просјечне 24-часовне концентрације PM_{10} представља 50% граничне вриједности ($25 \mu g/m^3$, не смије се прекорачити више од 35 пута у једној календарској години).

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Јелена Радонић, ред. проф.

2.2. Гранична и толерантна вриједност PM_{10} по дану

Граничне и толерантне вриједности су основа за: оцјењивање квалитета ваздуха, подјелу зона и агломерација у категорије на основу нивоа загађења ваздуха и управљање квалитетом ваздуха.

Гранична вриједност PM_{10} за период усредњавања по једном дану износи $50 \mu g/m^3$ и не смије се прекорачити више од 35 пута у једној календарској години. Толерантна вриједност износи $75 \mu g/m^3$.

2.3. Индекс квалитета ваздуха

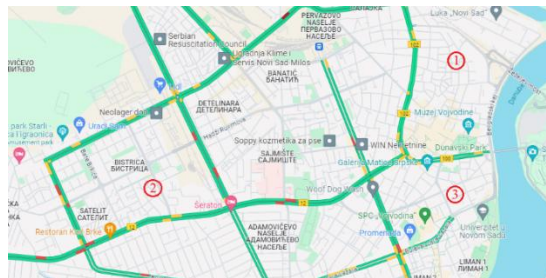
Квалитет ваздуха се описује помоћу индекса квалитета ваздуха (engl. *Air Quality Index* - AQI) и представља једну од битних оцјена квалитета живота у урбаним срединама. AQI додјељује мјере квалитета ваздуха по сату или дневно [4]. Референтне вриједности о квалитету ваздуха су, за потребе рада, преузете са мреже јавно доступних података [5]. Ове вриједности одговарају низу различитих категорија и нивоима савјета за заштиту здравља (нпр. одличан, добар, прихватљив, загађен, јако загађен и екстремно загађен). У складу са преузетим вриједностима, одличан квалитет ваздуха дефинисан је за вриједности $\leq 20 \mu g/m^3$, добар ($21 \mu g/m^3$ - $40 \mu g/m^3$), прихватљив ($41 \mu g/m^3$ - $50 \mu g/m^3$), загађен ($51 \mu g/m^3$ - $100 \mu g/m^3$), јако загађен ($101 \mu g/m^3$ - $150 \mu g/m^3$) и екстремно загађен за вриједности веће од $150 \mu g/m^3$.

Више различитих типова визуелизације може се користити за приказивање података о квалитету ваздуха, као што су графикони, дијаграми, календари, мапе и руже вјетрова [6]. Интеграција података о квалитету ваздуха са јефтиним сензорима (engl. *low-cost sensors* - LCS) помоћу *Internet of Things* (IoT) постала је прихватљив приступ развоју паметних градова. LCS за праћење квалитета ваздуха су економични преносиви уређаји малих димензија, комерцијално доступни, који могу међусобно комуницирати и размјењивати информације са становништвом, стварајући међусобно повезан и ефикасан систем.

Вријеме одзива је важно, јер LSC може брзо (висока временска резолуција) детектовати промјену концентрације загађујућих материја у ваздуху. Сензор који брзо реагује може бити користан за мобилно праћење и праћење веома брзих (нпр. од секунди до минута) промјена у концентрацијама загађујућих материја на фиксним локацијама (као што су близу путева са фреквентним саобраћајем) [7].

3. ЦИЉ И ПРЕДМЕТ РАДА

Циљ рада био је да се прикажу, дискутују и анализирају детектовани концентрациони нивои загађења на три урбане локације Новог Сада (приказане на Сlici 1), као и да се укаже на значај опсежних података о квалитету ваздуха, добијених примјеном LCS сензорске мреже. Поређење измјерених концентрација између самих локалитета извршено је у складу са прописаним критеријумима за оцјењивање концентрација PM_{10} у оквиру законске регулативе Републике Србије.



Слика 1. Локације узорковања PM_{10}

За процјену нивоа загађења PM_{10} коришћени су јавно доступни подаци из 2023. године, са мреже која мјери квалитет ваздуха Климерко уређајима (Слика 2).



Слика 2. Уређај Климерко [5]

Измјерене 24-часовне вриједности (на три локације у урбаном подручју Новог Сада) упоређивани су са прописаном законском регулативом, у контексту колико пута су вриједности PM_{10} прекорачиле или нијесу прекорачиле дефинисану дневну вриједност (од $50 \mu g/m^3$) током 2023. године.

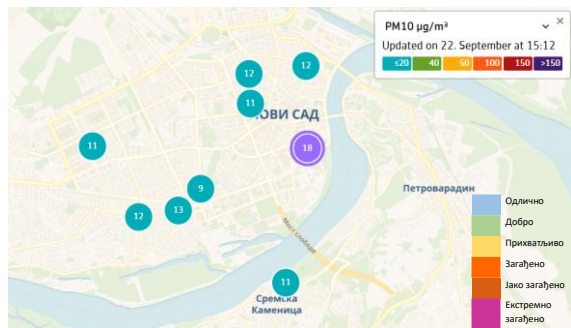
У највећем броју случајева, нивои концентрација PM_{10} честица мјерени са LCS уређајима показују повишене вриједности у случају мање брзине вјетра, тамо гдје је обим саобраћаја већи (нпр. главни путеви) и у данима када је обим саобраћаја већи. Иако је фреквенција саобраћаја, најчешће, мања недељом, сензори очитавају сличне вриједности као и осталим данима. Резултати показују нешто ниже вриједности концентрације PM_{10} у дијелу блокова стамбених објеката, док вриједности из стамбених улица недељом показују већу хомогеност [8].

Разумијевање како временски услови могу утицати на концентрацију загађујућих материја и њихово мјерење, важно је за прикупљање тачних информација и тумачење трендова у подацима. Нпр. влага у атмосфери и облацима утиче на хемијске реакције неких загађујућих материја. Сунчева свјетлост индукује одређене хемијске реакције, што доводи до појаве сложених загађујућих материја или смјеша попут озона и фотохемијског смога. Вјетар преноси и распршује загађујуће материје, а топлији ваздух може убрзати хемијске реакције у атмосфери.

Саобраћај високог интензитета врши притисак на систем градског транспорта и доводи до повећаног утицаја на животну средину. Гужва у саобраћају обично доводи до повећања потрошње горива и емисија штетних материја у амбијентални ваздух.

Мрежа LCS за праћење концентрација загађујућих материја заснована је на интернет облаку и даје мјерења високе просторне резолуције у реалном времену. Из таквих скупова података се праве карте и визуелизације да би се приказао временски и просторно диференциран развој загађења ваздуха.

Визуелизација сензорских података у оквиру платформе треба да има за циљ да омогући корисницима да погледају податке на начин који задовољава њихове потребе. Боје помажу да се визуелизују разлике између локација. Ови захтјеви се могу представити на платформи која представља стварне податке у вриједностима, бојама и описној квалификацији као што се види на слици 3.



Слика 3. Примјер оцјене квалитета ваздуха са индексом [5]

Свјетска здравствена организација препоручује постављање једне станице за праћење квалитета ваздуха по квадратном километру, док директива ЕУ о

чистом ваздуху предлаже једну станицу на отприлике 200.000 становника [9].

3.1. Анализа прекорачења дневне граничне вриједности PM_{10}

Након спроведене анализе података о дневним нивоима концентрације PM_{10} честица на три локације у урбаном подручју Новог Сада, уочено је да је гранична вриједност прекорачена више од 35 пута у току 2023. године, односно да су дневне концентрације биле прекорачене 101 дан. У односу на све три локације, највише прекорачења граничне вриједности PM_{10} забиљежено је у децембру (33 дана), јануару (21 дана) и фебруару (19 дана), док прекорачења граничне вриједности PM_{10} нијесу забиљежена у мају и септембру. Детаљан приказ је дат на Графику 1.

Такође, утврђена изложеност честицама PM_{10} изнад прописане забиљежена је на локацији L1 – 64 дана, на локацији L2 – 22 дана, а на локацији L3 – 15 дана, што у процентима представља прекорачење граничне дневне вриједности концентрације PM_{10} , на локацији L1 – 18%, на локацији L2 – 6%, а на локацији L3 – 4% у односу на цијелу 2023. годину.

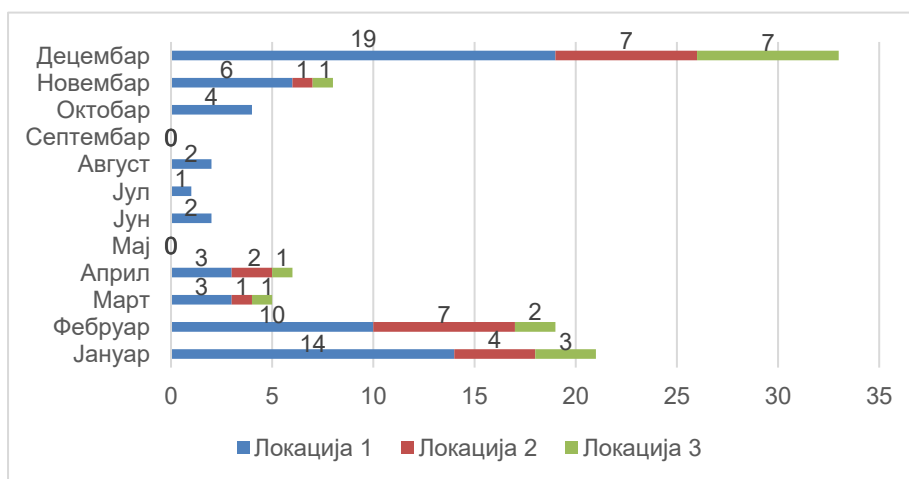


График 1. Број дана изложености концентрацији PM_{10} изнад дозвољене границе по мјесецима у 2023. години

3.2. Поређење концентрације PM_{10} током годишњих доба

На основу извршене анализе такође је уочено да је током зимских дана у 2023. години било највише прекорачења граничне вриједности концентрације PM_{10} и то 34 дана на локацији L1, 14 дана на локацији L2 и 7 дана на локацији L3 (График 2). Најмање прекорачења граничне вриједности концентрације PM_{10} забиљежено је у току љетњих дана, када на локацијама L2 и L3 није евидентирано прекорачење, док на локацији L1 износи 5 дана.

Одређени извори емисије PM_{10} честица су исти током цијеле године (нпр. индустрија, емисије из саобраћаја). Љети топао ваздух има тенденцију кретања на горе, тако да се загађујуће материје у ваздуху јављају у вишим слојевима атмосфере. Зими

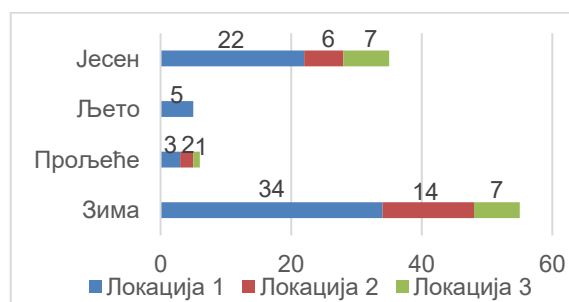


График 2. Број дана изложености концентрацији PM_{10} изнад дозвољене границе по годишњим добима

долази до појаве температуре инверзије, тако да појас топлог ваздуха онемогућава кретање појасу хладнијег ваздуха ка горе, тако да се загађење ваздуха у нижим слојевима само акумулира и тада се региструју екстремне вриједности. Такође је евидентно да су зими веће емисије честица због индивидуалног загријавања домаћинства у одређеним дјеловима града.

4. ЗАКЉУЧАК

Важност праћења загађења ваздуха представља темељ за ефикасно вођење политике заштите животне средине, заштиту јавног здравља и очување животне средине.

Квалитет ваздуха се генерално погоршава са порастом урбанизације, а процјене сугеришу да 96% свјетске популације живи у областима гдје загађење ваздуха прелази безбједне границе [8].

Спровођење комплексних истраживања, мониторинг ваздуха и дефинисање максимално дозвољених концентрација штетних супстанци у ваздуху је веома важно у циљу подизања свијести јавности о потреби заштите животне средине, како би се одабрала најбоља рјешења са становишта одрживости квалитета ваздуха и смањења ризика, директних и индиректних, по животну средину и здравље људи. Истраживања везана за мониторинг квалитета ваздуха у урбаним подручјима морају бити усмјерена ка обезбјеђивању довољног броја података и информација везаних за постојање и минимизовање потенцијалних негативних ефеката загађујућих супстанци у ваздуху.

Анализа прикупљених података о загађењу ваздуха PM_{10} честицама у урбаном подручју Новог Сада показује да је загађење прекорачило граничну вриједност од $50 \mu g/m^3$ на локацији L1: 64 дана у календарској години, што се може сматрати великим прекорачењем у односу на дозвољених 35 дана, док су на локацијама L2 (22 дана) и L3 (15 дана) прекорачења испод 35 дозвољених дана. Толерантне вриједности су прекорачене на L1: 20 дана, L2: 3 дана и L3: 4 дана.

Такође, анализом података долази се и до оцјене квалитета ваздуха за календарску 2023. годину, и то:

- На локацији L1 грађани су удисали ваздух одличног квалитета 87 дана, доброг квалитета 140 дана, прихватљивог квалитета 26 дана, загађен 57 дана, јако загађен 3 дана и екстремно загађен 3 дана;

- На локацији L2 ваздух је био одличног квалитета 275 дана, доброг квалитета 59 дана а прихватљивог квалитета 8 дана и загађен 22 дана;

- На локацији L3 ваздух је био одличног квалитета 261 дан, доброг квалитета 74 дана, прихватљивог квалитета 15 дана и загађен 15 дана.

Главни приоритети приликом одређивања мјера за смањење емисија и побољшања квалитета ваздуха треба да буду:

- Спровођење мјера у секторима који највише доприносе укупним емисијама на националном нивоу, односно онима од којих се очекује највеће смањење емисија у наредном периоду;

- Успостављање снажније синергије приликом планирања политика и мјера за смањење емисија загађујућих материја и побољшање квалитета ваздуха са политикама и мјерама за смањење емисија са ефектом стаклене баште, раст удјела обновљивих извора енергије и повећање енергетске ефикасности.

Свијест јавности и ангажовање шире заједнице имају кључни значај у рјешавању питања загађења ваздуха. Чинећи податке о квалитету ваздуха јавно доступним, појединци могу доносити исправне одлуке како би

заштитили своје здравље и учествовали у напорима за побољшање квалитета ваздуха.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Директива о квалитету ваздуха (engl. *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe*)
- [2] Уредба о условима за мониторинг и захтјевима квалитета ваздуха „Сл. Гласник РС“, бр. 11/2010, 75/2010 и 63/2013)
- [3] Закон о заштити ваздуха („Сл. Гласник РС“, бр. 36/2009, 10/2013 и 26/2021)
- [4] Apte S. J., Ph.D. (2020). State of Play of Low-Cost Sensors for Monitoring $PM_{2.5}$. Department of Civil and Environmental Engineering and School of Public Health University of California, Berkeley Berkeley, CA 94720 USA.
- [5] www.klimerko.org
- [6] Clements A., Duvall R., Greene D., Dye T. (2022). *The Enhanced Air Sensor Guidebook*. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-22/213.
- [7] Williams R., Kilaru V., Snyder E., Kaufman A., Dye T., Rutter A., Russell A., Hafner H. (2014). Air Sensor Guidebook. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-14/159
- [8] Celikkaya N., Fullerton M., Fullerton B. (2019). Use of Low-Cost Air Quality Monitoring Devices for Assessment of Road Transport Related Emissions. *Transportation Research Procedia* 41: 762-781.
- [9] Concas F., Mineraud J., Lagerspetz E., Varjonen S., Liu X., Puolamäki K., Nurmi P., Tarkoma S. (2021). *Low-cost outdoor air quality monitoring and sensor calibration: A survey and critical analysis*.

Кратка биографија:



Рајко Марковић рођен је у Бару, Црна Гора, 1991. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Инжењерства заштите животне средине одбранио је 2024. год.

контакт: rajko.markovic@hotmail.com



Соња Дмитрашиновић рођена је у Госпићу, Хрватска, 1990. год. Запослена је на Факултету техничких наука у звању истраживач сарадник.

контакт: dmitrasinovic@uns.ac.rs



Проф. др. Јелена Радонић је редовни професор на Факултету техничких наука, из области инжењерства заштите животне средине.

контакт: jelenaradonic@uns.ac.rs