

ANALIZA KVALITETA ZRAKA NA URBANOM PODRUČJU ZENICE PRIMJENOM STATISTIČKOG TESTA MANN-KENNDALL

Prof. dr. Šefket Goletić, email: goletic@mf.unze.ba
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, Bosna i Hercegovina

Sažetak: U ovom radu je na osnovu rezultata monitoringa koncentracija SO₂ u zraku izvršena analiza i ocjena kvaliteta zraka prema odgovarajućoj zakonskoj regulativi, te ocjena trenda primjenom statističkog testa Mann-Kendall i Sen-ove metode. Prema izvršenoj statističkoj analizi kvalitet zraka u Zenici se ocjenjuje kao zrak treće kategorije kvaliteta sa postojećim trendovima rasta koncentracija SO₂.

Ključne riječi: kvalitet zraka, sumpor dioksid, onečišćen/zagađen zrak

AIR QUALITY ANALYSIS IN THE URBAN AREA OF ZENICA BY APPLICATION OF STATISTICAL TEST MANN-KENDALL

Abstract: This paper is based on the results of monitoring the concentration of SO₂ in the air analyzed and assessment of air quality had been carried out under relevant legislation, as well as trend assessment by application of statistical test Mann-Kendall and Sen's method. According to the analysis, the air quality in Zenica is ranked as the air of a third category of quality with existing trend of SO₂ concentration growth.

Key words: air quality, sulphur dioxide, contaminated air

1. UVOD

U industrijskim područjima je često izražen problem zagađenja zraka, naročito u područjima s razvijenim baznim industrijama kao što su željezare sa integralnom proizvodnjom. Ovaj problem je posebno izražen u zeničkoj regiji zbog postojanja centra crne metalurgije duže od 125 godina u uvjetima duboke kotline gdje mali prostor limitira razvoj grada i industrije. Povećane emisije polutanata iz metalurških i termoelektričnih postrojenja i nepovoljni topografski uvjeti doprinose visokom zagađenju zraka, posebno u zimskoj sezoni. Kontinuiranim mjerenjima registruju se visoke koncentracije SO₂, NO_x, prašine i drugih polutanata. Isto tako, prisutni su fenomeni epizoda visokih zagađenja zraka u zimskoj sezoni, kada tokom dana stabilne atmosferske situacije nagomilaju polutante u kotlini i za nekoliko dana dostignu alarmantno visoke razine (Goletić i Imamović, 2011).

Dva osnovna aspekta praćenja kvaliteta zraka su: osiguranje kvaliteta praćenja i statistička analiza dobivenih rezultata. Naime, pravilno praćenje kvaliteta zraka uz odgovarajuću statističku analizu dobijenih rezultata može pružiti veliki niz podataka o kvalitetu odnosno zagađenosti zraka, trendovima, efikasnosti politike u ovoj oblasti i slično. Međutim, da bi statistička analiza imala smisla i dala pravu sliku o stanju kvaliteta zraka potrebno je da podaci koji se obrađuju budu precizni, kvalitetni i pouzdani.

U ovom radu analizirani su trendovi i ocjena trenda u serijama zagađenosti zraka u Zenici u desetogodišnjem periodu. Praćenje trendova predstavlja jednu od najčešće korištenih

statističkih metoda kada analiziramo stanje kvaliteta zraka i njegove promjene. Cilj testiranja trenda je da se vidi da li su dobivene vrijednosti koncentracija polutanta slučajne varijable (u ovom slučaju izmjerene godišnje koncentracije SO₂) povećavaju ili smanjuju tokom određenog vremenskog perioda (Yeung, 2009).

2. ANALIZA I OCJENA KVALITETA ZRAKA PREMA IZMJERENIM KONCENTRACIJAMA SO₂

Institut „Kemal Kapetanović“ Univerziteta u Zenici vrši kontinuirano mjerenje i praćenje koncentracija reprezentativnih polutanata u zraku zeničke kotline, što uključuje i mjerenje koncentracija SO₂ (24-satni uzorci) na tri mjerna mjesta i to: Institut, Tetovo i Crkvice, čije dobivene vrijednosti koncentracija su analizirane u ovom radu (Goletić i sar., 2016).

Analiza i ocjena kvaliteta zraka za izmjerene prosječne koncentracije SO₂ vrši se prema Pravilnik o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka (“Službene novine FBiH”, broj: 1/12 i 9/14). Kategorija kvaliteta zraka određuje se prema razinama onečišćenosti odnosno zagađenosti u odnosu na granične i tolerantne vrijednosti. Prema citiranom Pravilniku propisane su granične i tolerantne vrijednosti za ocjenu kvaliteta zraka prema kojem prosječna godišnja koncentracija SO₂ ne smije preći koncentraciju od 50 µg/m³, te broj dnevnih prekoračenja koncentracije 125 µg/m³ ne smije biti veći od 3 puta (dana) u toku jedne kalendarske godine (Goletić i sar., 2016).

U Tabeli 1. dat je prikaz izmjerenih prosječnih godišnjih i maksimalnih koncentracija SO₂, te broj dana u kojima je izmjerana prosječna dnevna koncentracija SO₂ bila veća od dozvoljene visoke vrijednosti koja iznosi 125 µg/m³. Također u tabeli je na osnovu tih podataka data kategorizacija kvaliteta zraka.

Tabela 1. Prikaz prosječnih godišnjih i maksimalnih koncentracija SO₂, te broja dnevnih prekoračenja u Zenici u periodu 2006.-2015.

God .	Prosječna godišnja koncentracija (µg/m ³)			Maksimalna dnevna koncentracija (µg/m ³)			Broj dnevnih prekoračenja (>125 µg/m ³)		
	Insitut	Crkvice	Tetovo	Insitut	Crkvice	Tetovo	Institut	Crkvice	Tetovo
2006	72	60	86	363	384	503	68	33	88
2007	103	91	112	903	618	756	104	56	112
2008	100	80	115	843	524	753	66	44	91
2009	125	105	132	647	393	542	120	73	152
2010	113	90	109	506	360	456	117	65	105
2011	152	114	150	658	488	533	160	119	179
2012	162	117	152	603	381	526	186	146	194
2013	142	129	144	633	544	575	146	142	173
2014	166	158	175	468	498	668	216	212	251
2015	150	136	155	608	613	735	166	145	177
KATEGORIJA ZRAKA				III					

3. ANALIZA TRENDOVA IZMJERENIH KONCENTRACIJA SO₂

Prilikom analize postojanja trendova korišten je Mann-Kendall test koji omogućava testiranje hipoteze o postojanju trenda i neparametrijske Sen's metode za ocjenu nagiba trenda.

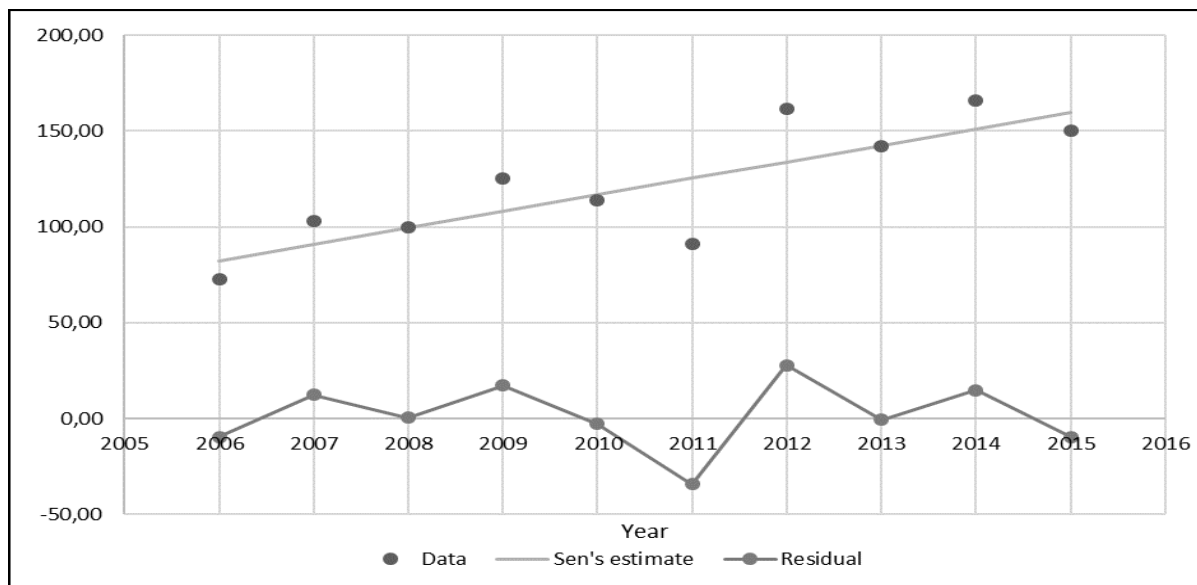
Mnoge analize trenda zasnovane su na dobro poznatom Mann-Kendall testu. Ovaj test je neparametrijski i zasniva se na poređenju svih podataka u vremenskoj seriji sa podacima koji slijede u vremenu. Mann-Kendall test omogućuje testiranje hipoteze o postojanju trenda sa zahtijevanim nivoom značajnosti i obrađuje i vrijednosti ispod granice detekcije tako što im dodjeljuje zajedničku vrijednost, a obično se uzima vrijednost jednaka polovini granice detekcije (Drápela i Drápelová, 2011; Yadav i Mishra, 2015).

Sen-ova neparametarska metoda se koristi da bi se procjenio stvarni nagib postojećeg trenda (kao što je promjena po godini). Sen-ova metoda se koristi u slučajevima gdje se može pretpostaviti da je trend linearan (Drápela i Drápelová, 2011).

Prema izmjerenim godišnjim koncentracijama SO₂ na mjernom mjestu Institut formiran je Mann-Kendellov test i izvršena je analiza i ocjena trenda u periodu 2006.-2015. godina (Tabela 2.), te je dat grafički prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija dobijenog u MAKESEN-u uz pomoć Sen's metode (Slika 1).

Tabela 2. Proračun Mann-Kendall S statistike za praćenje trenda SO₂ na mjernom mjestu Institut

Period	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Koncentracije	72	103	100	125	113	152	162	142	166	150	+	-
		31	28	53	41	80	90	70	94	78	9	0
			-3	22	10	49	59	39	63	47	7	1
				25	13	52	62	42	66	50	7	0
					-12	27	37	17	41	25	5	1
						39	49	29	53	37	5	0
							10	-10	14	-2	2	2
								-20	4	-12	1	2
									24	8	2	0
										-16	0	1
Br.istih serija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3 8	7
VAR (S)	Z_s	α	Z_{cr.05}	Q	OCJENA							
125	2,68	0,01	1,96	9,67	RASTUĆI							



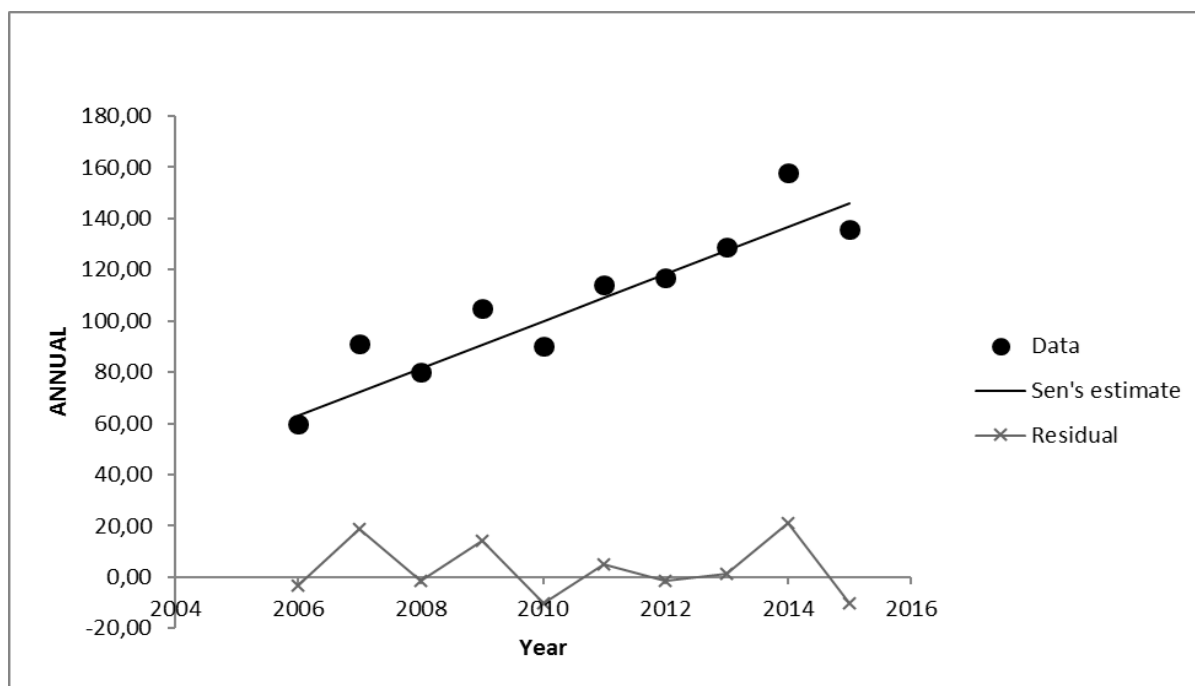
Slika 1. Prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija SO₂ dobijenog u MAKESSEN -u pomoću Sen'S metode za mjerno mjesto Institut u periodu od 2006. - 2015. godine

Prema registrovanim godišnjim koncentracijama SO₂ na mjernom mjestu Crkvice formiran je Mann-Kendellov test i izvršena je analiza i ocjena trenda u periodu 2006. - 2015. godina (Tabela 3.).

Tabela 3. Proračun Mann-Kendall S statistike za praćenje trenda SO₂ na mjernom mjestu „Crkvice“

Period	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Koncentracije	60	91	80	105	90	114	117	129	158	136	+	-
		31	20	45	30	54	57	69	98	76	9	0
			-11	14	-1	23	26	38	67	45	6	2
				25	10	34	37	49	78	56	7	0
					-15	9	12	24	53	31	5	1
						24	27	39	68	46	5	0
								15	44	22	4	0
								12	41	19	3	0
									29	7	2	0
										-22	0	1
Broj istih serija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	4
VAR (S)	Z _s	α	Z _{cr.05}	Q	OCJENA							
125	3,22	0,01	1,96	9,20	RASTUĆI							

Grafički prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija SO₂ dobijenog u MAKESSEN-u pomoću Sen'S metode za mjerno mjesto Crkvice u periodu 2006. – 2015. godine dat je na narednoj slici.



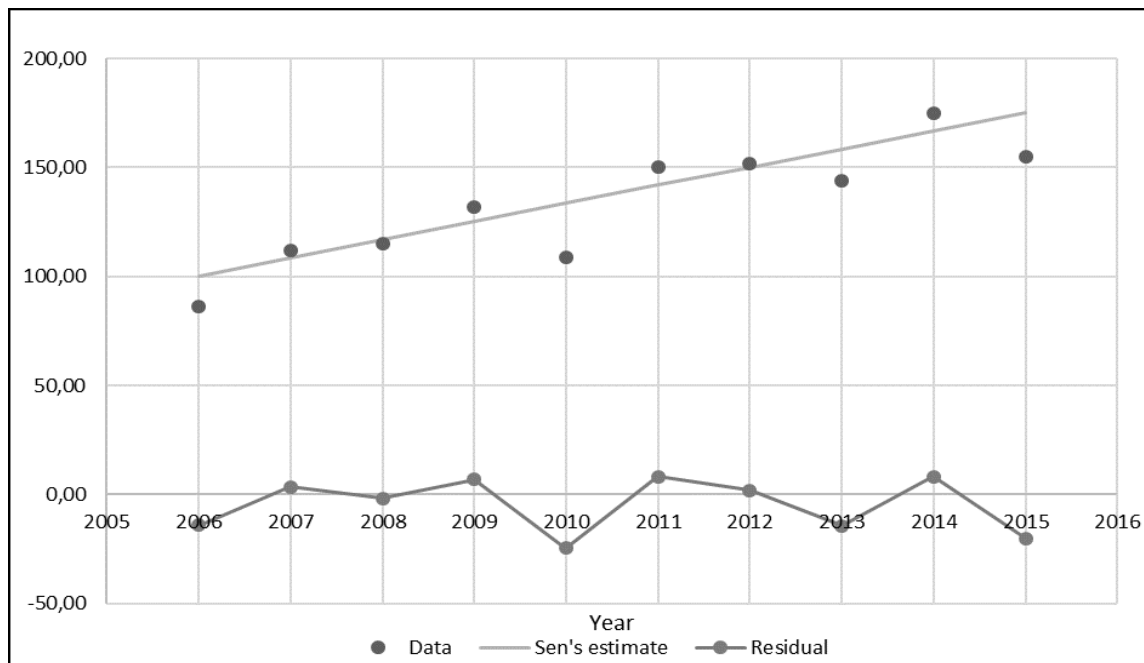
Slika 2. Prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija SO₂ dobijenog u MAKESEN -u pomoću Sen'S metode za mjerno mjesto Crkvice u periodu od 2006. – 2015. godine

Prema izmjerenim godišnjim koncentracijama SO₂ na mjernom mjestu Tetovo formiran je Mann-Kendellov test i izvršena je analiza i ocjena trenda u periodu 2006. – 2015. godine (Tabela 4.)

Tabela 4. Proračun Mann-Kendall S statistike za praćenje trenda SO₂ na mjernom mjestu Tetovo

Period	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Koncentracije	86	112	115	132	109	150	152	144	175	155	+	-
		26	29	46	23	64	66	58	89	69	9	0
			3	2	-3	38	40	32	63	43	7	1
				17	-6	35	37	29	60	40	6	1
					-23	18	20	12	43	23	5	1
						41	43	35	66	46	5	0
							2	-6	25	5	3	1
								-8	23	3	2	1
									31	11	2	0
										-20	0	1
Br.istih serija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	6
VAR (S)	Z _s	α	Z _{cr,05}	Q	OCJENA							
125	2,86	0,01	1,96	8,333	RASTUĆI							

Grafički prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija SO₂ dobijenog u MAKESEN-u uz pomoć Sen'S metode za mjerno mjesto Tetovo u periodu 2006. – 2015. godina dat je na narednoj slici.



Slika 3. Prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija SO₂ dobijenog u MAKESEN -u pomoć Sen'S metode za mjerno mjesto Tetovo u periodu od 2006. – 2015. godine

Iz prikazanih podataka u tabelama 2-4 i na slikama 1-3 jasno se uočava trend rasta koncentracija SO₂ u zeničkoj kotlini u periodu 2006.-2015. godine, jer je na sve tri mjerne stanice imao nivo značajnosti $\alpha=0,01$, što je vjerovatno posljedica povećanih emisija zbog rasta potrošnje fosilnih goriva.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize rezultata kontinuiranog monitoringa na području grada Zenice u periodu 2006. – 2015. godine može se konstatovati slijedeće:

- prosječna godišnja koncentracija SO₂ je iznosila 133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ što je 2,5 puta više od godišnje dozvoljene vrijednosti koja iznosi 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- dozvoljenja dnevna vrijednost od 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ je prekoračena čak 1522 puta, što je u prosjeku 6 mjeseci u toku svake godine,
- maksimalna izmjerena 24-satna koncentracija SO₂ iznosila je 903 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i izmjerena je na mjernom mjestu Institut 2007.godine,
- prema izmjerenim vrijednostima SO₂ kvalitet zraka spada u treću (III) kategoriju prema odredbama Zakona o zaštiti zraka FBiH.

Na osnovu statističke analize trendova (Mann Kendel test i Sen's metoda) može se općenito konstatovati da je prisutan trend rasta imisionih vrijednosti SO₂ u zeničkoj kotlini. Dokazano je da je trend rasta koncentracija SO₂ u zeničkoj kotlini u periodu 2006.-2015. godine na sve tri mjerne stanice imao nivo značajnosti $\alpha=0,01$, što je vjerovatno posljedica povećanih emisija

usljed povećavanja potrošnje fosilnih goriva te prisutnih emisija SO₂ iz industrijskih postrojenja, lokalnih kotlovnica i kućnih ložišta.

Zenica je industrijski grad, koji ima veliki problem sa industrijskim emisijama, ne samo SO₂ nego i mnogih drugih polutanata koji ugrožavaju kvalitet zraka i zdravlje ljudi. Zbog toga je potrebno stvarati efikasne uvjete kako bi se emisije svele na najmanju moguću mjeru i poboljšao kvalitet zraka s ciljem zaštite zdravlja ljudi i ekosistema.

5. LITERATURA

- [1] Goletić, Š., Imamović, N.: Monitoring of air quality in Zenica valley; 15th International Research/Expert Conference” Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2011, Ed.: Sabahudin Ekinović, Senay Yalcin i Joan Vivanog 15(1): 1378-1391 Prague, Czech Republic, 12-18 September 2011.
- [2] Yeung, I.: Environmental monitoring: Statistical analysis and quality assurance of monitoring data; City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong, 2009.
- [3] Goletić, Š. i sar.: Kantonalni ekološki akcioni plan Zeničko-dobojskog kantona za period 2017.- 2025. godina; Metaruluški Insitut „Kemal Kapetanović“, Univerzitet u Zenici, 2016.
- [4] Drápela, K., Drápelová, I.: Application of Mann-Kendall test and the Sen’s slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010; Institute of Forest Management, Faculty of Forestry and Wood Technology (FFWT), Mendel University in Brno, 2011.
- [5] Yadav, G., Mishra, N.: Air Pollution Trend Analysis Using Sen Estimator Method; International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, India, 2015.