

ANALIZA I OCJENA KVALITETA ZRAKA NA PODRUČJU GRADA ZENICE PREMA KONCENTRACIJAMA SO₂ U PERIODU 2006. - 2015. GODINE

ANALYSIS AND EVALUATION OF AIR QUALITY IN THE ZENICA CITY BY SO₂ CONCENTRATIONS IN THE PERIOD 2006 - 2015

Prof. dr. sc. Šefket Goletić,
Sara Husejnović, dipl. inž. maš.
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica

REZIME

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 statističkih testova: Mann-Kendall i Sen-ova metoda. Prema izvršenoj analizi zrak u Zenici se ocjenjuje kao zrak treće kategorije sa postojećim trendovima rasta koncentracija SO₂.

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

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 statistical tests: Mann-Kendall and Sen's method. According to the analysis, the air in Zenica is ranked as air of the third category with existing growth trend of concentration of SO₂.

Keywords: air quality, sulphur dioxide, contaminated air

1. UVOD

U industrijskim područjima je često izražen problem onečišćenja 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 124 godine u uvjetima duboke kotline gdje mali prostor limitira razvoj grada i industrije. Povećane emisije polutanata iz metalurških i termoenergetskih postrojenja i nepovoljni topografski uvjeti doprinose visokom zagađenju zraka u zeničkoj kotlini, posebno u zimskoj sezoni. Kontinuiranim mjerenjima registruju se visoke koncentracije SO₂, kao i ostalih polutanata. Isto tako, prisutni su fenomeni epizoda visokih onečišćenja zraka u zimskoj sezoni, kada tokom dana stabilne atmosferske situacije nagomilaju polutante u zeničkoj kotlini i za nekoliko dana dostignu alarmantno visoke razine. [1]

Dva osnovna aspekta praćenja kvaliteta zraka su: osiguranje kvaliteta praćenja i statistička analiza. Naime, pravilno praćenje kvaliteta zraka uz odgovarajuću statističku analizu može pružiti veliki niz podataka o zagađenosti zraka, trendovima, efikasnosti politike u ovoj oblasti

i slično. Međutim da bi satistička 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 govorimo o stanju okoliša. Cilj testiranja trenda je da se vidi da li su vrijednosti slučajne varijable (u ovom slučaju izmjerene godišnje koncentracije SO₂) povećavaju ili smanjuju tokom određenog vremenskog perioda. [2]

2. ANALIZA I OCJENA KVALITETA ZRAKA PREMA IZMJERENIM KONCENTRACIJAMA SO₂

Metalurški institut „Kemal Kapetanović“ Univerziteta u Zenici vrši kontinuirano mjerenje i praćenje koncentracije SO₂ (24-satni uzorci) na tri mjerna mjesta i to: Institut, Tetovo i Crkvice. [3]

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 (Sl. novine FBiH, br. 1/12). Kategorija kvaliteta zraka određuje se prema razinama onečišćenosti s obzirom na granične i tolerantne vrijednosti. Prema spomenutom 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 u toku jedne kalendarske godine. [3]

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 125 µg/m³. U tabeli je također na osnovu tih podataka izvršena kategorizacija kvaliteta zraka.

Tabela 1. Prikaz prosječnih godišnjih i maksimalnih koncentracije 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

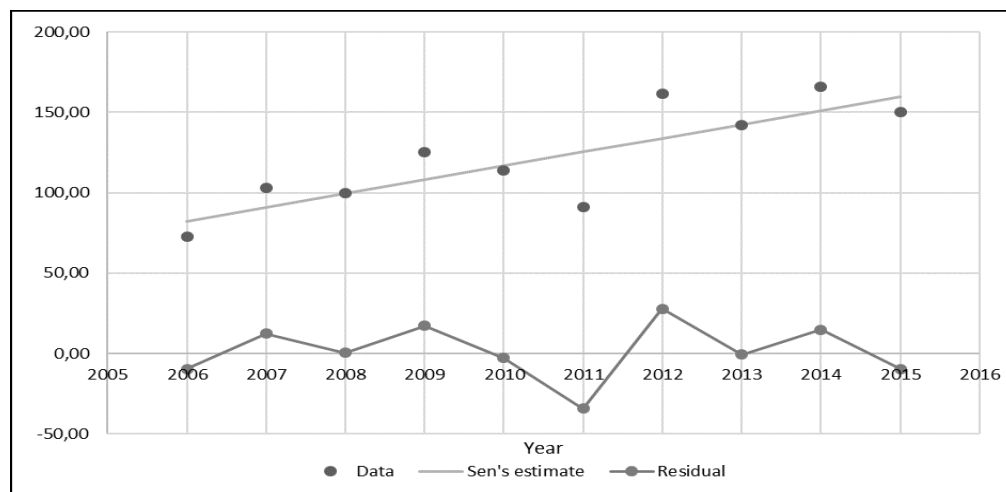
odjeljuje zajedničku vrijednost (obično se uzima vrijednost jednaka polovini granice detekcije). [4, 5]

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. [4]

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 | 38 | 7 |
| VAR (S) | Z_s | α | Z_{cr.05} | Q | OCJENA | | | | | | | |
| 125 | 2,68 | 0,01 | 1,96 | 9,67 | RASTUĆI | | | | | | | |



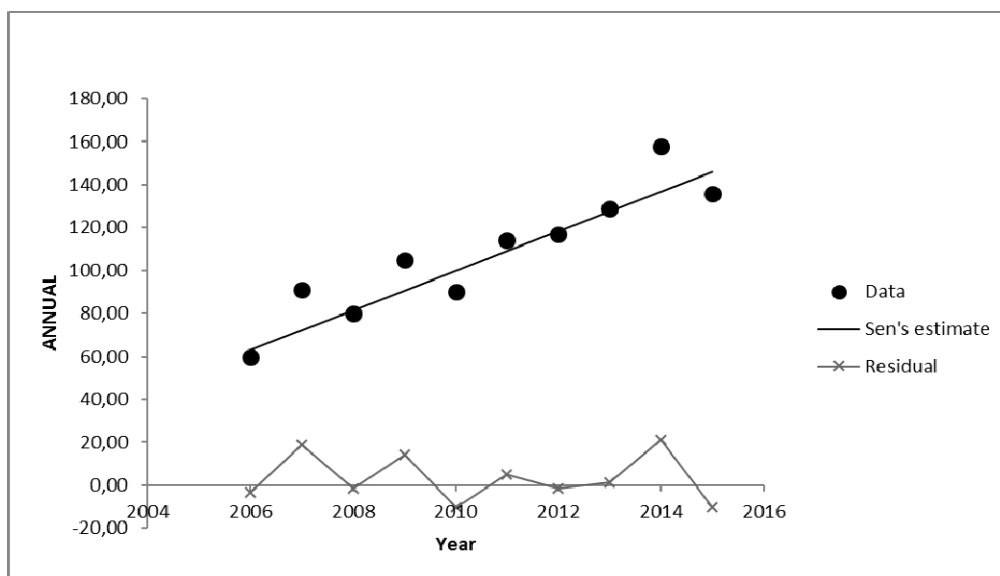
Slika 1. Prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija SO₂ dobijenog u MAKESEN-u pomoću Sen'S metode za mjerno mjesto Institut u periodu od 2006. - 2015. godine

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 |
| Br.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 MAKESEN-u pomoću Sen'S metode za mjerno mjesto Crkvice u periodu 2006. – 2015. godine dat je na narednoj slici.



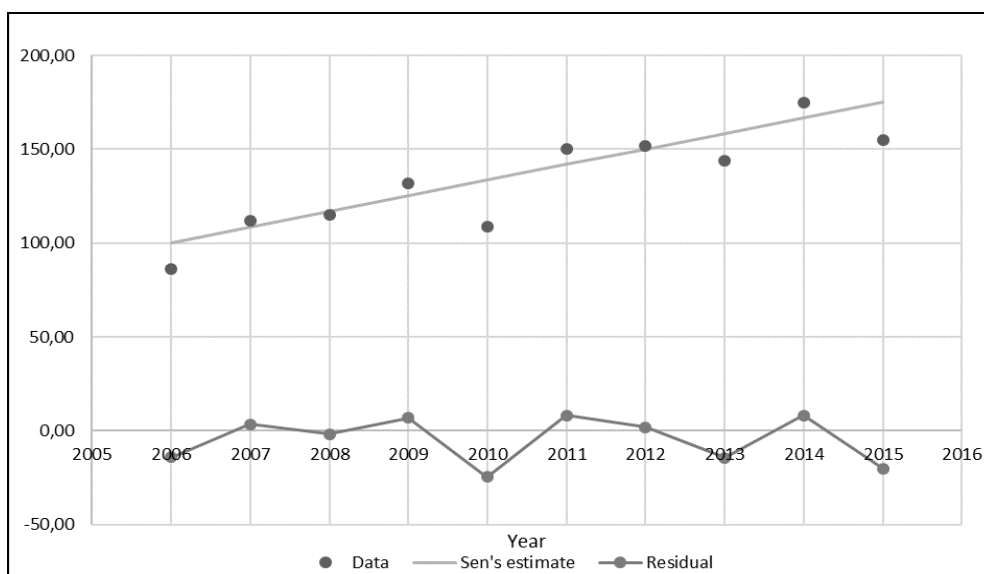
Slika 2. Prikaz stvarnog nagiba izmjerenih koncentracija SO₂ dobijenog u MAKESEN -u pomoću Sen'S metode za mjerno mjesto Crkvice u periodu od 2006. – 2015. godine

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. godina (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. 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 kontinuiranog monitoringa na području grada Zenice u periodu 2006. – 2015. godine može se konstatovati sljedeće:

- prosječna godišnja koncentracija SO₂ je iznosila 133 µg /m³ što je 2,5 puta više od godišnje dozvoljene vrijednosti koja iznosi 50 µg /m³,
- dozvoljenja dnevna vrijednost od 125 µg /m³ je prekoračena čak 1522 puta, što je u prosjeku 6 mjeseci u toku svake godine,
- maksimalna izmjerena 24-satna koncentracija SO₂ iznosila je 903 µg /m³ i izmjerena je na mjernom mjestu Institut 2007.godine,
- prema izmjerenim vrijednostima SO₂ kvalitet zraka spada u III kategoriju prema Zakonu o zaštiti zraka.

Na osnovu statističke analize trendova (Mann Kendel test i Sen's metoda) može se općenito konstatovati da je prisutan trend rasta imisionih vrijedosti SO₂. 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.

Zenica je industrijski grad, koji ima veliki problem sa industrijskim emisijama, ne samo SO₂ nego svih polutanata koje ugrožavaju kvalitet zraka i opterećuju okoliš. 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
- [3] Goletić, Š. i sar.: Kantonalni ekološki akcioni plan Zeničko-Dobojskog kantona za period 2017.- 2025.; 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.