

Analiza emisije zagađujućih materija u vazduh iz termoelektrana „Nikola Tesla A“ i „Nikola Tesla B“

Nikola Stanković

Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Balkanska 13, 11 000 Beograd

Rezime - U radu je prikazana vremenska analiza emisije zagađujućih materija u vazduh na primeru dve najveće termoelektrane „Nikola Tesla A“ i „Nikola Tesla B“. Ogranak „Termoelektrane Nikola Tesla“ je najveći proizvođač električne energije u Jugoistočnoj Evropi. Ima 14 blokova čija je ukupna instalisana snaga 3.430 MW. U sastavu Ogranak „Termoelektrane Nikola Tesla“ su TE Nikola Tesla A (sa 6 blokova) 1650 MW projektovane snage i TE Nikola Tesla B (sa 2 bloka) 1.340 MW električne snage. U okviru „Termoelektrane Nikola Tesla A“ se nalaze blokovi A1 sa 660 MW, A2 sa 660 MW, A3 sa 932 MW, A4 sa 943 MW, A5 sa 934 MW i blok A6 sa 934 MW toplotne snage, dok u okviru „Termoelektrane Nikola Tesla B“ se nalaze dva bloka B1 i B2 sa po 1809 MW i 1826 MW toplotne snage. Trend emisije je prikazan za tri zagađujuće materije, sumpor-dioksid, azotove okside i praškaste materije za 2022., 2021. i 2020. godinu. Dimni gasovi koji sadrže zagađujuće materije se ispuštaju u vazduh preko dimnjaka visine 150 metara (blokovi A1, A2 i A3) i 220 metara (blokovi A4, A5 i A6) na „Termoelektrani Nikola Tesla A“ i 280 metara (blokovi B1 i B2) na „Termoelektrani Nikola Tesla B“. U skladu sa zakonskim zahtevima redovno vrše se kontinualna merenja, dok se periodična merenja vrše za proveru ispravnosti kontinualnih merenja.

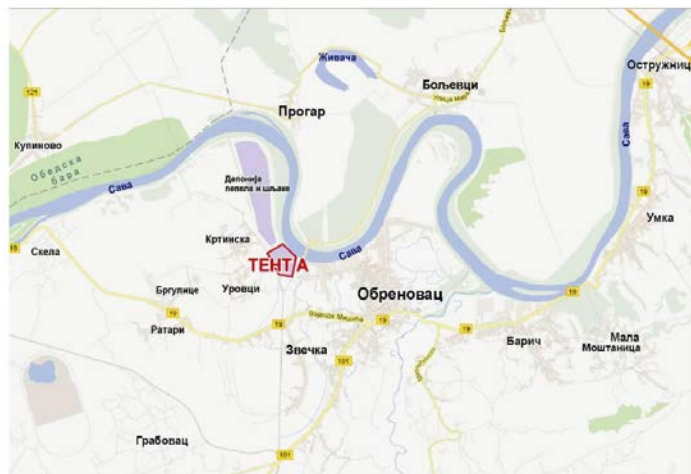
Ključne reči - emisija zagađujućih materija u vazduh, vremenska analiza, sumpor-dioksid, azotovi oksidi, praškaste materije, termoelektrane

I UVOD

Termoelektrana Nikola Tesla A (TENT A) se nalazi na desnoj obali reke Save, udaljena približno 40 kilometara uzvodno od Beograda, oko 3 kilometra zapadno od Obrenovca i 18 kilometara nizvodno od Termoelektrane Nikola Tesla B (TENT B). Geografska lokacija TENT A je unutar administrativnih granica opštine Obrenovac, na katastarskoj parceli 1934 u katastarskoj opštini Urovci. Najveće naseljeno područje u blizini termoelektrane je Obrenovac, sa populacijom od otprilike 72.000 stanovnika. Neposredno okruženje lokacije TENT A obuhvata sledeća seoska naselja: Krtinska, Urovci, Brgulice i Ratari (unutar opštine Obrenovac), kao i Progar, Jakovo i Bečmen na levoj obali Save (unutar opštine Surčin).

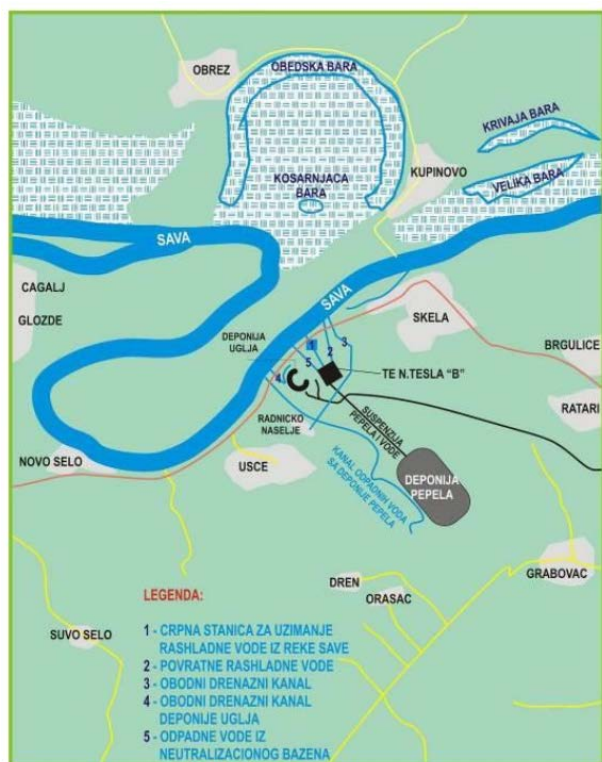
Termoelektrana „Nikola Tesla A“ (TENT A) predstavlja najveći termoelektranu u Srbiji, koja se sastoji od šest blokova označenih kao A1-A6, čija je ukupna projektovana snaga 1650,5 MW. Proces izgradnje elektrane bio je fazan, pri čemu su prva dva bloka (A1 i A2) snage 210 MW svaki, pušteni u pogon 1970. godine. Blok A3 snage 305 MW ušao je u pogon 1976. godine,

dok je blok A4 snage 308,5 MW počeo s radom 1978. godine. Blokovi A5 i A6, svaki snage 308,5 MW, stavljeni su u pogon tokom 1979. godine. Dimni gasovi koji nastaju u procesu rada blokova A1-A6 termoelektrane „Nikola Tesla A“ emituju se u atmosferu kroz dva dimnjaka. Prvi dimnjak, visine 150 m i prečnika na izlazu 10,4 m, povezan je sa blokovima A1-A3. Drugi dimnjak, visine 220 m, sadrži tri posebne dimne cevi prečnika na izlazu 6,3 m, pri čemu svaka od ovih cevi služi za ispuštanje dimnih gasova iz blokova A4-A6. Klimatske karakteristike posmatranog područja odgovaraju kontinentalnom tipu klime, što podrazumeva prisustvo hladnih zima i toplih leta. Osim toga, primećen je izražen uticaj visinske klime planinskog zaleđa Šumadije. Preovlađujući vetrovi na ovom području su jugoistočni i severozapadni vetar.



Slika 1. Makrolokacija termoelektrane „Nikola Tesla A“ [1]

Termoelektrana „Nikola Tesla B“ (TENT B) locirana je u relativno gusto naseljenom području, smeštenom na desnoj obali reke Save, udaljenom 59 km uzvodno od Beograda, duž saobraćajnice Beograd-Šabac. Elektrana se nalazi između naselja Skela i Ušće, unutar područja Vorbis, približno 18 km uzvodno od termoelektrane „Nikola Tesla A“ (TENT A). U okolini lokacije sa desne strane, na području između termoelektrane i naselja Obrenovac, koje je najveće naselje udaljeno od termoelektrane oko 20 km u pravcu istoka, nalazi se niz manjih naselja. Ova naselja obuhvataju Ratari, Urovci, Krtinska, Brgulice, Zvečka i Zatrežje. U pravcu juga, u blizini termoelektrane, nalaze se naselja Ušće, Dren, Grabovac i Orašac, dok se u pravcu severa, preko reke Save, nalazi selo Kupinovo i Obedska bara [2].



Slika 2. Šematski prikaz šire lokacije termoelektrane „Nikola Tesla B“ [2]

Na lokaciji termoelektrane "Nikola Tesla B", u okviru prve faze izgradnje, izgrađeni su blokovi B1 i B2 zajedno sa pomoćnim postrojenjima i infrastrukturom. Prvi blok je pušten u rad 1983. godine, dok je drugi blok bio operativan od 1985. godine. Početna snaga svakog bloka iznosila je 620 MW, što je ukupno činilo 1240 MW električne snage. Međutim, nakon rekonstrukcije, snaga blokova je povećana na 670 MW [2]. Dimni gasovi koji sadrže sumpor dioksid, azotne okside i čvrste čestice emituju se preko dimnjaka visine 280 m, pri čemu svaki blok ima zasebnu dimnu cev. Područje "TENT B" se nalazi u zoni dva preovlađujuća vetra tokom cele godine: zapadnog i jugoistočnog - košave. Prema obrađenim podacima za period od 1979. do 2008. godine, najučestaliji su vetrovi koji duvaju iz pravca zapada (W), sa učestalošću od 12,3%, zatim jugoistoka (SE) sa 8,6%, juga sa 7,9%, i istok-jugoistoka (ESE) sa 7,8%. Vetrovi koji dolaze iz pravca jugoistoka (SE) i istok-jugoistoka (ESE) su najjači, često prelazeći brzine od 10 m/s. Učestalost dana bez vetra (tišina) na ovoj lokaciji iznosi 6,8% [2].

Sadržaj ukupnog sumpora u kolubarskom lignitu koji se koristi za sagorevanje u termoelektrani „Nikola Tesla A“ (TENT A) iznosi približno 0,5%. Merenja obavljena na bloku A1 pokazala su da je ukupni sadržaj sumpora u uglju varirao od 0,39% do 0,41%, dok je sadržaj sagorljivog sumpora iznosio od 0,23% do 0,27% [3].

Ukupan sadržaj sumpora u kolubarskom lignitu koji se koristi za sagorevanje u termoelektrani „Nikola Tesla B“ iznosi oko 0,5%. Iz pojedinačnih merenja dobijen je ukupan sadržaj sumpora u uglju od 0,44 do 0,62%, dok je sagorljivi sumpor iznosio od 0,21 do 0,42% [4]. U periodu od 2004. do kraja 2014. godine, na

blokovima Ogranaka Termoelektrane Nikola Tesla (TENT) ugrađeni su uređaji za kontinualno merenje emisije materija koje utiču na kvalitet vazduha. Osim osnovnih uređaja za merenje masenih koncentracija praškastih materija i gasova, dodatno su instalirani uređaji za merenje sadržaja kiseonika (O_2), ugljen-dioksida (CO_2) i vlage, kao i temperature (t), pritiska (p) i zapreminskog protoka dimnih gasova. Takođe, ugrađena je oprema za akviziciju i obradu podataka. Unutar projekta finansiranog iz IPA fonda, obuhvaćeno je projektovanje, nabavka, isporuka, ugradnja, puštanje u rad uređaja, kao i sprovođenje baždarenja (QAL2) i sertifikacije uređaja za kontinualno merenje emisije sumpor-dioksida (SO_2), azotnih oksida (NO_x/NO_2), ugljen-monoksida (CO), ugljen-dioksida (CO_2) i praškastih materija. Usaglašeni su izveštaji Continuous Emissions Monitoring Systems (CEMS) u skladu sa EU Direktivom o velikim ložištima 2001/80/EC ("Large Combustion Plant Directive 2001/80/EC") i u saglasnosti sa važećom zakonskom regulativom Republike Srbije. Kompletan sistem je usaglašen sa standardom EN 14181 (QAL1, QAL2 i QAL3) i nacionalnom zakonskom regulativom. Prema Zakonu o zaštiti vazduha ("Službeni glasnik RS", br. 36/09, 10/13, 26/21 - dr. zakon) i Pravilniku o uslovima za izdavanje saglasnosti operatorima za merenje kvaliteta vazduha i/ili emisije iz stacionarnih izvora zagađivanja ("Službeni glasnik RS", br. 16/12), termoelektrane „Nikola Tesla A“ (TENT A) i „Nikola Tesla B“ (TENT B), su dobili saglasnosti za kontinualno merenje emisije iz stacionarnih izvora zagađivanja [5].

Cilj ovog istraživanja je uporediti emisije zagađujućih materija, uključujući okside azota, sumpor-dioksid i praškaste materije, na osnovu srednjih mesečnih vrednosti tokom tri godine: 2020., 2021. i 2022. godine, za termoelektrane "Nikola Tesla A" koje koriste dva dimnjaka (dimnjak 1 za blokove A1A2A3 i dimnjak 2 za blokove A4A5A6), kao i za termoelektrane "Nikola Tesla B" sa blokovima B1 i B2. Korišćenjem Kruskal-Wallis testa, ovo istraživanje ima za cilj da pokaže statistički značajne razlike u emisiji zagađujućih materija između tri emitera: dimnjaka 1 TENT A (blokovi A1A2A3), dimnjaka 2 TENT A (blokovi A4A5A6) i jednog dimnjaka TENT B (blokovi B1 i B2).

Nulta hipoteza: Raspodela zagađujućih materija za tri emitera za sve tri godine 2020., 2021., i 2022. godinu je ista u svim grupama.

Hipoteza 1: Postoji bar jedna grupa zagađujućih materija sa distribucijom različitom od ostalih.

Prag značajnosti je izabran i on iznosi $\alpha=0.05$.

II PODACI I METOD

U radu su korišćeni podaci sa sistema za kontinualno praćenje emisija zagađujućih materija (CEMS) kao što su sumpor-dioksid (SO_2), azotovi oksidi (NO_x) i praškaste materije. Srednje mesečne vrednosti za tri spomenute zagađujuće materije su korišćene za tri godine 2020., 2021. i 2022. godinu. CEMS je neophodan za poštovanje propisa i praćenje životne sredine, pružajući podatke u realnom vremenu o nivou emisija kako bi se osiguralo da industrijski postrojenja rade u okviru dozvoljenih granica koje su postavljene propisima o zaštiti životne sredine. CEMS obuhvata uzorkovanje, kondicioniranje i analitičke

elemente zajedno sa softverom specijalno dizajniranim da pruži neposredna, kontinuirana merenja koncentracije zagađivača. Ova merenja se dobijaju analizom reprezentativnih uzoraka dimnih gasova [6]. Kruskal-Wallis test je neparametarski test koji se koristi za proveru da li postoje statistički značajne razlike između tri ili više nezavisnih grupa. Ovaj test se primenjuje kada podaci ne ispunjavaju pretpostavke parametarskih testova, poput normalne distribucije ili homogene varijanse [7]. Kruskal-Wallis test rangira podatke iz svake grupe zajedno, a zatim upoređuje srednje rangove između grupa kako bi se utvrdilo da li postoji statistički značajna razlika u njihovim distribucijama [8]. Da bi se odredila normalna distribucija podataka urađen je Kolmogorov-Smirnov test. Ako je vrednost p-vrednosti dobijena testom veća od odabrane signifikantne razlike, možemo zaključiti da nema dovoljno dokaza da se odbaci nulta hipoteza o normalnosti distribucije. U mnogim disciplinama poput statistike, ekonomije i biologije, Kolmogorov-Smirnov test često se koristi za ispitivanje normalnosti distribucije podataka ili procenu podudarnosti između dveju distribucija, a temelji se na originalnom radu autora A. Kolmogorova i N. Smirnova [9, 10]. Rezultati su prikazani u obliku boks plotova. Horizontalna linija u svakom boks plot je medijalna vrednost ili sredina skupa podataka. Medijalna vrednost je primenjena umesto srednje vrednosti jer je imuna na visoke vrednosti i ima prednost što je robusnija varijabla [11]. Boks plot predstavlja 50% podataka, a vrh boks plota označava 75. percentil podataka, pri čemu dno boks plota izražava 25. percentil podataka. Vertikalne linije predstavljaju 90. i 10. percentil podataka. Tačke van ovog intervala predstavljaju moguća odstupanja. Širina kutija je proporcionalna broju zapažanja po grupi. Analiza je urađena u programskom jeziku R Studio verzija 2022.07.0.

III REZULTATI

Rezultati sumarne statistike za okside azota za emiter dimnjak 1 na TENT A su prikazani u tabeli 1. Najveću godišnju srednju vrednost od 414 mg/m³ odnosno najveća koncentracija emitovanih azotovih oksida je bila u 2020. godini, što je isto slučaj i sa godišnjom medijalnom vrednosti od 389.5 mg/m³. Minimalna srednja mesečna vrednost je zabeležena u 2021. godini od 247 mg/m³ za mesec septembar, dok je maksimalna srednja mesečna vrednost od 618 mg/m³ zabeležena u oktobru 2020. godine.

Tabela 1. Sumarna statistika za okside azota za emiter dimnjak 1 TENT A

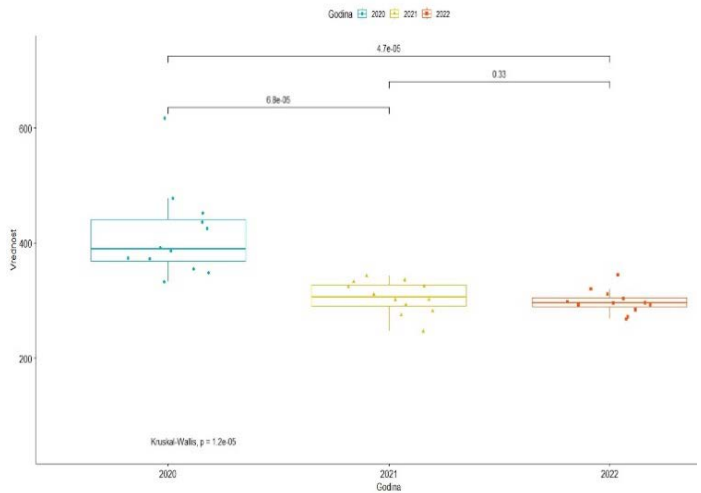
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Godišnja srednja vrednost mg/m ³	Godišnja medijalna vrednost mg/m ³
2020.	333	618	414	389,5
2021.	247	343	306	306,5
2022.	268	345	298	296

U tabeli broj 2. su prikazane p-vrednosti između različitih godina i ukupna p vrednost. Ukupna p vrednost od 1.2e-05 pokazuje da postoji makar jedan par prosečnih rangova koji su statistički značajno različiti. Statistički značajno različite, su godine 2020. i

2021., kao i godine 2020. i 2022., što je prikazano p vrednostima dati u tabeli broj 2, dok između 2021. i 2022. godine ne postoji statistički značajna razlika. Ovim se nulta hipoteza ne prihvata (p<0,05) odnosno može se prihvatiti prva hipoteza. Razlika između godina je prikazana i na slici broj 1. preko boks plotova, gde je prikazana vremenska distribucija podataka u kojoj dominira 2020. godina i gde je prikazan trend opadanja emisije azotovih oksida u 2021. i 2022. godini za emiter dimnjak 1 na TENT A. Što se tiče raspodele podataka srednjih mesečnih vrednosti za 2020. godinu, 50 % emitovane koncentracije su grupisane u vrednosti oko 400 mg/m³, dok je za 2021. godinu emitovane srednje mesečne vrednosti su ispod 400 mg/m³, što je isto slučaj i za 2022. godinu (Slika 1.).

Tabela 2. Kruskal-Wallis test, p vrednost za okside azota za različite godine emiter dimnjak 1 TENT A

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
6,8e-05	0,33	4,7e-05	1,2e-05



Slika 1. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti oksida azota za 2020., 2021. i 2022. godinu, dimnjak 1 TENT A

Tabela 3. Sumarna statistika za sumpor-dioksid za emiter dimnjak 1 TENT A

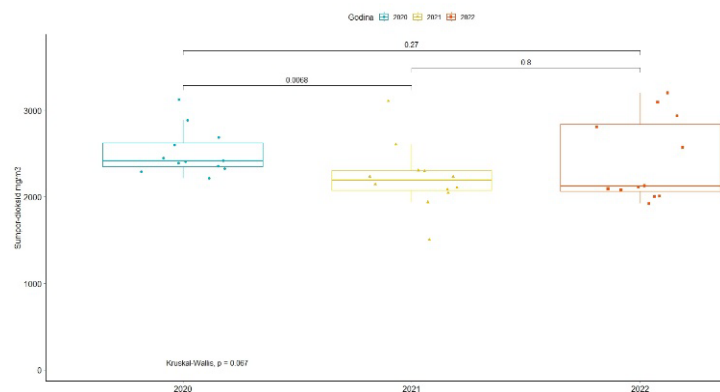
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Godišnja srednja vrednost mg/m ³	Godišnja medijalna vrednost mg/m ³
2020.	2212	3122	2511	2413
2021.	1505	3104	2216	2188
2022.	1922	3200	2412	2119

Što se tiče emisije sumpor-dioksida iz dimnjaka 1 TENT A, sumarna statistika je prikazana u tabeli broj 3. Minimalna srednja mesečna vrednost zabeležena je u 2021. godini u mesecu oktobru, iznosila je 1505 mg/m³. Maksimalna srednja mesečna vrednost prikazana je u 2022. godini, takođe u mesecu oktobru, dostižući 3200 mg/m³. Najveća godišnja srednja vrednost zabeležena je u 2020. godini, iznosila je 2511 mg/m³. Ovi rezultati ukazuju na promenljivu prirodu emisije sumpor-

dioksida tokom perioda posmatranja, sa značajnim varijacijama u srednjim mesečnim i godišnjim vrednostima.

Tabela 4. Kruskal-Wallis test, p vrednost za sumpor-dioksid za različite godine emiter dimnjak 1 TENT A

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0,0068	0,8	0,27	0,067



Slika 2. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti sumpor-dioksida za 2020., 2021. i 2022. godinu, dimnjak 1 TENT A

Analiza Kruskal-Wallis test je prikazana u tabeli broj 4 odnosno ukupna i pojedinačna p vrednost između različitih godina za emisiju sumpor-dioksida. Na osnovu navedene ukupne p vrednosti, gde je $p > 0,05$, nulta hipoteza se ne odbacuje odnosno ne postoji statistički značajna razlika između 2020., 2021. i 2022. godine u slučaju emisije sumpor-dioksida za emiter dimnjak 1 TENT A odnosno emitovanih srednjih mesečnih vrednosti za navedene godine. Vremenski trend distribucije podataka pokazuje relativnu konstantnost između navedenih godina. Blagi pad se može zapaziti između 2020. i 2021. godine, odnosno relativni porast u 2022. godini u odnosu na 2021. godinu, upoređujući srednje godišnje vrednosti (Slika 2). Prikazani boks plotovi na slici broj 2., pokazuju da 50 % srednjih mesečnih vrednosti za navedene godine se nalaze u opsegu između 2000 mg/m^3 i 3000 mg/m^3 . Distribucija emitovanih srednjih mesečnih vrednosti je najniži u 2021. godini, dok je ipak najniža medijalna vrednost u 2022. godini.

Tabela 5. Sumarna statistika za praškaste materije za emiter dimnjak 1 TENT A

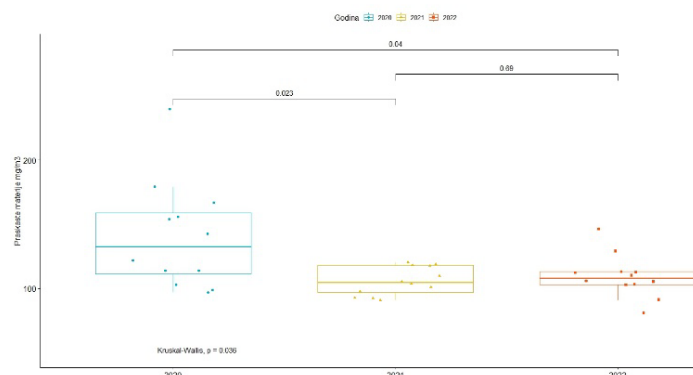
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Godišnja srednja vrednost mg/m^3	Godišnja medijana vrednost mg/m^3
2020.	97	240	140,7	132,5
2021.	91	120	105,7	104,5
2022.	81	146	109,3	108,0

Sumarna statistika za emitovane srednje mesečne vrednosti praškastih materija za 2020., 2021. i 2022. godinu je prikazana u tabeli broj 5. Minimalna srednja mesečna vrednost je zabeležena 2022. godine u oktobru mesecu, dok je najveća srednja mesečna

vrednost zabeležena 2020. godine takođe u oktobru mesecu i 2020. godina ima najveću godišnju srednju vrednost od 140,7 mg/m^3 .

Tabela 6. Kruskal-Wallis test, p vrednost za praškaste materije za različite godine emiter dimnjak 1 TENT A

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0,023	0,69	0,04	0,036



Slika 3. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti praškastih materija za 2020., 2021. i 2022. godinu, dimnjak 1 TENT A

Na osnovu prikazane analiza Kruskal-Wallis testa u tabeli broj 6. za praškaste materije iz emitera dimnjak 1 TENT A, može se zapaziti da je ukupna $p < 0,05$ što odbacuje nultu hipotezu da raspodela praškastih materija između navedene tri godine nije ista (Slika 3.). Statistički značajna razlika distribucije podataka postoji između 2020. i 2021. godine i 2020. -2022. godine, dok između 2021.-2022. godine ova razlika ne postoji (Tabela 6.). Boks plot, za emitovane srednje mesečne vrednosti praškastih materija za 2020. godinu, pokazuje da je 50% emitovane koncentracije u opsegu između 100 mg/m^3 i 170 mg/m^3 . Dok je 50% emitovane koncentracije za 2021. godinu u opsegu između 90 mg/m^3 i 120 mg/m^3 , dok je distribucija srednjih mesečnih vrednost najniža u 2022. godine. Ipak najniža srednja godišnja vrednost je zabeležena 2021. godine sa 105,7 mg/m^3 kao i medijalna vrednost od 104,5 mg/m^3 emitovanih praškastih materija za emiter dimnjak 1 TENT A. Zabeležen je trend pada emitovane koncentracije (Slika 3.).

Tabela 7. Sumarna statistika za okside azota za emiter dimnjak 2 TENT A

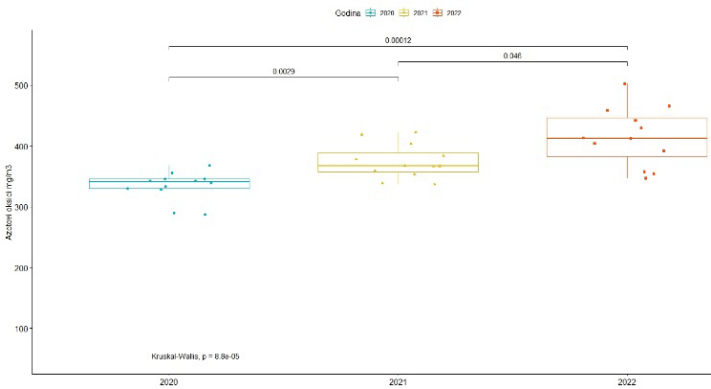
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Godišnja srednja vrednost mg/m^3	Godišnja medijana vrednost mg/m^3
2020.	287	368	334,2	340,5
2021.	337	422	374,5	367,0
2022.	347	502	414,5	412,5

Sumarna statistika za 12 srednjih mesečnih vrednosti koncentracije oksida azota dimnjak 2 TENT A za 2020., 2021. i 2022. godinu je prikazana u tabeli broj 7. Minimalna srednja mesečna vrednost je zabeležena u mesecu avgustu 2020. godine

od 287 mg/m³ koncentracije oksida azota. Dok je maksimalna srednja mesečna vrednost postignuta u decembru mesecu 2022. godine od 502 mg/m³ (Tabela 7.). Što se tiče srednjih godišnjih vrednosti najniža vrednost je prikazana 2020. godine od 334,2 mg/m³.

Tabela 8. Kruskal-Wallis test, p vrednost za okside azota za različite godine emiter dimnjak 2 TENT A

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0,0029	0,046	0,00012	8,8e-05



Slika 4. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti azotovi oksidi za 2020., 2021. i 2022. godinu, dimnjak 2 TENT A

Na osnovu analize Kruskal-Wallis testa, ukupna p vrednost je <0,05 što odbacuje nultu hipotezu odnosno da postoji statistički značajna razlika između raspodele srednjih mesečnih vrednosti za navedene tri godine kao i između svake grupe navedenih godina (Tabela 8.). Prisutan je trend porasta emitovane koncentracije oksida azota (Slika 4.). U 2020. godini 50% raspodele emitovane koncentracije je bilo u opsegu između 300 mg/m³ i 350 mg/m³, sa godišnjom medijana vrednosti od 340.5 mg/m³ odnosno najnižom vrednosti u poređenju sa medijana vrednosti za 2021. i 2022. godinu.

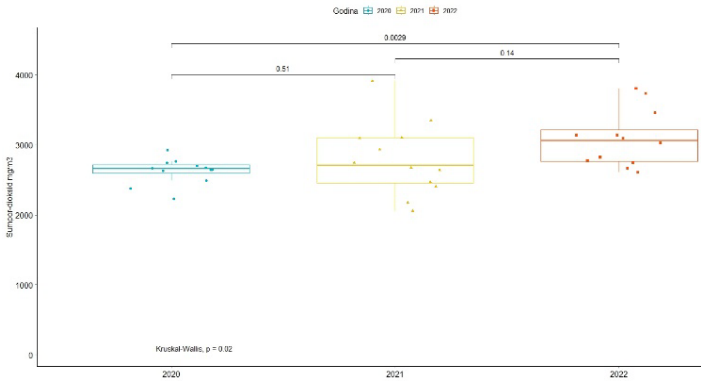
Tabela 9. Sumarna statistika za sumpor-dioksid emiter dimnjak 2 TENT A

Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Godišnja srednja vrednost mg/m ³	Godišnja medijana vrednost mg/m ³
2020.	2232	2930	2627	2658
2021.	2057	3915	2797	2710
2022.	2608	3803	3084	3060

Što se tiče emisije sumpor-dioksida iz dimnjaka 2 TENT A, sumarna statistika prikazana je u tabeli broj 9. Minimalna srednja mesečna vrednost zabeležena je u 2021. godini u mesecu oktobru od 2057 mg/m³, dok je maksimalna srednja mesečna vrednost zabeležena 2021. godine u maju, iznoseći 3915 mg/m³. Najveća godišnja srednja vrednost zabeležena je 2022. godine i iznosi 3084 mg/m³. Ovi podaci ukazuju na varijaciju u emisiji sumpor-dioksida tokom različitih perioda u posmatranom vremenskom periodu.

Tabela 10. Kruskal-Wallis test, p vrednost za sumpor-dioksid za različite godine emiter dimnjak 2 za TENT A

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0,51	0,14	0,0029	0,02



Slika 5. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti sumpor-dioksid za 2020., 2021. i 2022. godinu, dimnjak 2 TENT A

Analiza Kruskal-Wallis testa prikazana je u tabeli broj 10, koja obuhvata ukupne i pojedinačne p-vrednosti između različitih godina za emisiju sumpor-dioksida. Na osnovu navedene ukupne p-vrednosti, gde je p < 0,05, nulta hipoteza se odbacuje, što ukazuje na postojanje statistički značajne razlike između 2020., 2021. i 2022. godine u slučaju emisije sumpor-dioksida za emiter dimnjak 2 TENT A, odnosno emitovanih srednjih mesečnih vrednosti za navedene godine (Tabela 10). Međutim, statistički značajna razlika ne postoji između 2020.-2021. odnosno između 2021.-2022. godine, već samo između 2020.-2022. godine (Tabela 10). Vremenski trend distribucije podataka pokazuje relativni rast između navedenih godina. Prikazani boks plotovi na slici broj 5, pokazuju da 50% srednjih mesečnih vrednosti za 2020. godinu se nalazi u opsegu između 2600 mg/m³ i 2900 mg/m³, dok distribucija emitovanih srednjih mesečnih vrednosti raste u 2021. i 2022. godini u odnosu na 2020. godinu. Ovo je dodatno ilustrovano na osnovu medijana vrednosti, koja je najniža u 2020. godini (2658 mg/m³) i najviša u 2022. godini (3060 mg/m³).

Tabela 11. Sumarna statistika za praškaste materije emiter dimnjak 2 TENT A

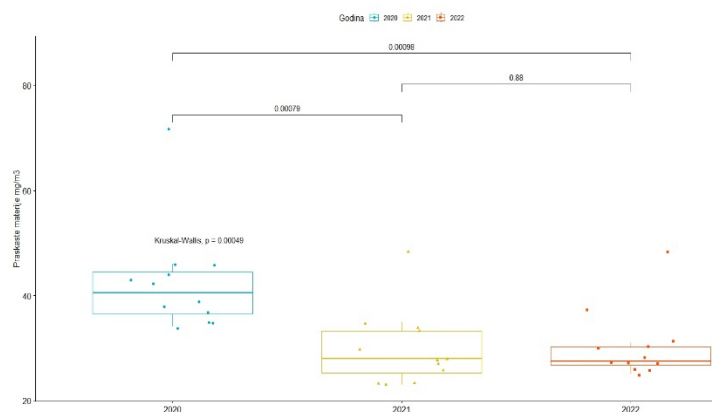
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Godišnja srednja vrednost mg/m ³	Godišnja medijana vrednost mg/m ³
2020.	34	72	42,6	40,5
2021.	23	48	29,8	28,0
2022.	25	48	30,2	27,5

Sumarna statistika za emitovane srednje mesečne vrednosti praškastih materija za 2020., 2021. i 2022. godinu analizirana je u tabeli broj 11. Uočena je minimalna srednja mesečna vrednost u 2021. godini, zabeležena u maju i julu mesecu od 23 mg/m³. Suprotno tome, najveća srednja mesečna vrednost zabeležena je

u 2020. godini, u oktobru mesecu od 72 mg/m^3 . Godina 2020. ističe se kao godina sa najvećom godišnjom srednjom vrednošću emitovanih praškastih materija, iznoseći $42,6 \text{ mg/m}^3$.

Tabela 12. Kruskal-Wallis test, p vrednost za praškaste materije za različite godine emiter dimnjak 2 TENT A

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0,00079	0,88	0,00098	0,00049



Slika 6. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti praškaste materije za 2020., 2021. i 2022. godinu, dimnjak 2 TENT A

Na osnovu prikazane analize Kruskal-Wallis testa u tabeli broj 12. za praškaste materije iz emitera dimnjak 2 TENT A, uočava se da je ukupna p-vrednost manja od 0,05, što odbacuje nultu hipotezu da raspodela praškastih materija između navedene tri godine nije ista (Slika 6). Statistički značajna razlika distribucije podataka postoji između 2020.-2021. godine i 2020.-2022. godine, dok između 2021.-2022. godine ova razlika ne postoji (Tabela 12). Boks plot za emitovane srednje mesečne vrednosti praškastih materija za 2020. godinu pokazuje da je 50% emitovane koncentracije u opsegu između 30 mg/m^3 i 50 mg/m^3 . Slično tome, 50% emitovane koncentracije za 2021. godinu nalazi se u opsegu nižem od 40 mg/m^3 , što je takođe slučaj i sa 2022. godinom. Najniža godišnja medijana vrednost zabeležena je 2022. godine sa $27,5 \text{ mg/m}^3$ za praškaste materije iz emitera dimnjak 2 TENT A. Prisutan je trend pada emisije praškastih materija (Slika 6).

Tabela 13. Sumarna statistika za okside azota emiter dimnjak TENT B

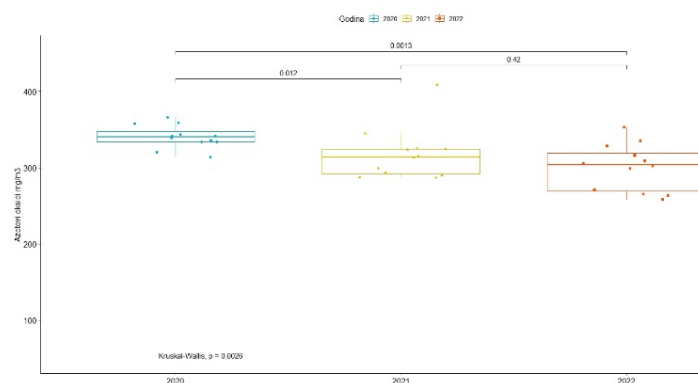
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Godišnja srednja vrednost mg/m^3	Godišnja medijalna vrednost mg/m^3
2020.	314	366	340,7	340,5
2021.	287	409	317,6	314
2022.	258	353	300,3	303,5

Sumarna statistika za 12 srednjih mesečnih vrednosti koncentracije oksida azota TENT B za 2020., 2021. i 2022. godinu prikazana je u tabeli broj 13. Uočeno je da je minimalna srednja mesečna vrednost zabeležena u mesecu avgustu 2022.

godine, iznoseći 258 mg/m^3 koncentracije oksida azota. S druge strane, maksimalna srednja mesečna vrednost postignuta je u aprilu mesecu 2021. godine, dostižući 409 mg/m^3 (Tabela 7). Što se tiče srednjih godišnjih vrednosti, najniža vrednost je prikazana za 2022. godinu, iznoseći $300,3 \text{ mg/m}^3$. Ovi podaci ukazuju na varijaciju u koncentraciji oksida azota tokom posmatranih godina.

Tabela 14. Kruskal-Wallis test, p vrednost za okside azota za različite godine emiter dimnjak TENT B

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0.012	0.42	0.0013	0.0026



Slika 7. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti oksida azota za 2020., 2021. i 2022. godinu

Na osnovu analize Kruskal-Wallis testa, ukupna p-vrednost je manja od 0,05, što odbacuje nultu hipotezu, odnosno ukazuje na postojanje statistički značajne razlike između raspodele srednjih mesečnih vrednosti za navedene tri godine (Tabela 14). Statistički značajna razlika postoji između 2020.-2021. i 2022.-2022. godine, dok nije slučaj između 2021.-2022. godina. Prisutan je trend pada emitovane koncentracije oksida azota (Slika 7). U 2020. godini, 50% raspodele emitovane koncentracije bilo je u opsegu između 320 mg/m^3 i 350 mg/m^3 , sa godišnjom medijanom vrednošću od $340,5 \text{ mg/m}^3$, što predstavlja najvišu vrednost u poređenju sa medijanama za 2021. i 2022. godinu. Ovi rezultati ukazuju na promene u koncentraciji oksida azota tokom posmatranih godina.

Tabela 15. Sumarna statistika za sumpor-dioksid emiter dimnjak TENT B

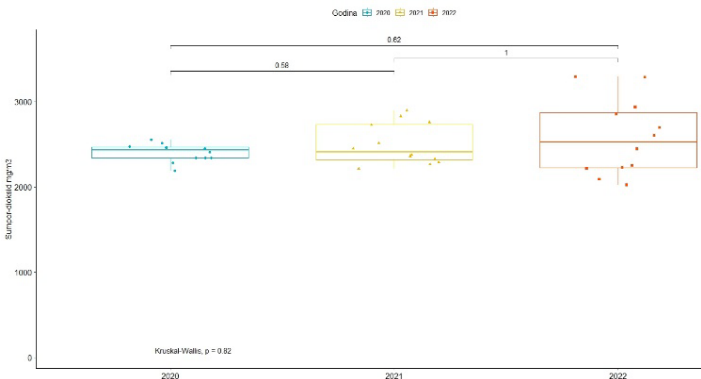
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m^3	Godišnja srednja vrednost mg/m^3	Godišnja medijana vrednost mg/m^3
2020.	2189	2557	2402	2431
2021.	2215	2897	2501	2412
2022.	2023	3293	2577	2525

Što se tiče emisije sumpor-dioksida iz dimnjaka TENT B, sumarna statistika je prikazana u tabeli broj 15. Minimalna srednja mesečna vrednost zabeležena je u 2022. godini, u mesecu aprilu, iznosila je 2023 mg/m^3 , dok je maksimalna srednja

mesečna vrednost zabeležena takođe u 2022. godini, u novembru, iznosila je 3293 mg/m³. Najveća godišnja srednja vrednost zabeležena je takođe u 2022. godini, iznoseći 2577 mg/m³. Ovi podaci ukazuju na varijaciju u emisiji sumpor-dioksida tokom različitih perioda u posmatranom vremenskom periodu.

Tabela 16. Kruskal-Wallis test, p vrednost za sumpor-dioksid za različite godine emiter dimnjak 2 za TENT A

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0,58	1	0,62	0,82



Slika 8. Raspodela srednjih mesečnih vrednosti sumpor-dioksid za 2020., 2021. i 2022. godinu

U tabeli broj 16. su prikazane p-vrednosti između različitih godina i ukupna p vrednost. Ukupna p vrednost $p > 0,05$ pokazuje da ne postoji makar jedan par prosečnih rangova koji su statistički značajno različiti. Ovim se nulta hipoteza prihvata. Razlika između godina je prikazana i na slici broj 8., preko boks plotova, gde je prikazana vremenska distribucija podataka u kojoj dominira 2022. godina za dimnjak na TENT B. Što se tiče raspodele podataka srednjih mesečnih vrednosti za 2020. godinu, 50 % emitovane koncentracije su grupisane u vrednostima između 2200 mg/m³ i 2600 mg/m³, što je slučaj i za 2021. godinu (Slika 8.). Najveća medijana vrednost je zabeležena u 2022. godini od 2525 mg/m³.

Tabela 17. Sumarna statistika za praškaste materije emiter dimnjak TENT B

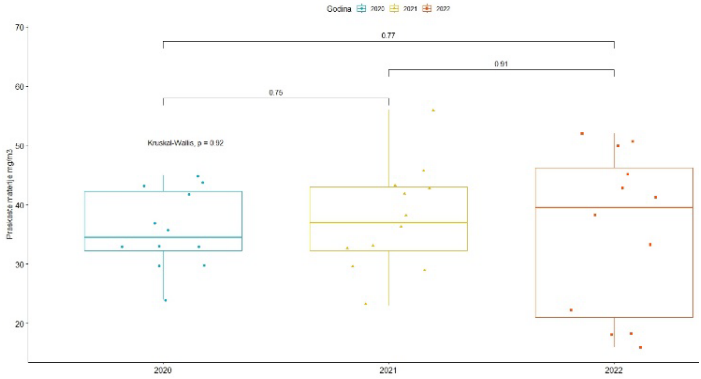
Godina	Minimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Maksimalna srednja mesečna vrednost mg/m ³	Godišnja srednja vrednost mg/m ³	Godišnja medijana vrednost mg/m ³
2020.	24	45	35,8	34,5
2021.	23	56	37,7	37,0
2022.	16	52	35,6	39,5

Sumarna statistika za emitovane srednje mesečne vrednosti praškastih materija za 2020., 2021. i 2022. godinu analizirana je u tabeli broj 17. Uočena je minimalna srednja mesečna vrednost u 2022. godini, zabeležena u oktobru mesecu od 16 mg/m³. Suprotno tome, najveća srednja mesečna vrednost zabeležena je

u 2021. godini, u decembru mesecu od 56 mg/m³. Godina 2021. ističe se kao godina sa najvećom godišnjom srednjom vrednošću emitovanih praškastih materija, iznoseći 37,7 mg/m³. Ovi podaci pružaju uvid u varijaciju u emisiji praškastih materija tokom posmatranih godina.

Tabela 18. Kruskal-Wallis test, p vrednost za praškaste materije za različite godine emiter dimnjak TENT B

p vrednost 2020-2021	p vrednost 2021-2022	p vrednost 2020-2022	Ukupna p vrednost
0,75	0,91	0,77	0,92



Slika 9. Poređenje srednjih mesečnih vrednosti za 2020., 2021. i 2022. godinu, praškaste materije

Na osnovu prikazane analize Kruskal-Wallis testa u tabeli broj 18 za praškaste materije za dimnjak na TENT B, uočeno je da je ukupna p-vrednost $p > 0,05$, što ukazuje da ne postoji makar jedan par prosečnih rangova koji su statistički značajno različiti. Ovo implicira prihvatanje nulte hipoteze. Boks plot za emitovane srednje mesečne vrednosti praškastih materija za 2020. godinu pokazuje da je 50% emitovane koncentracije u opsegu između 30 mg/m³ i 45 mg/m³. Slično je i sa 2021. godinom, dok je 50% distribucije srednjih mesečnih vrednosti u 2022. godini u opsegu između 20 mg/m³ i 45 mg/m³. Ipak, najviša godišnja medijana vrednost je zabeležena u 2022. godini sa 39,5 mg/m³, dok je najniža godišnja medijana vrednost u 2021. godini iznosila 34,5 mg/m³. Ovi rezultati pružaju uvid u varijaciju emisije praškastih materija tokom posmatranih godina.

IV DISKUSIJA

IV-1 Emisija oksida azota

Analiza emisije oksida azota iz dimnjaka 1 na TENT A pružila je dublji uvid u dinamiku emisije tokom posmatranog perioda. Najveća godišnja srednja vrednost zabeležena je u 2020. godini, sa istaknutim trendom opadanja u narednim godinama. Statistička analiza ukazuje na značajne razlike između 2020. i 2021. godine, kao i između 2020. i 2022. godine, dok su razlike između 2021. i 2022. godine manje značajne.

Srednje mesečne vrednosti koncentracije oksida azota za dimnjak 2 TENT A za 2020., 2021. i 2022. godinu ukazuje na varijacije u emisiji tokom ovog trogodišnjeg perioda, pri čemu su zabeležene minimalne vrednosti u avgustu 2020. godine, dok su maksimalne vrednosti zabeležene u decembru 2022. godine. Odbacivanje nulte hipoteze na osnovu analize Kruskal-Wallis testa ukazuje na

statistički značajne razlike između godina, kao i trend porasta emitovane koncentracije oksida azota tokom perioda posmatranja, pri čemu je 2020. godina imala najnižu godišnju medijalnu vrednost.

Prikazani rezultati oksida azota na TENT B otkrivaju varijacije u emitovanim vrednostima, pri čemu su zabeležene najniže vrednosti u 2022. godini. Rezultati Kruskal-Wallis testa ukazuju na statistički značajne razlike između godina, sa приметnim trendom opadanja tokom vremena.

Emisije oksida azota (NO_x) variraju u skladu s kapacitetom termoelektrane (TE) i količinom azota prisutnom u uglju. One se povećavaju kako kapacitet TE raste, kao i količina azota u uglju [12]. Azotni oksidi nastaju tokom procesa sagorevanja svih fosilnih goriva, ali su najizraženiji prilikom sagorevanja čvrstih goriva. Nastanak azotnih oksida može poticati kako od azota prisutnog u vazduhu koji se koristi za sagorevanje, tako i od azota koji se nalazi u samom gorivu. Ove hemijske reakcije obično se odvijaju kao homogene ili heterogene. Glavni oblik azotnih oksida je azot-monoksid, koji čini oko 95% ukupnih emitovanih azotnih oksida, dok se azot-dioksid pojavljuje kao drugi najčešći oblik, dok je azot-suboksid prisutan u tragovima. Otprilike 10-30% svih azotnih oksida potiče od azota u vazduhu, dok je ostatak, koji je značajniji deo, posledica prisustva azota u gorivu [13].

IV-2 Emisija sumpor-dioksida

Prikazani rezultati za sumpor-dioksida iz dimnjaka 1 TENT A pružaju uvid u varijabilnost emisije tokom perioda posmatranja, sa značajnim fluktuacijama u srednjim mesečnim i godišnjim vrednostima. Iako su zabeležene razlike u maksimalnim i minimalnim vrednostima emisije između različitih godina, statistička analiza Kruskal-Wallis testa nije pokazala statistički značajne razlike između 2020., 2021. i 2022. godine. Ovo ukazuje na relativnu konstantnost emisije sumpor-dioksida u posmatranom periodu, iako se može primetiti blagi pad između 2020. i 2021. godine, te relativni porast u 2022. godini. Boks plotovi dodatno ilustruju raspodelu podataka, prikazujući da su srednje mesečne vrednosti najniže zabeležene u 2021. godini, dok je najniža medijalna vrednost zabeležena u 2022. godini.

Što se tiče uvida u rezultate za sumpor-dioksid iz dimnjaka 2 TENT A za 2020., 2021. i 2022. godinu otkrivaju značajne varijacije tokom ovog perioda, s minimalnim vrednostima zabeleženim u 2021. godini i maksimalnim vrednostima u maju 2021. godine. Odbacivanje nulte hipoteze na osnovu Kruskal-Wallis testa ukazuje na statistički značajne razlike u emisiji sumpor-dioksida između 2020., 2021. i 2022. godine, s relativnim rastom u kasnijim godinama. Emisije praškastih materija iz dimnjaka 2 TENT A za 2020., 2021. i 2022. godinu pokazuju značajne varijacije, sa najnižim vrednostima zabeleženim u 2021. godini i najvišim u 2020. godini. Ove varijacije su potvrđene odbacivanjem nulte hipoteze, na osnovu Kruskal-Wallis testa, što ukazuje na statistički značajne razlike u raspodeli praškastih materija između navedenih godina.

Emisija sumpor-dioksida iz dimnjaka TENT B za navedeni period, pokazuje na nedostatak statistički značajnih razlika među godinama, što sugerise da se nulta hipoteza prihvata. Prisutni boks plotovi takođe naglašavaju dominaciju 2022. godine u

distribuciji podataka. Nulta hipoteza, potvrđena kroz Kruskal-Wallis test, sugerira da nema statistički značajnih razlika među godinama. Najviša godišnja medijalna vrednost zabeležena je u 2022. godini, dok su ostale godine pokazale niže vrednosti.

Sumpor prisutan u uglju predstavlja zagađivač koji zahteva posebne mere izdvajanja i neutralizacije. Ugalj sadrži sumpor kako u organskim, tako i u neorganskim jedinjenjima. Organski sumpor potiče uglavnom iz biljne materije. Među neorganskim jedinjenjima koja sadrže sumpor, najčešći su FeS, PbS i ZnS. Sumporna jedinjenja u uglju učestvuju u različitim reakcijama, čiji hemijski proces nije potpuno precizno definisan, ali se mogu izneti osnovni principi: sulfidni i organski sumpor čine gorivi deo sumpora koji se tokom sagorevanja delimično oslobađa kao SO₂ i odlazi u atmosferu. Drugi deo SO₂, koji nastaje sagorevanjem sulfida i organskih jedinjenja, reaguje s oksidima prisutnim u pepelu (uglavnom sa CaO, koji nastaje razgradnjom karbonata), pri čemu deo sumpora ostaje vezan u pepelu u obliku sulfata. Sulfatni sumpor se smatra nepogodnim za sagorevanje, iako se sulfati iz uglja i sulfati formirani tokom reakcije mogu razložiti pri visokim temperaturama, omogućavajući delimično isparavanje sulfatnog sumpora u atmosferu [13]. TENT A kao osnovno gorivo koristi ugalj lignit čiji ukupan sadržaj sumpora je 0,38-1,32% dok je sadržaj sagorivog sumpora u opsegu 0,15-1,23% [14].

IV-3 Emisija praškastih materija

Na osnovu analize emitovanih srednjih mesečnih vrednosti praškastih materija za dimnjak 1 TENT A za 2020., 2021. i 2022. godinu pokazuje značajne varijacije u emisiji tokom ovog trogodišnjeg perioda. Iako je minimalna srednja mesečna vrednost zabeležena u 2022. godini, dok je najviša srednja mesečna vrednost zabeležena u 2020. godini, najveća godišnja srednja vrednost u ovom periodu pripada 2020. godini. Prikazana analiza Kruskal-Wallis testa ukazuje na statistički značajne razlike u raspodeli praškastih materija između različitih godina. Odbacivanje nulte hipoteze sugerise da je distribucija mesečnih vrednosti emisije praškastih materija različita između 2020. i 2021. godine, kao i između 2020. i 2022. godine. Međutim, između 2021. i 2022. godine nije uočena statistički značajna razlika. Prikazani boks plotovi dodatno ilustruju raspodelu podataka, prikazujući da je srednja mesečna emisija praškastih materija i medijalna vrednost najniža u 2021. godini.

Emisije praškastih materija iz dimnjaka 2 TENT A za 2020., 2021. i 2022. godinu pokazuju značajne varijacije, sa najnižim vrednostima zabeleženim u 2021. godini i najvišim u 2020. godini. Ove varijacije su potvrđene odbacivanjem nulte hipoteze, na osnovu Kruskal-Wallis testa, što ukazuje na statistički značajne razlike u raspodeli praškastih materija između navedenih godina.

Analiza sumarne statistike za emitovane srednje mesečne vrednosti praškastih materija za TENT B tokom 2020., 2021. i 2022. godine pruža značajne uvide u varijaciju u emisiji ovih materija tokom posmatranih perioda. Minimalna srednja mesečna vrednost zabeležena je u oktobru 2022. godine, dok je najveća srednja mesečna vrednost zabeležena u decembru 2021. godine. Ovi podaci sugerisu na fluktuacije u emisiji praškastih materija tokom godina. Dalje, godina 2021. se izdvaja kao godina sa

najvećom godišnjom srednjom vrednošću emitovanih praškastih materija. Ova godina je karakterisana visokim nivoom emisije, što ukazuje na potencijalne faktore koji su doprineli povećanoj emisiji tokom tog perioda. Kada je u pitanju statistička analiza Kruskal-Wallis testa, rezultati ukazuju na to da ne postoji statistički značajna razlika između prosečnih rangova srednjih mesečnih vrednosti praškastih materija. Ovo sugerira da emisija praškastih materija na dimnjaku TENT B nije značajno varirala tokom posmatranih godina, bar kada se uzme u obzir ovaj test. Boks plotovi pružaju dodatne uvide u distribuciju srednjih mesečnih vrednosti praškastih materija tokom tri godine. Ipak, najviša godišnja medijalna vrednost je zabeležena u 2022. godini, što sugerise na potencijalno povećanje emisije u toj godini u poređenju sa prethodnim godinama.

IV ZAKLJUČAK

Analiza emisije oksida azota (NO_x) iz dimnjaka 1 i 2 na TENT A otkriva značajne razlike u godišnjim srednjim vrednostima tokom posmatranog perioda od 2020. do 2022. godine. Najveća emisija NO_x zabeležena je 2020. godine, sa uočenim trendom opadanja u narednim godinama. Statistička analiza Kruskal-Wallis testa potvrđuje ove razlike, ukazujući na statistički značajne razlike između 2020. i narednih godina. U dimnjaku 2, maksimalne mesečne vrednosti emisije NO_x su zabeležene u decembru 2022. godine, dok su minimalne vrednosti zabeležene u avgustu 2020. godine, što ukazuje na trend porasta emisija u posmatranom periodu.

Emisije sumpor-dioksida (SO₂) iz dimnjaka 1 na TENT A pokazuju varijabilnost tokom posmatranog perioda, ali Kruskal-Wallis test nije otkrio statistički značajne razlike između godina. Međutim, dimnjak 2 pokazuje statistički značajne razlike, s maksimalnim srednjom mesečnom vrednošću u 2021. Emisije sumpor-dioksida iz TENT B pokazuju relativnu konstantnost, bez značajnih razlika među godinama prema Kruskal-Wallis testu, iako je 2022. godina pokazala najvišu godišnju medijalnu vrednost. Emisije praškastih materija iz dimnjaka 1 TENT A takođe pokazuju značajne varijacije tokom posmatranog perioda, s najvišim godišnjim srednjim vrednostima zabeleženim 2020. godine. Kruskal-Wallis test ukazuje na statistički značajne razlike između 2020. i 2021. godine, kao i između 2020. i 2022. godine. Sličan trend varijacija u emisijama praškastih materija primećen je i za dimnjak 2, sa najvišim vrednostima u 2020. godini. Za TENT B, statistička analiza nije otkrila značajne razlike između posmatranih godina, s najvišom godišnjom medijalnom vrednošću zabeleženom 2022. godine.

Opšti trendovi ukazuju na značajne varijacije u emisijama NO_x, SO₂ i praškastih materija između različitih godina, s tendencijama opadanja emisija oksida azota za dimnjak 1 TENT

A i TENT B, relativnom konstantnošću emisija sumpor-dioksida i varijacijama u emisijama praškastih materija. Ovi rezultati sugerisu potrebu za kontinuiranim praćenjem i optimizacijom procesa sagorevanja kako bi se smanjile emisije zagađujućih materija i uskladile sa ekološkim standardima.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Energoprojekt Entel a.d., *Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, TE „Nikola Tesla A“ Postrojenje za odsumporavanje dimnih gasova za blokove A3-A6*, januar 2019.
- [2] Mašinski fakultet, Univerzitet u Beograd., *Studija o proceni uticaja na životnu sredinu za projekat izgradnja postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova blokova B1 i B2, na lokaciji TE „Nikola Tesla B“, KO Ušće*, 2022.
- [3] Ogranak TENT, *Izveštaj stanje životne sredine u TE Nikola Tesla A za 2019. godinu*, 2020.
- [4] Ehting, *Studija o proceni uticaja na životnu sredinu na projektu izgradnje teretno pristaništa za sopstvene potrebe na lokaciji termoelektrane „Nikola Tesla B“ u Obrenovcu*, septembar 2020.
- [5] Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“, *Izveštaj o stanju životne sredine u JP „Elektroprivreda Srbije“ za 2021. godinu*, februar 2022.
- [6] Zhang, X., Schreifels, J. Continuous emission monitoring systems at power plants in China: improving SO₂ emission measurement, *Energy Policy*, Vol. 39, 7432-7438, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.011>
- [7] Kruskal, W.H., Wallis, W.A. Use of ranks in one-criterion variance analysis, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 47, No. 260, pp. 583-621, 1952. <https://doi.org/10.2307/2280779>
- [8] Crook, J., Kocak, E. *Nonparametric Statistics: A Step-by-Step Approach*, Wiley, 2015.
- [9] Kolmogorov, A. Sulla Determinazione Empirica di Una Legge di Distribuzione, *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*, Vol. 4, pp. 83-91, 1933.
- [10] Smirnov, N. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions, *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 19, No. 2, pp. 279-281, 1948.
- [11] Nicolau, G., Pietra, R., Sabbioni, E. Trace element analysis in environmental and occupational health: Box plot representation of elemental composition results, *The Science of the Total Environment*, Vol. 80, No. 2-3, pp. 167-174, 1989. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90072-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90072-7)
- [12] Petrović, B.M., Bogradnović, B.B. Mogućnost smanjena emisije zagađujućih materija iz termoelektrana u Srbiji, *Klimatizacija, grejanje, hlađenje*, Vol. 37, No. 1, pp. 345-352, 2019.
- [13] Repić, B., Mladenović, R., Crnomarković, N. Predlog primarnih mera za kontrolu emisije azotnih oksida na energetskim postrojenjima koja sagorevaju ugalj, *Procesna tehnika*, Vol. 14, No. 2-3, pp. 203-207, 1998.
- [14] Energoprojekt Entel a.d., *Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, Postrojenje za odsumporavanje dimnih gasova za blokove A3-A6, TE „Nikola Tesla A“, januar 2019.*

AUTORI/AUTHORS

msr Nikola Stanković – vodeći inženjer za zaštitu životne sredine za TE i TE-TO, Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, stankovic.nikola@eps.rs, ORCID [0000-0002-8053-4488](https://orcid.org/0000-0002-8053-4488)

Analysis of the Emission of Pollutants into the Air from "Nikola Tesla A" and "Nikola Tesla B" Thermal Power Plants

Abstract – The paper presents a temporal analysis of the emission of pollutants into the air on the example of the two largest thermal power plants "Nikola Tesla A" and "Nikola Tesla B". The "Thermoelectric Power Plant Nikola Tesla"

branch is the largest producer of electricity in Southeast Europe. There are 14 units with a total installed capacity of 3,430 MW. Within the branch of the "Nikola Tesla Thermal Power Plants", there are two constituent entities: the „Nikola Tesla A“ Thermal Power Plant, comprising six blocks with a total projected capacity of 1650 MW, and the „Nikola Tesla B“ Thermal Power Plant, featuring two blocks with a combined electrical capacity of 1,340 MW. Within the "Thermoelectric Power Plant Nikola Tesla A" there are blocks A1 with 660 MW, A2 with 660 MW, A3 with 932 MW, A4 with 943 MW, A5 with 934 MW and block A6 with 934 MW of thermal power, while within the "Thermoelectric Power Plant Nikola Tesla B" has two blocks B1 and B2 with 1809 MW and 1826 MW of thermal power each. The emission trend is shown for three pollutants, sulphur dioxide, nitrogen oxides and particulate matter for 2022, 2021 and 2020. Flue gases containing pollutants are released into the air through chimneys 150 meters high (blocks A1, A2 and A3) and 220 meters (blocks A4, A5 and A6) at "Thermoelectric Power Plant Nikola Tesla A" and 280 meters high (blocks B1 and B2) at "Nikola Tesla B Thermal Power Plant". In accordance with legal requirements, continuous measurements are performed regularly, while periodic measurements are performed to check the correctness of continuous measurements.

Index Terms – Emission of pollutants into the air, Time series analysis, Sulphur dioxide, Nitrogen oxides, Powdery substances, Thermal power plants