

Uticaj individualnih ložišta na biomasu na zagađenost vazduha u urbanim sredinama

Vladimir Vukašinović, Dušan Gordić, Jelena Nikolić, Mladen Josijević, Davor Končalović

Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Rezime - Korišćenje biomase, kao regionalno dostupnog obnovljivog izvora energije je jedan od ključnih koraka ka dekarbonizaciji i ostvarivanju održivog razvoja zemalja koje su u razvoju. Biomasa koja se koristi na održiv način smatra se ugljenično neutralnim gorivom. Zahvaljujući svojim svojstvima predstavlja energent koji može doprineti ostvarivanju cilja ugljenične neutralnosti. Iako, za razliku od fosilnih goriva, emituje niske emisije zagađujućih materija, kada se govori o kontrolisanom procesu potpunog sagorevanja, sve su češći problemi koji se javljaju usled neadekvatnog korišćenja biomase. U mnogim zemljama u razvoju, biomasa, posebno drvna, se često koristi na tradicionalan i neefikasan način za kuvanje i zagrevanje prostora u ložištima sa minimalnom mogućnošću kontrole procesa sagorevanja. Takav neefikasan način korišćenja biomase može izazvati ozbiljne ekološke probleme. Nepotpuno sagorevanje drvene biomase može rezultirati emisijom štetnih supstanci, uključujući čestice (mešavina dima, čađi i kiselina) i ugljen-monoksid (CO). Ove supstance su opasne po zdravlje ljudi i imaju negativne efekte na kvalitet vazduha. Pored toga, sagorevanje biomase na visokim temperaturama može generisati azotne okside (NO_x), čime se dodatno pogoršava ekološki uticaj. U Srbiji, prema popisu iz 2022. godine svega 20% stambenih jedinica povezano na sisteme daljinskog grejanja dok 77% čine individualni sistemi grejanja. Kod individualnih sistema grejanja 31% čine stanovi koji imaju instalacije grejanja. Od ukupnog broja nastanjenih stanova u gradskim sredinama koji nisu povezani na sistem daljinskog grejanja, drvo kao energent koristi 47,60%, ugalj 2,07%, prirodni gas 17,40%, a električnu energiju 29,00%. U radu je analizirano 15 gradskih sredina u Srbiji kod kojih je vazduh kategorisan u III kategoriju kao posledica emisija PM_{2,5} i P10 čestica. Sistemi daljinskog grejanja analiziranih gradova se zasnivaju na korišćenju prirodnog gasa (11 gradova), dok je ugalj preovlađujuće gorivo u tri grada i mazut u jednom gradu. U većini analiziranih gradovima individualni sistemi grejanja imaju udele najčešće preko 70% i zasnovani su najvećim delom na korišćenju čvrste biomase, iznad 60%. Dnevna prekoračenja emisija PM čestica, koja su višestruko iznad dozvoljene granice, su u preko 95% u toku grejne sezone.

Ključne reči - biomasa, kvalitet vazduha, emisije, individualna ložišta

I UVOD

Urbana područja širom sveta suočavaju se s problemom zagađenja vazduha, što predstavlja ozbiljan izazov za javno zdravlje i životnu sredinu. Nivo zagađenja vazduha, odnosno koncentracije polutanata značajno variraju u gradovima u

zavisnosti od geografskih lokacija i dominantnih izvora zagađenja [1]. Jedan od značajnijih izvora zagađujućih materija je generisanje energije za različite aktivnosti, jer je dostupna energija jedan od preduslova ekonomskih napretka i održivog razvoja savremenog društva. Fosilna goriva koja predstavljaju okosnicu većine energetskih sistema moraju biti zamenjena, pre svega, obnovljivim ugljenično-neutralnim gorivima koja bi trebalo da obezbede minimalan uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi i da njihovo korišćenje bude ekonomski opravdano [2]. Biomasa se, kao široko dostupni obnovljivi izvor energije (OIE) i zahvaljujući fizičko-hemijskim karakteristikama, smatra jednim od važnih činilaca ka dekarbonizaciji i ostvarivanju i osnaživanju održivog razvoja. Odnosno biomasa je prepoznata kao važan deo rešenja za ublažavanje klimatskih promena, jer nudi obnovljivu alternativu fosilnim gorivima [3]. Biomasa je OIE koji, nakon odgovarajućih transformacija, može koristiti na način sličan korišćenju fosilnim gorivima. Prednost biomase je u odnosu na npr. ugalj, što biomasa emituje 90% manje sumpornih oksida (SO_x) prilikom sagorevanja.

Iako, za razliku od fosilnih goriva, emituje niske emisije zagađujućih materija, kada se govori o kontrolisanom procesu potpunog sagorevanja, sve su češći problemi koji se javljaju usled neadekvatnog korišćenja biomase, odnosno upotrebe zastarelih i neefikasnih tehnologija. U mnogim zemljama u razvoju, biomasa, posebno drvna, se često koristi na tradicionalan i neefikasan način za kuvanje i zagrevanje prostora, sagorevanjem u pećima sa minimalnom mogućnošću kontrole procesa. Takav neefikasan način korišćenja biomase može izazvati ozbiljne ekološke probleme [4]. Sagorevanje čvrste biomase emituje različite zagađivače, uključujući čestice (PM) i ugljen-monoksid (CO), što predstavlja značajnu pretnju i ljudskom zdravlju i životnoj sredini [5]. Ove supstance su opasne po zdravlje ljudi i imaju negativne efekte na kvalitet vazduha. Procene su da je zagađen vazduh odgovoran za 7 miliona prevremenih smrti širom sveta [6], od čega je oko 4 miliona izazvano PM_{2.5} česticama [7].

Zbog toga su, kao jedan od najznačajnijih izvora zagađenja u urbanim područjima, identifikovana individualna ložišta na biomasu koje se često koriste za zagrevanje i pripremu hrane u domaćinstvima [8]. Procene su pokazale da sve veća upotreba sagorevanja drveta u stambenom sektoru ima negativne efekte na zdravlje lokalnog stanovništva zbog velikog uticaja na kvalitet vazduha [9]. Petracchini [2] i ostali su u svom radu pratili koncentracije različitih zagađujućih materija u vazduhu (PM₁₀, poliaromatičnih ugljovodonika, NO_x, SO₂, etc) kako bi procenili uticaj sagorevanja biomase u stambenom sektoru. Sagorevanje biomase je identifikovano kao glavni izvor poliaromatičnih

ugljovodonika. Kako bi pokazali uticaj sagorevanja biomase na kvalitet vazduha u Novom Sadu, Nestorović i saradnici [10] su sproveli studiju koja je imala za cilj utvrđivanje emisija zagađujućih materija koje vode poreklo od sagorevanja biomase u stambenom sektoru Grada Novog Sada u periodu od 11 godina. Rezultati su pokazali da domaćinstva doprinose više od 97% emisija CO i PM (eng. Particulate Matter) u stambenom sektoru. Više od 81% CO i 90% PM se formira direktno sagorevanjem biomase. Kako bi se ublažile posledice koje emisije zagađujućih materija u vazduh, a pre svega PM_{2.5} čestica imaju na zdravlje ljudi, u radu [11] je analiziran predlog modela mašinskog učenja za predviđanje koncentracije suspendovanih čestica u vazduhu. Kako bi se biomasa kao održiv OIE koristila na adekvatan način i kako bi se negativan uticaj na kvalitet vazduha minimizovao neophodno je omogućiti energetska tranzicija domaćinstava. U radu [12] prikazano je istraživanje kroz koje su kreirani simulacioni modeli koji za upravljanje energetskom tranzicijom domaćinstava i prelazak ka modernim tehnologijama.

U sektoru domaćinstava u Srbiji dominiraju individualni sistemi grejanja, pre svega bazirani na čvrstim gorivima (peći i šporeti na ogrevno drvo i ugalj) i na električnoj energiji. Analiza koju su sproveli Pavlović i ostali [13] pokazuje da u trenutnoj strukturi sistema grejanja, dominantni energent je ogrevno drvo (blizu 60%), zatim električna energija, prirodni gas, pelet i ugalj. Na osnovu godišnjih izveštaja o stanju kvaliteta vazduha u Republici Srbiji u periodu 2020-2022 vazduh je u više gradova i opština bio III kategorije usled povećanih koncentracija zagađujućih PM_{2.5} i PM₁₀ čestica [14]. Kako bi se jasnije identifikovao uticaj sagorevanja biomase u individualnim ložištima u sektoru domaćinstava, u ovom radu je izvršena analiza uticaja na povećanje koncentracije zagađujućih materija u urbanim sredinama u Srbiji. Dobijeni rezultati omogućavaju jasnu identifikaciju izazova sa kojim se suočava sektor domaćinstava i njegov uticaj na životnu sredinu. Ovi rezultati mogu predstavljati osnovu za razvoj strategija i akcionih planova za unapređenje stanja životne sredine, kako na lokalnom, tako i na nacionalnom nivou.

II MATERIJAL I METOD

Koncentracije zagađujućih materija u vazduhu u Srbiji prate se preko više stotina mernih uređaja i stanica u velikom broju gradova i opština u Srbiji. Agencija za zaštitu životne sredine Ministarstva za zaštitu životne sredine u saradnji sa partnerima pokrenula je mrežu od 75 mernih stanica koje mere koncentracije zagađujućih materija u vazduhu u 29 naseljenih mesta u Srbiji [15]. Pored mreže državnih mernih stanica, kvalitet vazduha, odnosno koncentracije zagađujućih materija prate se i preko individualnih mernih uređaja koji publikuju podatke u različitim javno dostupnim bazama podataka kao što su, aplikacija xEco Vazduh [16], Sensor community [17], Klimerko [18], PurpleAir [19], IQAir [20], AqiCN [21]. U tabeli 1, prikazan je broj mernih stanica koje mere koncentracije zagađujućih materija u gradovima i opštinama u Srbiji i čiji se podaci sistematizuju u okviru aplikacije xEco Vazduh.

Na osnovu izmerenih vrednosti, vazduh se može klasifikovati u 6 opisnih kategorija (dobar, prihvatljiv, srednji, loš, veoma loš i izuzetno loš). Rasponi izmerenih koncentracija u pojedinim kategorijama se razlikuju u zavisnosti od vrste zagađujućih

materija. Vrednosti graničnih emisija za dvadesetčetvoročasovno osrednjavanje emisija PM_{2.5} [µg/m³] i indeksa kvaliteta vazduha (AQI) prikazani su tabeli 2.

Tabela 1. Broj mernih stanica sistematizovanih u aplikaciji xEco Vazduh

Baza podataka	Broj mernih uređaja
Sensor community	124
Klimerko	226
WeatherLink	2
PurpleAir	4
AqiCN	3
IQAir	14

Tabela 2. Granične vrednosti emisija i prateće oznake

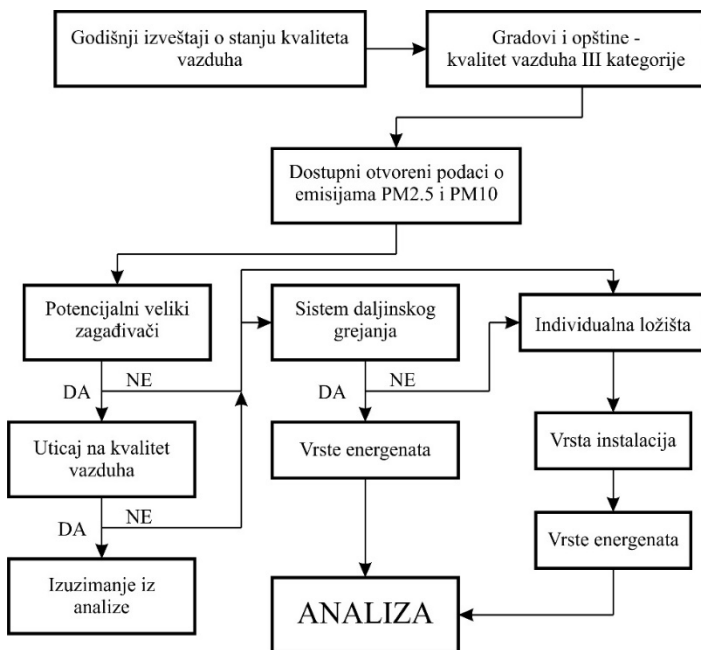
PM _{2.5}	AQI	Opis
0-12	0-50	Dobar
12-35	51-100	Srednji
35-55	101-150	Nezdravo (za osetljive osobe)
55-150	151-200	Nezdravo
150-250	201-300	Veoma nezdravo
>250	>300	Opasan

Uredbom o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha [22], definisane su, između ostalog, granične vrednosti nivoa zagađujućih materija u vazduhu, gornje i donje granice ocenjivanja nivoa zagađujućih materija u vazduhu, granice tolerancije i tolerantne vrednosti, koncentracije opasne po zdravlje ljudi i koncentracije o kojima se izveštava javnost i kritični nivoi zagađujućih materija u vazduhu.

Da bi se analizirao potencijalni uticaj sagorevanja čvrste biomase u individualnim ložištima na zagađenost vazduha, neophodno je poznavanje sistema grejanja i energenata koji se koriste po gradovima i opštinama u Srbiji. Nekoliko analiza i studija u vezi sa procenom udela pojedinih sistema sprovedeno je u prethodnom periodu, zasnovano na različitim metodologijama [13,23,24]. Popisom stanovništva, domaćinstava i stanova iz 2022. godine, objavljeni su podaci o opremljenosti stanova instalacijama električne energije, vodovoda, kanalizacije, grejanja i gasovoda [25]. Takođe objavljeni su i podaci o korišćenju energenata u nastanjenim stanovima bez centralnog grejanja, prema vrsti energenta koji se koristi. Sa druge strane, kada se govori o sistemima daljinskog grejanja, Poslovno udruženje „Toplane Srbije“ objavljuje godišnje izveštaje o radu sistema daljinskog grejanja u Republici Srbiji, koje sadrži podatke o utrošenim energentima za svaku toplanu koja je u članica udruženja [26].

Na slici 1. prikazana je metodologija na osnovu koje je sprovedena analiza uticaja individualnih ložišta koja koriste čvrstu (drvenu) biomasu kao energent na zagađenost vazduha u urbanim sredinama. Osnova za analizu su Godišnji izveštaji o stanju kvaliteta vazduha [14] u kojima su gradovi i opštine svrstani u neku od tri kategorije prema kvalitetu vazduha. Određen broj gradova i opština, kod kojih su prekoračene dozvoljene granice emisija je svrstan u III kategoriju. Za ove gradove i opštine je izvršena provera dostupnosti podataka o emisijama PM_{2.5} i PM₁₀ čestica, a zatim su identifikovani

potencijalno veliki zagađivači (pre svega industrijski) koji su van stambenog sektora. Ukoliko je u nekom od opština ili gradova identifikovan potencijalni zagađivač, prema predloženoj metodologiji, najpre se analizira uticaj ovog izvora emisija na kvalitet vazduha i u slučaju da je procenjeni uticaj veliki, opština ili grad su izuzimaju iz dalje analize. U slučaju kada nije identifikovan potencijalno veliki zagađivač ili je uticaj na kvalitet vazduha minimalan, prelazi se na analizu sistema grejanja, odnosno paralelno se analiziraju udeli sistema daljinskog grejanja i individualnih sistema. Kod sistema daljinskog grejanja, akcentat se stavlja na analizu energenata koji se koriste i na njihov eventualni uticaj na zagađenost vazduha. Sa druge strane, individualni sistemi se prvo razmatraju sa stanovišta instalacija (da li postoje instalacije centralnog grejanja), a potom se razmatraju energenti i njihovi udeli.



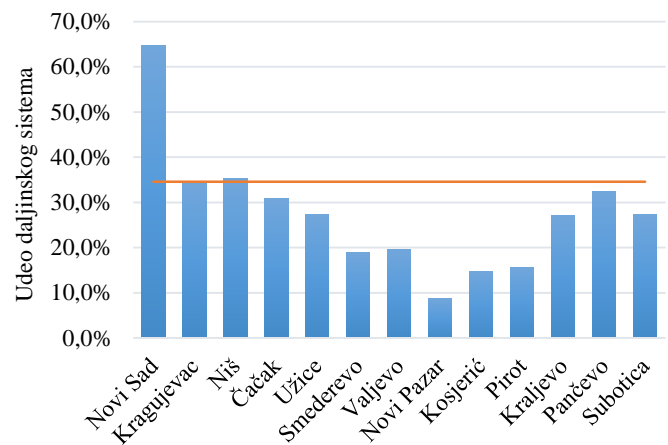
Slika 1. Metodologija za procenu uticaja individualnih ložišta na zagađenost vazduha

III REZULTATI

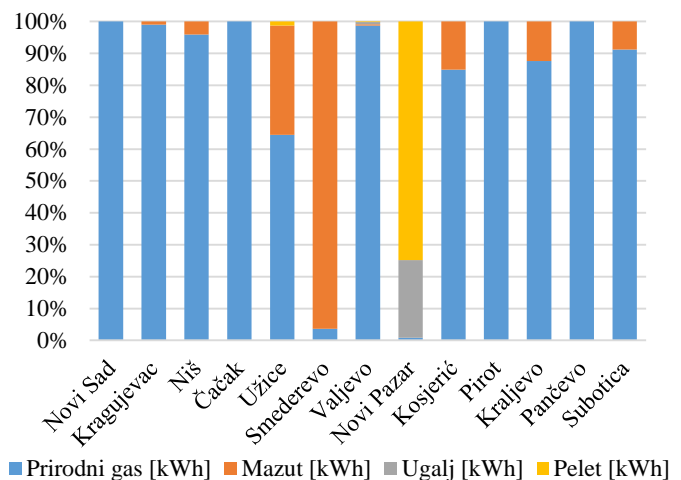
U periodu 2020-2022 godina, ukupno 23 grada i opštine su makar jednom bili svrstani u III kategoriju po kvalitetu vazduha, na osnovu godišnjih izveštaja koje izdaje Agencija za zaštitu životne sredine. Godišnji izveštaji o stanju kvaliteta vazduha sadrže podatke sa svih mernih stanica koje pripadaju državnoj mreži kao i podatke iz mreža jedinica lokalne samouprave. Prema metodologiji primenjenoj u izveštajima, utvrđene su tri kategorije kvaliteta vazduha. Treća kategorija podrazumeva gradove i opštine u kojima je vazduh prekomerno zagađen odnosno prekoračene se granične vrednosti za jednu ili više zagađujućih materija. U većini gradova i opština u kojima je vazduh III kategorije, osim u Boru i Beogradu, uzrok zagađenja su visoke koncentracije PM2.5 i PM10 čestica. U Boru su kao dominantna zagađujuća materija identifikovani oksidi sumpora (SOx), dok su u Beogradu jedan od uzročnika zagađenja bili oksidi azota (NOx).

Na osnovu prikazane metodologije za procenu uticaja individualnih ložišta na zagađenost vazduha za gradove i opštine u kojima je vazduh svrstan u III kategoriju po kvalitetu, izvršene su provere dostupnosti otvorenih podataka o emisijama PM2.5 i PM10 čestica, kako sa državnih mernih stanica tako i sa individualnih mernih uređaja. Zatim su analizirani potencijalni veliki industrijski zagađivači i njihov uticaj na kvalitet vazduha, odnosno na emisije zagađujućih materija i odabrano 13 od 23 gradova i opština u kojima je vazduh klasifikovan u III kategoriju po kvalitetu. Za ove gradove i opštine postoje odgovarajući podaci u otvorenim bazama.

Udeo daljinskog grejanja u nastanjenim stanovima u urbanim sredinama analiziranih gradova i opštinama kreće se od 8,7% u Novom Pazaru do 64,8% u Novom Sadu. Prosečna povezanost nastanjenih stanova u urbanim sredinama u Republici Srbiji na sisteme daljinskog grejanja je 34,6% (slika 2). Podaci sa slike 2 pokazuju da je u većini analiziranih gradova i opština zastupljenost daljinskog grejanja manja od prosečnih vrednosti za Srbiju. Sa druge strane, stanovi koji nisu povezani na sistem daljinskog grejanja, imaju individualne sisteme za generisanje toplote i udeo ovih sistema se kreće od 34,6% u Novom Sadu do 90,3% u Novom Pazaru [25].

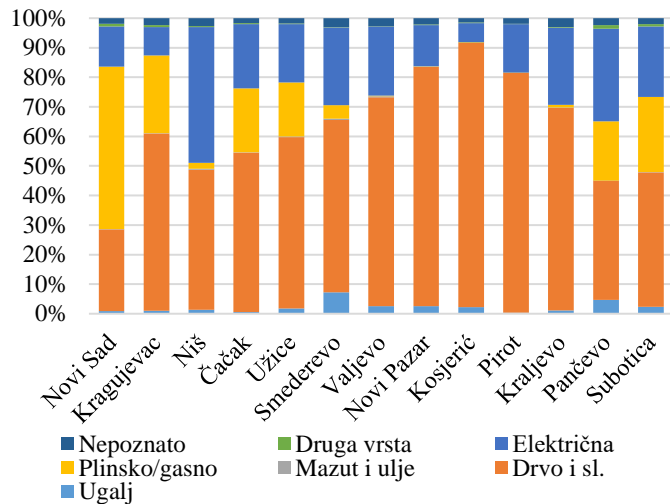


Slika 2. Udeo sistema daljinskog grejanja u nastanjenim stanovima u urbanim sredinama [25]



Slika 3. Korišćeni energenti u sistemima daljinskog grejanja [25]

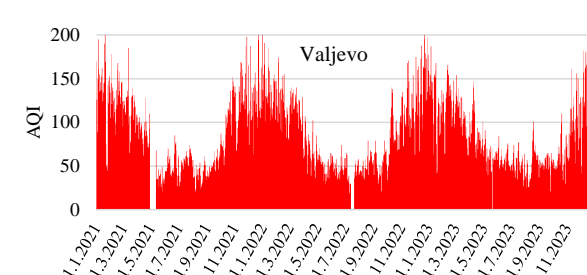
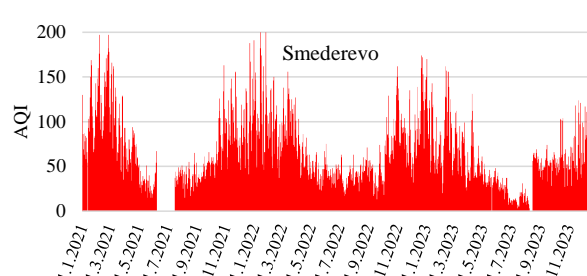
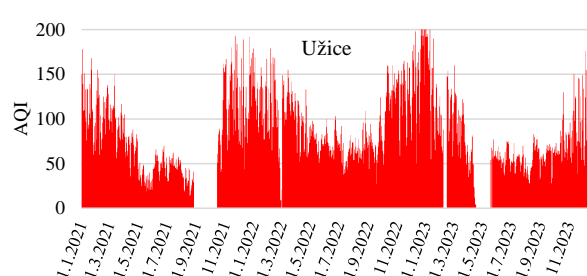
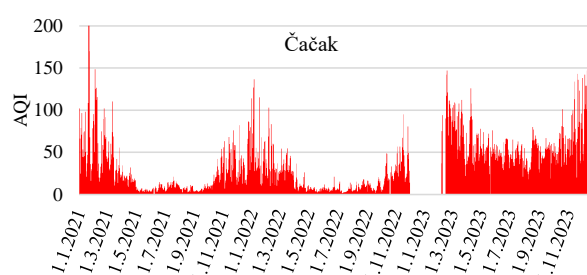
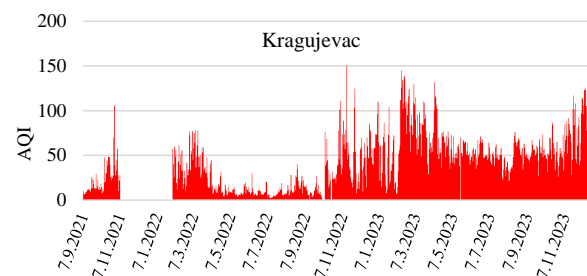
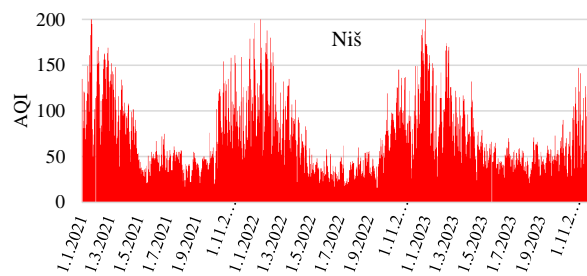
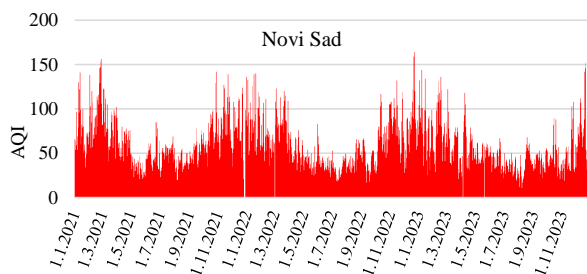
Prirodni gas je dominantan energent kada se radi o sistemima daljinskog grejanja u 11 od 13 analiziranih gradova i opština, pri čemu su mazut i pelet preovlađujući u preostale dve opštine Smederevu i Novom Pazaru (slika 3). U Kragujevcu je ugalj bio dominantni energent do oktobra 2022. godine, kada je celokupan sistem prešao na upotrebu prirodnog gasa, dok je Novi Pazar iste godine prešao na pelet.

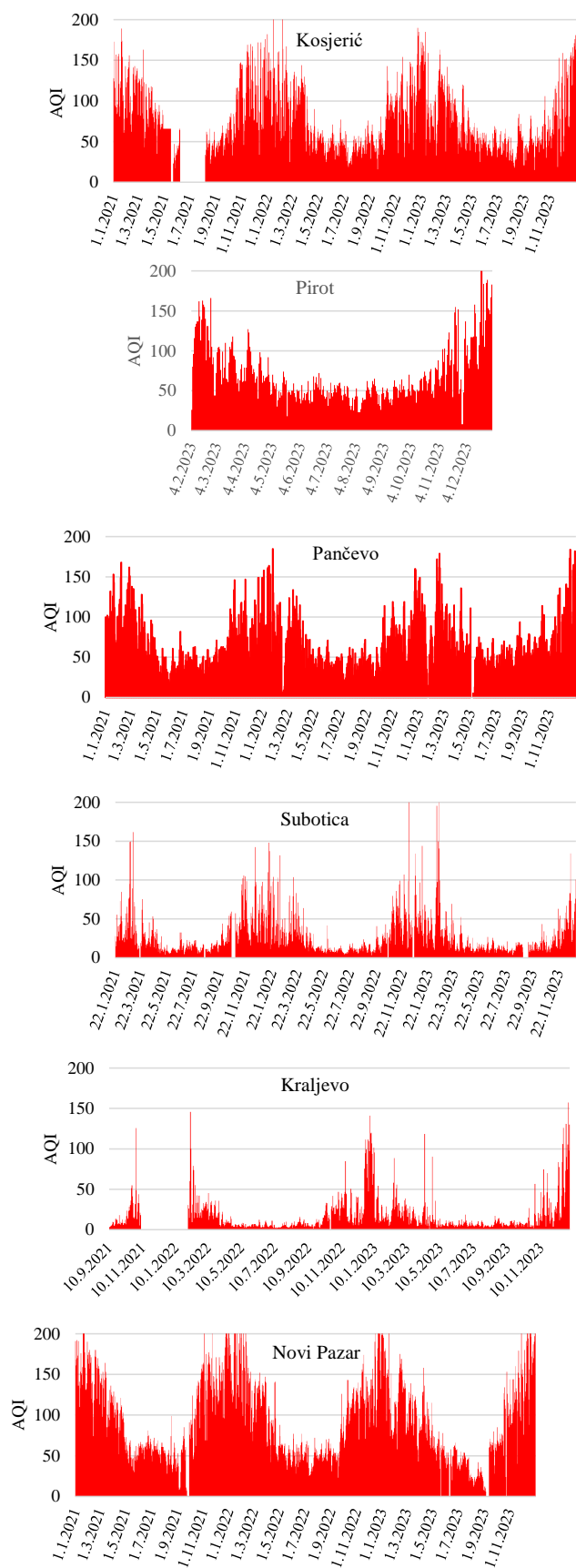


Slika 4. Udeo pojedinih energenata u individualnim sistemima [25]

Nastanjeni stanovi koji se zagrevaju individualnim sistemima grejanja mogu se razvrstati na one sa instalacijama centralnog grejanja i bez instalacija (grejanje na pojedinačne uređaje). Kod individualnih sistema grejanja u većini analiziranih gradova i opština, biomasa zauzima pojedinačno najveći udeo osim u Novom Sadu, gde je prirodni gas dominantan energent. Udeli biomase se kreću od 40,25% u Pančevu, do 89,30% u Kosjeriću (slika 4). Poređenjem podataka sa slika 2 i 4, može se zaključiti da je u gradovima i opštinama koji imaju male udele sistema daljinskog grejanja u zagrevanju nastanjenih stanova drvna biomasa glavni energent za generisanje toplote.

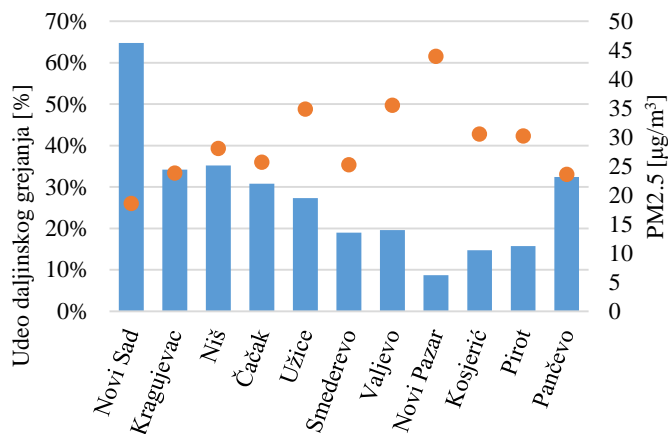
Za analizirane gradove i opštine, na slici 5, prikazane su vrednosti indeksa kvaliteta vazduha, baziranog na koncentraciji čestica PM_{2.5} prema podacima iz baze AqiCN [21]. Vrednosti AQI i njihova vremenska raspodela pokazuju da u većini analiziranih gradova i opština emisije imaju sezonski karakter, odnosno da su povišene vrednosti u toku grejne sezone. Ovo je posebno izraženo kod gradova i opština koje imaju mali broj stambenih jedinica povezanih na sistem daljinskog grejanja, odnosno tamo gde dominiraju individualni sistemi, odnosno individualna ložišta na biomasu.



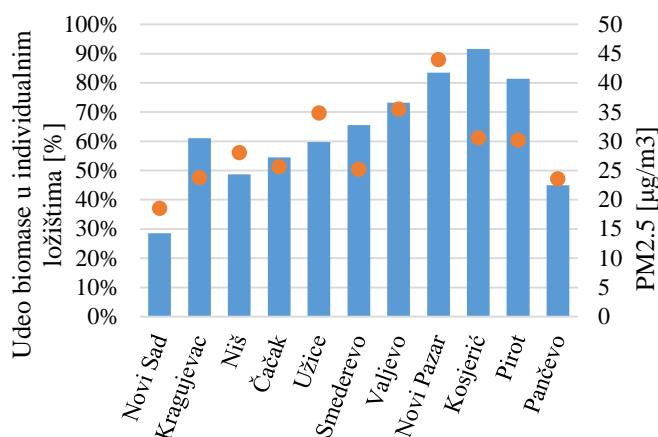


Slika 5. Dnevne vrednosti AQI za analizirane gradove i opštine [21]

Prosečne godišnje emisije čestica PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] [16] su takođe najveće u gradovima i opštinama gde su udeli daljinskog grejanja mali i gde je drvena biomasa dominantan energent u individualnim ložištima, slike 6 i 7 (za Kraljevo i Suboticu nije bilo relevantnih podataka).



Slika 6. Uporedni prikaz udela daljinskog grejanja i prosečnih godišnjih emisija PM2.5 čestica



Slika 7. Uporedni prikaz udela drvene biomase u individualnim ložištima i prosečnih godišnjih emisija PM2.5 čestica

IV ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazuje da zagađenje vazduha, odnosno nivoi emisija, u analiziranim gradovima i opštinama, a koji su prema kriterijumima Agencije za zaštitu životne sredine svrstani u III kategoriju, ima izraženo sezonski karakter. Povećanje koncentracija zagađujućih materija je značajno veće tokom grejne sezone, a posebno u gradovima i opštinama gde su udeli daljinskog grejanja mali, odnosno gde je biomasa (ogrevno drvo) dominantan energent u individualnim ložištima. U gradovima koji imaju najveća prosečna godišnja zagađenja (Užice, Valjevo, Novi Pazar, Kosjerić i Pirot) biomasa ima ukupne udele u grejanju stambenih jedinica od 50% do 78%.

Značajan faktor koji doprinosi negativnom uticaju upotrebe, pre svega, ogrevnog drveta na kvalitet vazduha je relativno veliki udeo stambenih jedinica bez instalacija centralnog grejanja. Za analizirane gradove i opštine ovaj udeo iznosi 32% izuzimajući

Novi Sad, u kome je udeo ispod 10%.

Iako prikazani rezultati pokazuju blisku vezu između korišćenja biomase u individualnim ložištima i povećanog zagađenja vazduha, potrebno je, u cilju donošenja preciznijih zaključaka, analizirati i dodatne faktore koji mogu imati uticaj, kao što su brzina vetra, relativna vlažnost i temperatura, količina padavina i atmosferski pritisak. Veza između navedenih meteoroloških faktora, njihovo dugoročno praćenje i definisanje njihove međusobne povezanosti, uzimajući u obzir geografske karakteristike regiona, može se koristiti u cilju izrade modela za predviđanje i upravljanje kvalitetom vazduha.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija RS, ugovor br. 451-03-66/2024-03/ 200107 od 05.02.2024. godine

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Li, X., Jin, L., Kan, H. Air pollution: a global problem needs local fixes, *Nature*, Vol 570, pp. 437-439, 2019. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-01960-7>
- [2] Petracchini, F., Romagnoli, P., Paciucci, L., Vichi, F., Imperiali, A., Paolini, V., Liotta, F., Cecinato, A. Influence of transport from urban sources and domestic biomass combustion on the air quality of a mountain area. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 24, pp. 4741-4754, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8111-1>
- [3] Cornette, J.F.P., Dyakov, I.V., Blondeau, J., Bram, S. Accurate particulate matter emission measurements from biomass combustion: A holistic evaluation of full and partial flow dilution systems, *Environmental Research*, Vol. 236, Part 1, 116714, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116714>
- [4] Paardekooper, S., Lund, H., Chang, M., Nielsen, S., Moreno, D., Thellufsen, J.Z. Heat Roadmap Chile: A national district heating plan for air pollution decontamination and decarbonisation, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 272, 122744, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122744>
- [5] Karanasiou, A., Alastuey, A., Amato, F., Renzi, M., Stafoggia, M., Tobias, A., Reche, C., Forastiere, F., Gumy, S., Mudu, P., Querol, X. Short-term health effects from outdoor exposure to biomass burning emissions: A review, *Science of The Total Environment*, Vol. 781, 146739, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146739>
- [6] Orru, H., Ebi, K.L., Forsberg, B. The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health, *Current Environmental Health Reports*, Vol. 4, pp. 504-513, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0168-6>
- [7] Nansai, K., Tohno, S., Chatani, S., Kanemoto, K., Kagawa, S., Kondo, Y., Takayanagi, W., Lenzen, M. Consumption in the G20 nations causes particulate air pollution resulting in two million premature deaths annually, *Nature Communications*, Vol. 12, No. 6286, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26348-y>
- [8] Akagi, S.K., Yokelson, R.J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M.J., Reid, J.S., Karl, T., Crouse, J.D., Wennberget, P.O. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models, *Atmospheric Chemistry Physics*, Vol. 11, No. 9, pp. 4039-4072, 2011. <https://doi.org/10.5194/acp-11-4039-2011>
- [9] Johnston, F.H., Hanigan, I.C., Henderson, S.B., Morgan, G.G. Evaluation of interventions to reduce air pollution from biomass smoke on mortality in Launceston, Australia: retrospective analysis of daily mortality, 1994-2007. *British publisher of medical journals*, Vol. 346, pp. 8446-8446, 2013, <https://doi.org/10.1136/bmj.e8446>
- [10] Nesterovic, A., Djatkov, D., Viskovic, M., Martinov, M., Adamovic, D. Air pollutants emissions from biomass combustion in the City of Novi Sad, Serbia, *Biomass Conversion and Biorefinery*, Vol. 13, pp. 10935-10946, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01882-3>
- [11] Nastić, F. Predlog modela za predviđanje koncentracije suspendovanih (PM2.5) čestica u vazduhu, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 25, No. 3, pp. 39-44, 2023. <https://doi.org/10.46793/EEE23-3.39N>
- [12] Pavlović, B. Osaživanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji: Integrativni pristup, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 25, No. 2, pp. 1-9, 2023. <https://doi.org/10.46793/EEE23-2.01P>
- [13] Pavlović, B., Ivezić, D., Živković, M. Challenges of Energy Transition in the Individual Heating Sector, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 17-21, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.17P>
- [14] Perunović Čulić, T., Knežević, J. *Godišnji izveštaji o stanju kvaliteta vazduha 2020-2022*, Ministarstvo zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, https://www.sepa.gov.rs/download/Vazduh_2022.pdf [pristupljeno 02.02.2024]
- [15] Agencija za zaštitu životne sredine. Objedinjeni prikaz automatskog monitoringa kvaliteta vazduha u Republici Srbiji. Pregled Stanica 2024. <http://www.amskv.sepa.gov.rs/pregledstanica.php> [pristupljeno 02.02.2024]
- [16] Nacionalna Ekološka asocijacija. xEco Vazduh. Xtreme ECOlogy" - Ekstremna Ekologija 2024. <https://xeco.info/xeco/vazduh/> [pristupljeno 02.02.2024]
- [17] Open Knowledge Foundation Germany. Sensor community 2024. <https://luftdaten.info/> [pristupljeno 02.02.2024]
- [18] Internet društvo Srbije. Klimerko 2024. <https://klimerko.org/map?pollutant=pm2&range=latest&year=2024&month=4&day=1&m=0&tz=-120&zoom=8&latitude=44.066&longitude=20.91> [pristupljeno 02.02.2024]
- [19] PurpeAir. Real-Time Air Quality Map 2024. <https://map.purpeair.com/1/mAQI/a10/p604800/cC0#11/44.8046/20.4637> [pristupljeno 02.02.2024]
- [20] IQAir. Air quality map 2024. <https://www.iqair.com/air-quality-map> [pristupljeno 02.02.2024]
- [21] The World AQI Project. Air quality network in Serbia 2024. <https://aqicn.org/station/country/rs/serbia/> [pristupljeno 02.02.2024]
- [22] Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha 2013. "Sl. glasnik RS", br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013) <https://www.paragraf.rs/propisi/uredba-uslovima-monitoring-zahtevima-kvaliteta-vazduha.html> [pristupljeno 02.02.2024]
- [23] Glavonjic, B. Consumption of wood fuels in households in Serbia: Present state and possible contribution to the climate change mitigation, *Thermal Science*, Vol. 15, pp. 571-585, 2011. <https://doi.org/10.2298/TSCI1103571G>
- [24] Radovanović, P. Uperedna analiza sistema grejanja stambenih zgrada u Srbiji i zemljama Evropske unije, *Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka u Novom Sadu*, Vol. 38, No. 3, pp. 319-322, 2023. <https://doi.org/10.24867/22AM03Radovanovic>
- [25] Republički zavod za statistiku. Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 2022. godine - Instalacije u stanovima - Podaci po opštinama i gradovima 2023. <https://popis2022.stat.gov.rs/sr-latn/5-vestisaopstenja/news-events/20231012-instalacije/?a=0&s=0> [pristupljeno 12.02.2024]
- [26] Poslovno udruženje "Toplane Srbije". Izveštaji o radu sistema daljinskog grejanja u Republici Srbiji za 2020-2022. godinu. Šabac: 2021. https://www.toplanesrbije.org.rs/uploads/ck_editor/files/izvestaj%202021.pdf [pristupljeno 12.02.2024]

AUTORI/AUTHORS

dr Vladimir Vukašinić - vanredni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, vladimir.vukasinovic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0001-6489-2632](https://orcid.org/0000-0001-6489-2632)

dr Dušan Gordić - redovni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, gordic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0002-1058-5810](https://orcid.org/0000-0002-1058-5810), autor za korepodenciju

msr Jelena Nikolić – istraživač saradnik, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, jelena.nikolic@fink.rs, ORCID [0000-0001-6781-8059](https://orcid.org/0000-0001-6781-8059)

dr Mladen Josijević - docent, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, mladen.josijevic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0001-9619-0897](https://orcid.org/0000-0001-9619-0897)

dr Davor Končalović – vanredni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, davor.koncalovic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0003-1207-2653](https://orcid.org/0000-0003-1207-2653)

The Impact of Biomass-Fired Stoves on Air Pollution in Urban Areas

Abstract – The usage of biomass as a regionally available renewable energy source is one of the key steps towards decarbonisation and the achievement of sustainable development. Biomass used in a sustainable way is considered as a carbon-neutral fuel. Due to its properties, it is considered an energy source that can help achieve carbon neutrality. Although, compared with fossil fuels biomass results in lower pollutant emissions during a controlled complete combustion process, problems arising from inadequate use of biomass are becoming more common. In many developing countries, biomass, especially wood, is often used in a traditional and inefficient way for cooking and space heating in stoves with minimal control possibilities over the combustion process. Such an inefficient way of using biomass can cause serious environmental problems. The incomplete combustion of woody biomass can result in the emission of harmful matters, including particulate matter (a mixture of smoke, soot and acid) and carbon monoxide (CO). These substances are dangerous to human health and have negative effects on air quality. In addition, burning biomass at high temperatures can generate nitrogen oxides (NO_x), further exacerbating the environmental impact.

According to the 2022 census, just 20% of dwellings are connected to district heating systems, while 77% have individual heating systems (31% of individual systems are dwellings with central heating installations) in Serbia. Of the total of occupied dwellings in urban areas that are not connected to the district heating system, 47.60% use wood, 2.07% coal, 17.40% natural gas, and 29.00% electricity for space heating. In the paper, 15 urban areas in Serbia with III category of air quality have been analysed. The district heating systems of the analysed cities are based on natural gas usage (11 cities), while coal is the predominant fuel in three cities and heating oil in one city. Individual heating systems often account for more than 70% of the total share in most of the analysed cities, and they are mostly fuelled by solid biomass. Daily excesses of PM particle emissions, which are several times above the limit, are over 95% during the heating season.

Index Terms – Biomass, Air quality, Emissions, Individual heating systems