

ECOLOGICA

UDC:502.7

ISSN 0354 - 3285

No - 99 • Beograd, 2020. • Godina XXVII

Samo u pretplati



Izdavač:

**Naučno-stručno Društvo za
zaštitu životne sredine Srbije
"ECOLOGICA"**

SADRŽAJ – CONTENT

Larisa Jovanović, Vadim Ermakov Značaj selena i cinka u prevenciji i lečenju virusnih oboljenja	357
Vlado Radić, Nikola Radić, Nenad Ravić Uticaj pandemije korona virusa na ciljeve održivog razvoja i ekonomiju	366
Mario Lukinović, Larisa Jovanović Uticaj pandemije COVID-19 na životnu sredinu	376
Ana Batrićević, Vera Stanković Doprinos biotehnologija zaštiti zemljišta od zagađenja	383
Jelena Stanojković, Ana Čučulović, Marko Sabovljević, Milorad Vujičić, Rodoljub Čučulović, Dragan Veselinović Procena radijacionog opterećenja mahovina sakupljenih 2018. godine u NP Đerdap ...	389
Xiang Cai, Sergei Ostroumov Bioassay of "Tide Color" powder laundry detergent using <i>Lens culinaris</i>	395
Zoran Ristić, Goran Džafić, Miroslav Jevremović, Aleksandar Damnjanović Nove tehnologije - izazovi za kompanije i održiv ekonomski razvoj	401
Mimica Milošević, Dušan Milošević, Ana Stanojević, Dušan Simjanović IAHP kao podrška primeni tehnoloških inovacija u razvoju pametnih gradova	407
Siniša Arsić, Radoljub Tomić, Miloš Arsić, Dragutin Jovanović Konceptualni model za ekološko zbrinjavanje motornih vozila na kraju životnog ciklusa	414
Zoran Kaličanin, Miroslav Perić, Milica Kaličanin Modeli korporativnog upravljanja i njihov uticaj na održivi razvoj korporacija	421
Svetlana Ivanov, Vesna Grekulović, Nada Štrbac, Aleksandra Mitovski, Ivana Marković Macerat kestena kao potencijalni ekološki inhibitor korozije čelika u hloridnoj sredini.	429
Vladimir Knežević, Dragan Ivković, Aleksandra Penjišević Privredna razvijenost i ekološka održivost Srbije i susednih zemalja	437
Dragan Zlatković, Nebojša Denić Smart cities: from urban development to digital infrastructure and cybersecurity	443
Miloš Pavlović, Ivana Erić, Miloš Milanović The importance of CSR and reporting about non-financial information	451
Zoran Milićević, Dragan Marinović, Ljiljana Arsić, Dušanka Marinović, Violeta Milićević Analiza zagađenja vazduha u funkciji koncentracije suspendovanih čestica PM2.5	458
Jovan Veselinović, Stanimir Đukić, Dušan Gelić, Vida Orcević, Vesna Habić Ekološki aspekti i zaštita životne sredine u izgradnji sportskih objekata	465
Aleksandar Damnjanović, Milosav Miličković, Miroslav Jevremović Troškovi u funkciji upravljanja sistemom zaštite životne sredine	471
Slavica Stevanović, Jelena Minović, Grozdana Marinković Budžetska pripadnost prihoda od naknada za zaštitu životne sredine u Srbiji	479
Osama Mahmoud Ali Mahmoud, Abdassalam Ali Mnfid, Mohamed Abd Ahmed Abuhteara, Maja Kovačević, Jovana Gardašević, Omer Ali Mohamoud Značaj inovativnosti i društveno odgovornog poslovanja malih i srednjih preduzeća u uslovima održivog razvoja	486

<i>Miroslav Perić, Milica Kaličanin, Zoran Kaličanin</i> Uloga interne revizije u unapređenju korporativnog upravljanja	493
<i>Mirjana Puharić, Maja Anđelković, Ivana Ilić</i> Buka generisana vazдушnim saobraćajem	500
<i>Aleksandra Golubović-Stojanović, Zvonko Bmjas</i> Savremeni koncepti globalnog održivog razvoja i „cirkularna ekonomija“	507
<i>Vladimir Cmjanjski, Dragan Gašić</i> Evropski sud za ljudska prava i pravo na život u zdravoj životnoj sredini	513
<i>Maja Dajić, Nenad Kojić, Milan Dajić</i> Specifičnosti modernog menadžmenta u funkciji održivog razvoja	519
<i>Ivana Lešević, Pavle Radanov, Pavle Brzaković, Gordana Tomić, Dragan Pajić</i> Uloga sredstava javnog informisanja u širenju informacija od opšteg značaja	525
<i>Srđan Žikić, Dragana Trifunović, Marija Randelović</i> Zadovoljstvo poslom u funkciji održivog menadžmenta hotelskog sektora Stare planine	530
<i>Jovan Veselinović, Violeta Šiljak, Aleksandra Perović, Gordana Mrdak, Dejan Đurović, Marija Nikolić, Sonja Antonijević</i> Primena robotike u sportu	537
<i>Dejan Riznić, Adrijana Jevtić, Ana Dukić</i> Značaj četvrte industrijske revolucije za razvoj zelene ekonomije	544
<i>Ksenija Nešić, Aleksandra Tasić, Ivan Pavlović</i> Insekti kao održivi izvori proteina u hrani i hrani za životinje	553
Uputstvo za pripremu rada	356
Instructions for the preparation of the papers	560

**Napomena: Autori snose punu odgovornost za originalnost i sadržaj svojih radova.
Radovi objavljeni u časopisu ECOLOGICA proveravaju se na plagijarizam**

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

502.7

ECOLOGICA / glavni urednik Larisa Jovanović, God. 1, broj 1 (1994) – Beograd
(Kneza Miloša 7a): Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije –
Ecologica, 1994 – (Zemun : Akademska izdanja) - 28 cm

Tromesečno

ISSN 0354 – 3285 = Ecologica

COBISS.SR – ID 80263175

**Posebnu zahvalnost Upravni odbor Naučno-stručnog društva «Ecologica» izražava
Savezu inženjera i tehničara Srbije, organima, rukovodstvu i Stručnoj službi za pomoć
u realizaciji Programa rada Društva «Ecologica»**

Analiza zagađenja vazduha i koncentracije suspendovanih čestica PM2.5

Zoran Miličević¹, Dragan Marinović², Ljiljana Arsić¹,
Dušanka Marinović³, Violeta Miličević⁴

Naučni rad
UDC: 614.71

UVOD

Najvećim zagađivačima vazduha smatraju se lebdeće čestice prašne, pepela, dima i drugih kondenzovanih gasovitih jedinjenja suspendovanih u vazduhu u obliku aerosola [1]. Pod suspendovanim česticama podrazumevaju se sve kompleksne mešavine različitih čestica suspendovanih u vazduhu koje udišu ljudi. Poseban značaj imaju čestice čiji je prečnik manji od 10 μ m, koje su podeljene u tri grupe: 1) grubodispersivne čestice kod kojih je prečnik manji od 10 μ m i označavaju se sa PM10, 2) fine suspendovane čestice kod kojih je prečnik manji od 2,5 μ m i označavaju se sa PM2.5 i 3) ultrafine čestice prečnika ispod 0,1 μ m i označavaju se sa PM0.1 [2].

Uticaj suspendovanih čestica na zdravlje ljudi, efekte na životnu sredinu i njihova sudbina dosta zavise od njihove veličine. Ukoliko su suspendovane čestice manjih dimenzija, one će dopreći dalje od izvora emisije, s jedne strane, a i takve čestice imaju osobinu da dublje i efikasnije prodiru u pluća čoveka, s druge strane. Dugotrajna izloženost suspendovanim česticama PM10 i PM2.5 utiče na povećanje respiratornih i kardiovaskularnih bolesti kao i smrtnih slučajeva kod ljudi [3,4]. Suspendovane čestice PM2.5 uglavnom nastaju u heterogenim hemijskim reakcijama koje se odvijaju u atmosferi ili nastaju sagorevanjem goriva u motornim vozilima, termoelektranama, industrijskim postrojenjima, pri sagorevanju drveta ili prilikom sagorevanja poje-

dinih poljoprivrednih otpadnih materija na njivama i slično.

Istraživanja sprovedena u tri evropske zemlje (Austriji, Švajcarskoj i Nemačkoj,) gde živi oko 75 miliona stanovnika, pokazala su je izloženost ljudi respirabilnim česticama odgovorna za oko 40.000 smrtnih slučajeva godišnje [5]. Međutim, neki istraživači procenjuju da povećanje koncentracije suspendovanih čestica za 10 μ g/m³ u vazduhu povećava mortalitet za 0,4-1% [6,7].

U Republici Srbiji su se poslednjih godina sprovodile studije o uticaju aerozagađenja na zdravlje ljudi koje su uglavnom vezane za pojedine gradove [8,9,10] dok se studije vezane za zdravstvene efekte aerozagađenja na populacije u širim područjima i na nacionalnom nivou nisu sprovodile.

U zemljama EU, aneksom XIV nove direktive [11] propisan je monitoring čestica PM2.5 i reguliša ga u dve faze. U prvoj fazi propisana je srednja godišnja granična vrednost PM2.5 od 25 μ g/m³ počev od 01.01.2015, da bi u drugoj fazi, od 01.01.2020. godine koncentracija PM2.5 bi bila limitirana na godišnjem nivou od 20 μ g/m³. U Republici Srbiji dozvoljene vrednosti za frakciju suspendovanih čestica PM2.5 propisane su Uredbom o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha [12] po kojoj granična vrednost za ove čestice iznosi 25 μ g/m³, a počev od 2019. godine i tolerantne vrednosti su smanjene na iznos od 25 μ g/m³.

Uzimajući u obzir da suspendovane čestice predstavljaju glavne aerozagađivače, predmet ovog istraživanja je ambijentalni vazduh iz grada Kraljeva. Cilj rada je bio da se analiziraju rezultati praćenja koncentracija suspendovanih čestica PM2.5 na teritoriji ovog grada u periodu 2015-2019. godine, kao i da se utvrde eventualne sezonske varijacije koncentracija ovih čestica u pomenutom vremenskom periodu.

1. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

U ovom radu analizirane su koncentracije suspendovanih čestica PM2.5, uzorkovanih na jednom mernom mestu, skoro svakog dana u periodu od pet godina. Merno mesto postavljeno je u užem centru

Adrese autora: ¹*Ekonomski fakultet, Kolašinska 156, 38220 Kosovska Mitrovica, e-mail:*

zoran.milicevic@pr.ac.rs, ljiljana.arsic@pr.ac.rs;

²*Zavod za javno zdravlje, Slobodana Penezića 16, 36000 Kraljevo;*

³*Medicinski fakultet Vojnomedicinske akademije, Crnotravska 17, Beograd;*

⁴*Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Odsek za poslovne studije Blace, Kralja Petra I 70, 18420 Blace, e-mail: violeta.milicevic@vpskp.edu.rs.*

Rad primljen: 16.11.2019.

Rad prihvaćen: 26.12.2019.

grada Kraljeva na 43°43'21.76" severne geografske širine i 20°41'33.03" istočne geografske dužine. Kako u blizini postavljenog mernog mesta nema većih industrijskih postrojenja, pretpostavlja se da glavni izvor zagađenja vazduha potiče iz kotlarnice gradske toplane, koja je od mernog mesta udaljena oko 300m. Pored toga, veliki broj individualnih ložišta kao i drumski saobraćaj predstavljaju značajne izvore zagađenja vazduha. Prosečna frekvencija vozila je oko 2000 vozila tokom jednog časa u oba smera. U blizini mernog mesta postoje dve raskrsnice na udaljenosti od 150-250m. Sve ulice u blizini mernog mesta su asfaltirane, širine 5-10m, a održavanje čistoće u najbližoj okolini je zadovoljavajuće [13].

Uzimanje uzoraka ambijentalnog vazduha i njegova laboratorijska analiza rađena je primenom standardnih metoda koje su opisane u standardu SRPS EN 12341:2015 [14]. Provera kvaliteta merenja, način obrade i prikaza rezultata i ocena njihove pouzdanosti i verodostojnosti, sprovedeno je prema propisanim metodama merenja i zahtevima standarda SRPS ISO/IEC 17025 [15]. Za uzimanje uzoraka ambijentalnog vazduha korišćen je uzorkivač SEQ 47/50, proizvođača Sven Leckel iz Nemačke, sa odgovarajućim usisnim cevima i odgovarajućim ulazima za uzorkovanje suspendovanih čestica PM2.5 koji je direktno povezan sa filterskim supstratom (*Glass fiber filter dia 47/50 mm Whatman*) i uređajem za regulaciju protoka.

U uzorkivač se postavi glava za uzimanje uzorka suspendovanih čestica PM 2,5, a njemu se postavi filter papir odgovarajuće veličine koji je prethodno izmeren na analitičkoj vagi, koja meri na pet decimala. Filter papir se prethodno kondicionira u posebnoj prostoriji gde se održavaju konstantni temperaturni uslovi (20 ± 1) °C i odgovarajuća vlaga (45-50)% RH [14]. Nakon 48 i 72 sata, filter papir se meri, a zatim prenosi u posebnom kontejneru i postavlja u aparat za uzorkovanje ambijentalnog vazduha. Nakon 24 časa provlačenja vazduha sa određenim protokom kroz filter papir, on se skida i u istom kontejneru vraća u laboratoriju gde se opet kondicionira u sobi za merenje suspendovanih čestica PM2.5, gde se meri nakon 48 i 72 sata. Koncentracija frakcije suspendovanih čestica PM 2.5 se izračunava prema formuli:

$$C (\mu\text{g}/\text{m}^3) = (m_2 - m_1) / F \cdot t$$

gde je: C - koncentracija frakcije suspendovanih čestica PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); m_1 - masa praznog filter papira (μg); m_2 - masa filter papira posle uzorkovanja (μg); F - zapremina protoka u ambijentalnim uslovima (m^3/h) i t - period uzorkovanja (h). Temperatura i vlaga mere se termohigrometrom i dobijene vrednosti se beleže u kompjuteru.

U ovom radu su analizirane su koncentracije suspendovanih čestica PM2.5 u vremenskom periodu od 2015-2019. godine, po godinama i mesecima, njihove minimalne i maksimalne vrednosti, srednje vrednosti kao i broj dana iznad granične i broj dana iznad tolerantne vrednosti. Za ova istraživanja korišćene su maksimalno dozvoljene koncentracije suspendovanih čestica PM2.5 koje je Vlada Republike Srbije propisala u Uredbi o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha [12]. Po ovoj Uredbi granična vrednost za suspendovane čestice PM2.5 je $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za period od 2015. do 2019. godine, a tolerantne vrednosti su postepeno smanjivane ($27,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za 2015. godinu; $27,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za 2016. godinu; $26,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za 2017. godinu; $25,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za 2018. godinu i $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za 2019. godinu).

2. REZULTATI I DISKUSIJA

U cilju određivanja stepena zagađenja vazduha u gradu Kraljevu, analizirane su koncentracije suspendovanih čestica PM2.5 koje su obuhvatile 1771 uzorak (skoro svakog dana po jedan uzorak) u periodu od 2015-2019. godine. Primenom standardne metode gravimetrijske analize dobijeni su rezultati određivanja koncentracije ovih čestica u ispitivanim uzorcima, a u tabeli 1 dat je prikaz broja dana merenja u svakoj godini, minimalne i maksimalne vrednosti, srednje godišnje vrednosti kao i broj dana iznad granične i tolerantne vrednosti. Rezultati ovih istraživanja su pokazali da se broj merenja u petogodišnjem merenju kreće u intervalu od 336 dana u 2016. godini do 365 dana u 2019. godini. Dok se minimalne koncentracije ovih čestica kreću od $1,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (u 2015. godini) do $5,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (u 2019 godini), dotle se maksimalne koncentracije kreću od $289,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (u 2017. godini) do $376,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (u 2016. godini). Srednje dnevne vrednosti na godišnjem nivou bile su najniže u 2019. godini i iznosile su $34,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a najviše u 2015. godini i iznosile su $47,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Na osnovu graničnih i tolerantnih vrednosti koncentracija suspendovanih čestica PM2.5 u vazduhu, koje su propisane Uredbom o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha, a koju je donela Vlada Republike Srbije [12], izračunat je broj dana čije su vrednosti bile iznad propisanih. Naime, ovo istraživanje je pokazalo da je čak 48,45% uzoraka neispravno tj. od 1771 analiziranih dana 858 je imalo veće koncentracije od dozvoljenih i tolerantnih vrednosti.

U cilju određivanja uticaja godišnjeg doba na stepen zagađenja vazduha suspendovanim česticama PM2.5 smatrali smo da je od interesa analizirati rezultate određivanja koncentracija ovih supstanci po mesecima u periodu od 2015-2019. godine (tabela

2). Dobijeni rezultati pokazuju da se koncentracije ovih čestica razlikuju u zavisnosti od meseca i godine njihovog merenja. Minimalna koncentracija PM2.5 od $1,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ određena je u septembru 2015. godine, a maksimalna od $376,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u januaru

2016. godine. Analizirajući maksimalne koncentracije suspendovanih čestica PM2.5 po mesecima u analiziranom petogodišnjem periodu zapaža da su one bile najveće u januaru ($237,86-376,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a najniže u junu mesecu ($24,82-33,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabela 1 - Koncentracije suspendovanih čestica PM2.5 u periodu od 2015-2019. godine

		Suspendovane čestice PM2.5				
		2015	2016	2017	2018	2019
Godina						
Broj dana merenja u godini		356	336	352	362	365
X - godišnja ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		47,91	46,27	42,32	38,09	34,17
Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		1,81	3,26	2,36	4,17	5,25
Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		347,83	376,81	289,49	294,38	374,27
Iznad granične vrednosti - dnevne	Broj dana	23	17	8	7	0
	%	6,5	5,1	2,3	1,9	0
Iznad tolerantne vrednosti - dnevne	Broj dana	180	158	148	174	143
	%	50,6	47,0	42,0	48,1	39,2

Tabela 2 – Rezultati merenja suspendovanih čestica PM2.5 po mesecima u periodu od 2015-2019. god.

Mesec		2015	2016	2017	2018	2019
Januar	Broj dana merenja u mesecu	30	31	31	31	31
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13,04	33,51	28,26	16,81	5,25
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	237,86	376,61	289,49	272,64	374,27
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	90,52	169,99	111,63	90,35	95,23
	Broj dana >GV	0	0	0	0	0
	Broj dana >TV	27	31	31	28	25
Februar	Broj dana merenja u mesecu	28	29	19	25	28
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24,63	15,21	25,90	11,41	13,22
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150,18	237,86	159,24	84,60	100,91
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	59,63	58,97	42,45	39,03	58,70
	Broj dana >GV	2	0	2	0	0
	Broj dana >TV	25	22	17	17	24
Mart	Broj dana merenja u mesecu	31	31	27	31	31
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,13	22,46	11,41	10,51	7,61
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	80,97	101,99	66,67	86,23	84,24
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	34,56	48,48	31,85	32,45	35,30
	Broj dana >GV	2	2	2	1	0
	Broj dana >TV	22	27	19	21	23
April	Broj dana merenja u mesecu	30	11	30	30	30
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,05	22,46	10,33	15,04	7,97
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	76,81	48,73	38,40	37,68	42,93
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31,23	34,65	63,75	25,94	24,35
	Broj dana >GV	5	1	2	3	0
	Broj dana >TV	12	9	10	18	16
Maj	Broj dana merenja u mesecu	31	28	31	31	31
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,59	8,15	4,71	10,51	6,88
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30,62	25,36	22,64	25,72	28,99
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,99	17,67	17,68	16,68	13,84
	Broj dana >GV	1	3	0	0	0
	Broj dana >TV	3	0	0	1	2

Tabela 2 (nastavak) – Rezultati merenja suspendovanih čestica PM_{2.5} po mesecima u periodu od 2015-2019. god.

Mesec		2015	2016	2017	2018	2019
Jun	Broj dana merenja u mesecu	30	28	30	30	30
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,05	7,43	7,25	7,79	7,61
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33,15	27,35	24,82	32,61	28,44
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,31	14,78	18,26	19,03	16,71
	Broj dana >GV	2	0	0	0	0
	Broj dana >TV	2	1	0	2	1
Jul	Broj dana merenja u mesecu	30	30	31	31	31
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,39	6,88	6,70	11,96	8,15
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	38,40	30,34	22,28	46,92	20,83
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24,25	17,58	14,83	21,39	13,79
	Broj dana >GV	0	1	0	0	0
	Broj dana >TV	8	1	0	6	0
Avgust	Broj dana merenja u mesecu	31	31	31	31	31
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,43	6,16	6,34	4,17	7,25
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	36,05	27,35	24,64	27,35	23,37
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,94	16,36	16,41	15,09	15,51
	Broj dana >GV	6	2	0	0	0
	Broj dana >TV	5	1	0	2	0
Septem- bar	Broj dana merenja u mesecu	30	30	30	30	30
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,81	7,61	2,36	11,23	9,96
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31,15	36,59	30,80	36,59	24,82
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,44	23,72	17,20	21,77	16,03
	Broj dana >GV	4	6	0	1	0
	Broj dana >TV	2	10	2	7	0
Oktobar	Broj dana merenja u mesecu	24	31	31	31	31
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,68	3,26	3,44	14,85	6,52
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	97,28	63,41	62,68	80,25	105,95
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	38,47	26,46	33,34	36,59	34,79
	Broj dana >GV	1	1	0	0	0
	Broj dana >TV	14	15	20	22	19
Novem- bar	Broj dana merenja u mesecu	30	29	30	30	30
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,29	10,87	15,22	16,66	7,07
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	188,04	153,62	195,11	134,06	72,28
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	104,54	48,26	64,28	43,92	20,72
	Broj dana >GV	0	1	0	2	0
	Broj dana >TV	29	17	24	21	9
Decem- bar	Broj dana merenja u mesecu	31	27	31	31	31
	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	46,74	16,30	12,68	18,84	5,80
	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	347,83	192,75	276,63	294,38	209,42
	X-mesečna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	109,97	78,35	76,12	94,82	65,02
	Broj dana >GV	0	0	2	0	0
	Broj dana >TV	31	24	25	29	24

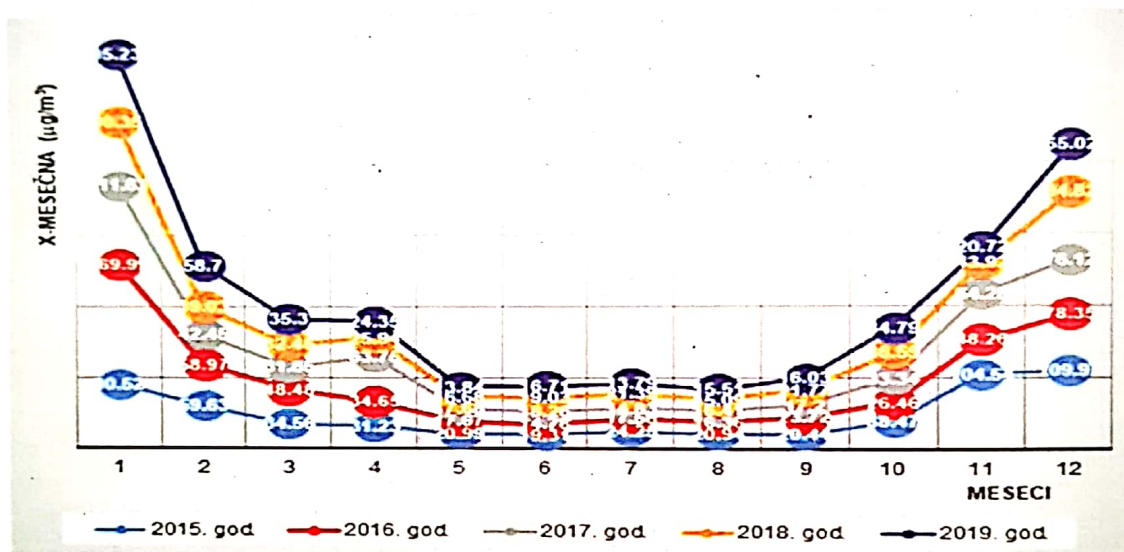
Koliko grejna sezona utiče na koncentraciju suspendovanih čestica PM_{2.5} jasno se vidi na grafikonu 1. Naime, najniže srednje mesečne koncentracije ovih čestica ostvarene su u maju, junu, julu, avgustu i septembru (13,89-24,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), nešto veće u aprilu i oktobru (24,35-63,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a najveće u novembru, decembru, januaru, februaru i martu (20,72-169,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Kao dodatni argument povećane koncentracije suspendovanih čestica PM_{2.5} u vreme grejne sezone dokazuje i činjenica da je broj dana iznad gra-

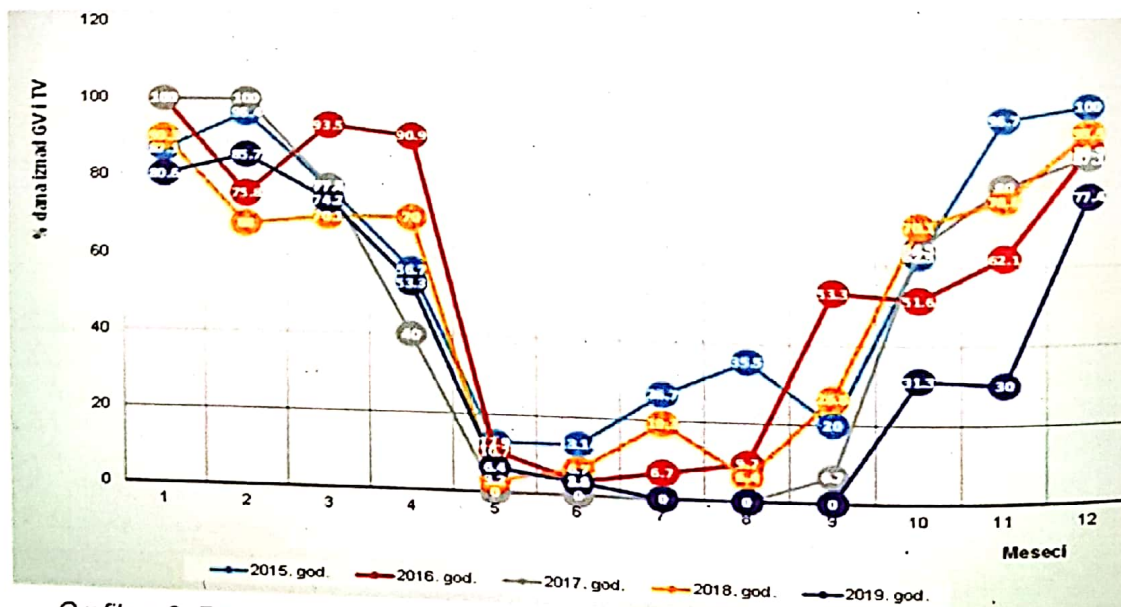
nične i tolerantne vrednosti višestruko veći u odnosu na mesece van sezone grejanja. Iz tabele 1 se vidi da je od ukupno 1771 analiziranih dana, iznad granične vrednosti bilo je 3,11% uzoraka (55 dana), a iznad tolerantne vrednosti čak 45,34% uzoraka (803 dana). S obzirom da iz tehničkih razloga merenja koncentracije suspendovanih čestica PM_{2.5} nisu izvršena svakodnevno (npr. u aprilu 2016. godine samo 11, a u februaru 2017. godine 19), smatrali smo da je preciznije izračunati procenat ukupnog broja dana iznad granične i tolerantne vredno-

sti u odnosu na broj merenja u mesecu (grafikon 2). Najbolje rezultate (0%), kod kojih su koncentracije ovih čestica bile ispod graničnih i tolerantnih vrednosti, imali su uzorci u četiri meseca 2017. godine (maj, juni, juli i avgust) i tri meseca 2019. godine (juli, avgust i septembar). Međutim, najgore rezultate, u kojima je 100% uzoraka imalo vrednosti iznad graničnih i tolerantnih vrednosti, izmereni su u decembru 2015. godine, januaru 2016. godine kao i u januaru i februaru 2019. godine. Koncentracije suspendovanih čestica PM_{2.5} ukazuju da ove čestice povećavaju stepen zagađenja vazduha u gradu Kraljevu. To dokazuje i podatak da je maksimalna koncentracija ovih čestica od 376,81 μg/m³ izmerena 18.01.2016. godine, koja je 15 puta viša

od granične i 14 puta od tolerantne vrednosti. Od 858 uzoraka, u kojima su koncentracije ovih čestica iznad graničnih i tolerantnih vrednosti, čak 700 uzoraka (81,6%) je iz grejne sezone, a 158 uzoraka (18,4%) van grejne sezone. Ovi rezultati dokazuju da tehnologija sagorevanja goriva u kotlarnicama i individualnim ložištima direktno utiče na povećanje stepena zagađenja vazduha u gradu Kraljevu. Pored načina zagrevanja, značajan izvor aerozagađenja predstavlja i drumski saobraćaj koji emituje skoro ¾ ugljen-monoksida i azotnih oksida kao i visok procenat čađi [22]. Povećana frekvencija automobila, kao i sve veći broj teških vozila strajjih od 10 godina znatno utiču na povećanje stepena zagađenja aerozagađenja u ovom gradu.



Grafikon 1. Pregled srednjih mesečnih koncentracija suspendovanih čestica PM_{2.5} u periodu od 2015-2019. godine



Grafikon 2. Pregled broja dana iznad granične i tolerantne vrednosti (u %) u odnosu na broj dana merenja po mesecima u periodu od 2015-2019. godine

ZAKLJUČAK

Zagađenje vazduha u gradu Kraljevu analizirano je praćenjem koncentracije suspendovanih čestica PM_{2.5} na jednom mernom mestu u periodu od 2015-2019. godine. Gotovo svakodnevnim merenjem analiziran je 1771 uzorak pri čemu je gravimetrijskom analizom utvrđeno da 48,45% uzoraka prelazi granične i tolerantne vrednosti. Najmanja koncentracija ovih čestica od 1,81 μg/m³ izmerena je 27.9.2015. godine. Međutim, njihova najveća koncentracija od 376,81 μg/m³ izmerena je 18.01.2016. godine pri čemu je 15 puta preko-račena granična, a 14 puta tolerantna vrednost. Srednje mesečne vrednosti koncentracije ovih čestica kreće u opsegu od 13,79-169,99 μg/m³, pri čemu su najviše bile u novembru, decembru, januaru, februaru i martu, nešto niže u aprilu i oktobru, a najniže maju, junu, julu, avgustu i septembru. Ovi rezultati jasno ukazuju na uvećane koncentracije suspendovanih čestica PM_{2.5} u periodu grejne sezone. Navedenu konstataciju potvrđuju i rezultati ovih istraživanja po kojima je od 858 uzoraka, koji prelaze granične i tolerantne vrednosti, čak njih 700 iz perioda grejne sezone, a 158 van grejne sezone. Dakle, povišene vrednosti suspendovanih čestica PM_{2.5} u vreme grejne sezone ukazuju da zagađenje vazduha u gradu Kraljevu najvećim delom potiče iz kotlarnica i individualnih ložišta. Međutim, povećane koncentracije ovih čestica i van grejne sezone ukazuju i na učešće drugih zagađivača. Ovi rezultati o povećanom stepenu zagađenja vazduha u gradu Kraljevu suspendovanim česticama PM_{2.5} ukazuju na neophodnost primene adekvatnih mera u cilju zaštite ekosistema i zdravlja ljudi.

LITERATURA

- [1] Bartonova A., Jovašević-Stojanović M., Editors, *Particulate Matter: Research and Management, Proceedings from the 2nd WeB!OPATR Workshop, Mokra Gora, Serbia, 31.8-2.9.2009*, Norwegian Institute for Air Research, Norway, 2009, pp. 1-153,
- [2] Gržetić I. (2016), *Suspendovane i respirabilne čestice u urbanim sredinama*, Hemijski fakultet, Beograd, str. 4-10,
- [3] Atkinson R.W., Fuller G.W., Anderson H.R., Harrison R.M., Armstrong B., (2010). *Urban ambient particle metrics and health: a time series analysis*, *Epidemiology* 21 (4), 501-511,
- [4] Pope III C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Kazuhiko I., et al. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *J Am Med Assoc*, 287, 1132-41,
- [5] Kunzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Chanel O., Filliger P., (2000) Public health impact of outdoor and traffic related air pollution: a European assessment, *Lancet* 356:795-801,
- [6] Pope A., Burnett T., Thun J., Calle Krewski D., Ito K., Thurston D. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *J.Am.Med. Assoc.*, 287, 1132-1141,
- [7] Mokdad H., Marks S., Stroup F., Gerberding L. (2004) Actual causes of death in the United States, 2000, *J. Am. Med. Assoc.*, 291, 1238-1245,
- [8] Stanković A., Nikić D., Bogdanović D. (2007) Monitoring aerorozagađenja i procena uticaja na zdravlje stanovništva na teritoriji grada Niša, *Ecologica*, 14: 53-56,
- [9] Nikic D., Bogdanovic D., Nikolic M., Stankovic A., Zivkovic N., Djordjevic A. (2009) Air quality monitoring in NIS (SERBIA) and health impact assessment, *Environ. Mon. Assess.*, 158: 499-506,
- [10] Milićević Z., Arsić Lj. (2011) The impact of coal processing technology on the environment, *Facta universitatis, Series: Economics and Organization Vol. 8, No 3*, 321-330,
- [11] Council Directive EU, 2008/50/EC, <http://faolex.fao.org/docs/pdf/eur80016.pdf>,
- [12] Uredba o uslovima za monitoring i zahteva kvaliteta vazduha, *Sl. glasnik RS br. 11/10; 75/10; 63/13*,
- [13] Milićević Z., Marinović D., Đokić N., Arsić Lj. (2017) Impact of concentration of suspended particles PM₁₀ to air pollution in the city of Kraljevo (Serbia), *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, No 3-4, pp. 1-10,
- [14] Vazduh ambijenta — Standardna gravimetrijska metoda merenja za određivanje PM₁₀ ili PM_{2.5} masene koncentracije suspendovanih čestica, *SRPS EN 12341:2015*, *Sl. glasnik Republike Srbije*, 48/15,
- [15] Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje, *EN ISO/IEC 17025:2006*, *Sl. glasnik Republike Srbije*, 16/06,
- [16] Zenović I. (2017) Uticaj saobraćaja na zagađenje vazduha, *Ecologica*, 86, str. 435- 440.

IZVOD

ANALIZA ZAGAĐENJA VAZDUHA I KONCENTRACIJE SUSPENDOVANIH ČESTICA PM2.5

Suspendovane čestice u vazduhu, zbog svog negativnog dejstva na zdravlje ljudi, danas su sve više predmet interesovanja stručnjaka, regulatornih tela i najšire javnosti. Posebna pažnja posvećuje se suspendovanim česticama PM2.5 koje, zbog svoje manje veličine, dublje i efikasnije prodiru u pluća čoveka, a izazivaju i negativne efekte na životnu sredinu. U ovom radu analizirane su koncentracije suspendovanih čestica PM2.5 iz ambijentalnog vazduha na teritoriji grada Kraljeva, uzorkovanih u periodu od 2015-2019. godine. Gravimetrijskom analizom 1771. uzorka utvrđeno je da se koncentracija ovih čestica kreće u opsegu od 1,81-376,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Posebno zabrinjava podatak da je čak 48,45% analiziranih uzoraka bilo iznad graničnih i tolerantnih vrednosti. U svakoj godini analiziranog petogodišnjeg perioda uočena je ista pravilnost tj. najveća prekoračenja bila su u periodu grejne sezone što znači da način grejanja u gradu Kraljevu ima dominantnu ulogu u zagađenju vazduha ovim česticama. U cilju očuvanja životne sredine, a posebno zdravlja ljudi, neophodna je primena adekvatnih mera sa posebnim akcentom na osavremenjavanje tehnoloških rešenja za sagorevanje goriva u kotlarnicama i individualnim ložištima.

Ključne reči: Zagađenje vazduha, suspendovane čestice PM2.5, gravimetrijska analiza.

ABSTRACT

ANALYSIS OF AIR POLLUTION AND THE CONCENTRATION OF SUSPENDED PARTICLES PM2.5

Suspended airborne particles, due to their negative effects on human health, are now increasingly the subject of interest of experts, regulatory bodies and the general public. Particular attention is paid to suspended PM2.5 particles, which, due to their smaller size, go through deeper and more efficiently into the lungs of humans, and also cause negative environmental effects. This paper analyzes the concentrations of suspended PM2.5 particles from ambient air in the territory of the city of Kraljevo, sampled in the period 2015-2019 years. Gravimetric analysis of the 1771 sample determined that the concentration of these particles was in the range of 1.81-376.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Of particular concern is the fact that as many as 48.45% of the analyzed samples were above the limit and tolerance values. The same regularity was observed in each year of the five-year period analyzed, ie. the largest exceedances were during the heating season which means that the heating mode in the city of Kraljevo plays a dominant role in the air pollution of these particles. In order to preserve the environment, and especially human health, it is necessary to apply adequate measures with special emphasis on the modernization of technological solutions for combustion of fuel in boiler rooms and individual combustion plants.

Keywords: Air pollution, suspended PM2.5 particles, gravimetric analysis.