



Studija o kvalitetu zraka Tuzle, Lukavca i Živinica

Projekt:
Studija o kvalitetu zraka Tuzle, Lukavca i Živinica

Izdavač:
Centar za ekologiju i energiju
Filipa Kljajića 22, 75000 Tuzla, BiH
tel: +387 35 248 311
ceetz@bih.net.ba
www.ekologija.ba

Autori:
Hana Alihodžić, MA inženjerstva zaštite okoline
Dr.sci. Abdel Đozić, dipl.ing.tehn.

Koordinatorica projekta:
Amira Kunto, Centar za ekologiju i energiju

Septembar 2020.

Sadržaj

1.	UVOD	4
2.	TEORETSKI DIO	4
2.1.	Monitoring kvalitete zraka	4
2.2.	Zakonski okvir monitoringa kvalitete zraka	6
2.3.	Karakteristike osnovnih zagađujućih tvari zraka	8
2.4.	Posljedice zagađenja zraka	11
2.5.	Prethodna istraživanja	12
3.	REZULTATI I DISKUSIJA	16
3.1.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO ₂ u 2016. godini	16
3.2.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO ₂ u 2017. godini	18
3.3.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO ₂ u 2018. godini	19
3.4.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO ₂ u 2019. godini	20
3.5.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM _{2,5} u 2016. godini	22
3.6.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM _{2,5} u 2017. godini	24
3.7.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM _{2,5} u 2018. godini	25
3.8.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM _{2,5} u 2019. godini	26
3.9.	Prosječne godišnje koncentracije SO ₂ i PM _{2,5} od 2016.-2019. godine	29
3.10.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO ₂ u 2016. godini	31
3.11.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO ₂ u 2017. godini	32
3.12.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO ₂ u 2018. godini	34
3.13.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO ₂ u 2019. godini	35
3.14.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija O ₃ u 2016. godini	37
3.15.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija O ₃ u 2017. godini	38
3.16.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija O ₃ u 2018. godini	39
3.19.	Analiza rezultata mjerenja koncentracija O ₃ u 2019. godini	40
4.	ZAKLJUČCI I PREPORUKE	43
5.	LITERATURA	44

UVOD

Zagađenje zraka predstavlja dugogodišnji problem zbog negativnog uticaja kako na zdravlje opće populacije stanovništva tako i na okoliš u cjelini zbog čega je osiguranje dobre kvalitete zraka od iznimne važnosti. Osnovni parametri kvalitete zraka su: SO_{2r} , NO_{2r} , CO, $PM_{2,5}$ i O_3 navedeni polutanati su predmet monitoringa i primarni su pokazatelji zagađenja zraka određenog područja. Da bismo uspješno upravljali kvalitetom zraka i donosili mjere koje će popraviti njegov kvalitet potreban je kontinuirani monitoring koncentracija navedenih polutanata kao i stručna analiza prikupljenih podataka.

Najveći uticaj na prizemnu ambijentalnu koncentraciju štetnih plinova i suspendiranih čestica primarno imaju velika postrojenja za sagorijevanje, a sekundarni su linijski izvori (saobraćaj) i difuzni (individualna kućna ložišta). Emisije iz industrijskih postrojenja se najčešće nedovoljno kontrolišu zbog čega smo prinuđeni osloniti se na prirodne procese čišćenja u atmosferi (disperzija), suha i mokra depozicija. Kada prirodni procesi izostanu, odnosno dođe do pojave temperaturne inverzije dolazi do koncentriranja plinovitih polutanata, suspendiranih čestica pri čemu se bilježe vrlo visoke koncentracije. Ukoliko prosječne koncentracije prelaze propisane granične vrijednosti može doći do izrazito negativnog uticaja na sve sastavnice okoliša. Monitoring kvalitete zraka u Tuzlanskom kantonu je u nadležnosti Kantonalnog ministarstva prostornog uređenja i zaštite okolice sastoji se od šest mjernih stanica postavljenih na različitim lokacijama i to Tuzla (Skver, Bosansko kulturni centar (BKC) i Bukinje), Živinice, Lukavac i jedna mobilna mjerna stanica. Stacionarne stanice su opremljene analizatorima za mjerenje koncentracije zagađujućih materija, mjerna stanica na Skveru mjeri meteorološke parametre, sve stanice posjeduju opremu za prenos podataka.

U cilju dobivanja relevantnih podataka na temelju kojih je izvršena procjena kvalitete zraka u Tuzli, Lukavcu i Živinicama, prikupljeni su podaci o parametrima kvalitete zraka za period od 2016 - 2019. godine. Metodologija izrade studije obuhvatila je prikupljanje podataka, koji se odnose na izmjerene koncentracije prisutnih polutanata u zraku, pregled postojećih istraživanja i analizu prikupljenih podataka što u konačnici daje informacije koje mogu pomoći za donošenje odluka od strane nadležnih institucija koje idu u pravcu poboljšanja kvalitete zraka i veću efektivnost u provođenju postojećih mjera. Nakon opsežne analize podataka za parametre: sumpor dioksid, azot dioksid, $PM_{2,5}$ i prizemni ozon, izrađena je studija o kvalitetu zraka Tuzle, Lukavca i Živinica primjenom važeće zakonske regulative, graničnih vrijednosti i indexa kvalitete zraka. Pored toga, sekundarni cilj studije je i podizanje svijesti opće populacije stanovništva o zagađenju zraka putem interaktivne edukacije, odnosno prezentacije dobivenih rezultata.

2. TEORETSKI DIO

2.1. Monitoring kvalitete zraka

Kvalitet zraka određenog područja zavisi od stepena imisije zagađenja iz više izvora, dok se kvalitet zraka određuje mjerenjem koncentracija određenih parametara odnosno zagađujućih materija kao što su na primjer: ugljik monoksid, oksidi sumpora, oksidi azota, čestične tvari promjera 10 μm i 2,5 μm , ozon, teški metali, organske materije i dr., a sve u zavisnosti od vrste izvora zagađenja. Pod izvorom zagađivanja zraka podrazumijevamo proces koji emitira zagađujuće materije u atmosferu, a koje mogu biti prirodnog ili vještačkog porijekla. U prirodne izvore ubrajamo: prašinu nošenu vjetrom, aeroalergene, čestice morske soli, dimne plinove, lebdeći pepeo, plinove šumskih požara, plinove iz močvara, mikroorganizme (bakterije i virusi), maglu, vulkanski pepeo i plinovi, prirodnu radioaktivnost, meteorsku prašinu i prirodna isparavanja, dok su vještački izvori zagađivanja zraka grupa koja nastaje uslijed antropogenih aktivnosti kao što je proizvodnja električne energije, rad industrijskih postrojenja, transportna sredstva i slično.

Pod zagađujućim materijama u zraku podrazumijevamo sve one materije (smjesa čvrstih čestica i plinova) koje imaju štetan uticaj na čovjeka i njegovu okolinu i koje negativno utiču na kvalitet zraka. Općenito, zagađujuće materije koje nastaju kao posljedica antropogenih aktivnosti se mogu podijeliti na: plinove (SO_x , CO_2 , CO , NO_x , H_2S , O_3 (troposferski), CH_4 , freoni, haloni, metil hlorid, tetrahlorugljik i dr.), lebdeće čestice (različite čvrste čestice i/ili kapljice tekućine raspršene u zraku (promjera čestica od 1 nm do 1 mm), prvenstveno dim i pepeo), metali (olovo, živa, kadmij, berilij, talij, nikl, hrom i dr.), metaloidi (arsen, selen i antimon), perzistentni organski polutanti (pesticidi, polihlorirani bifenili, policiklični aromatski ugljikovodici), radioaktivne materije (radioaktivni izotopi), ostale zagađujuće materije (azbest, fluoridi, formaldehid i dr.) i otpadna toplina koja predstavlja specifičan oblik zagađivanja atmosferskog zraka.

S obzirom da su potrebe i zahtjevi populacije sve izraženiji i u cilju sprečavanja nekontrolisanih emisija zagađujućih materija od strane raznih zagađivača, ali i održivosti dobre kvalitete zraka propisana je zakonska legislativa o monitoringu kvalitete zraka koji je u FBiH u nadležnosti Federalnog hidrometeorološkog zavoda i nadležnih organa kantona i jedinica lokalne samouprave. Da bi se lakše razumjela i predstavila situacija kvalitete zraka, sva detaljnija mjerenja određenih parametara koji su propisani zakonskom regulativom transformirana su u jednu cjelinu to jest indeks kvalitete zraka. Indeks kvalitete zraka temelji se na mjerenju koncentracije čestica ($PM_{x2,5}$ i PM_{10}), ozona (O_3), azot dioksida (NO_2), sumpornog dioksida (SO_2) ugljik monoksida CO , a koji u FBiH nije propisan kao obavezna forma za izvještavanje kvalitete zraka važećim zakonskim propisima. Izražava se kao brojučana vrijednost koja se sastoji od šest kvalitativnih kategorija, gdje je svakoj kategoriji dodijeljen odgovarajući naziv i boja (Tabela 1). Vrijednost indeksa ne predstavlja koncentraciju pojedine zagađujuće materije niti skupa zagađujućih materija (polutanata) izraženih u standardnoj mjernoj jedinici, ona je proizvod matematičkog proračuna.

Tabela 1. Vrijednosti indeksa kvalitete zraka

Indeks kvalitete zraka	Brojučana vrijednost	Značenje
Dobar	0-50	Kvaliteta zraka smatra se zadovoljavajućom, a onečišćenje zraka predstavlja mali ili nikakav rizik
Umjeren	51-100	Kvaliteta zraka je prihvatljiva; međutim, usljed prisustva nekih zagađivača, može postojati umjereni zdravstveni rizik za vrlo mali broj ljudi koji su prekomjerno osjetljivi na onečišćenje zraka.
Nezdrav za osjetljive grupe	101-150	Osjetljive kategorije stanovništva mogu osjetiti određeni uticaj na zdravlje. Vjerojatno neće uticati na ostatak građana.
Nezdrav	151-200	Svatko može početi osjećati uticaj na zdravlje; osjetljive kategorije stanovništva mogu osjećati ozbiljniji uticaj na zdravlje.
Vrlo nezdrav	201-300	Zdravstveno upozorenje o izvanrednim okolnostima. Moguć uticaj na cijelu populaciju.
Opasan	>301	Zdravstveno upozorenje: svatko može osjetiti ozbiljan uticaj na zdravlje.

2.2. Zakonski okvir monitoringa kvalitete zraka

Monitoring kvalitete zraka u Federaciji Bosne i Hercegovine je propisan zakonskom legislativom gdje je temeljni dokument „Zakon o zaštiti zraka“ („Službene novine FBiH“ broj 33/03; 04/10) iz koga proizilaze ostali podzakonski akti odnosno pravilnici, uredbе, odluke itd. Na osnovu člana 7. „Pravilnika o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka“ („Službene novine FBiH“ 01/12 i 50/19) kvalitet zraka se prati mjerenjem koncentracija slijedećih polutanata: sumpor dioksida, azot dioksida i oksida azota, suspendiranih čestica (PM₁₀, PM_{2.5}), olova, benzena, ugljen monoksida, prizemnog ozona, arsena, kadmijuma, žive, nikla i benzo (a) piren u zraku instrumentima za automatsko mjerenje i/ili uzimanjem uzoraka i njihovom analizom, čije su granične i tolerantne vrijednosti, kao i granica tolerancije date u Prilogu X Odjeljak B navedenog pravilnika. Rezultati mjerenja koncentracija zagađujućih materija upoređuju se sa propisanim graničnim, tolerantnim i ciljnim vrijednostima zagađujućih materija u zraku u cilju utvrđivanja nivoa zagađenosti zraka. Nadležni organi mogu odlučiti da prate i koncentracije alergogenog polena i drugih zagađujućih materija (npr. HCl, HF, H₂S, NH₃, itd.),

Za zagađujuće materije iz člana 7. stav 5. pravilnika, a za koje navedenim pravilnikom nisu propisane granične vrijednosti, izmjerene koncentracije se mogu porediti sa graničnim vrijednostima propisanim u relevantnim dokumentima EU. U tabeli 2 su prikazane granične vrijednosti, tolerantna vrijednost i granice tolerancije za zagađujuće materije koje su predmet ove studije. Granične i tolerantne vrijednosti kao i vrijednosti su definisane Zakonom o zaštiti zraka („Službene novine Federacije BiH“, broj: 33/03 i 4/10). Prema članu 2. ovog zakona granična vrijednost kvaliteta zraka predstavlja nivo određen na osnovu naučnog znanja ciljem izbjegavanja, sprečavanja ili smanjivanja štetnih uticaja na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini; ovaj nivo se mora dostići u određenom periodu i kasnije ne smije biti prekoračen. Granica tolerancije – znači procenat dozvoljenog prekoračenja granične vrijednosti pod propisanim uslovima. Tolerantna vrijednost – znači graničnu vrijednost uvećanu za granicu tolerancije. Prag upozorenja – znači nivo iznad kojeg postoji rizik po ljudsko zdravlje usljed kratkog izlaganja za izuzetno osjetljive dijelove stanovništva i o kome je potrebno dati najnovije informacije. Prag uzbune - znači nivo iznad kojeg postoji rizik po ljudsko zdravlje prilikom kratkog izlaganja i na kojem će biti preduzeti direktni koraci. Ukoliko prosječne koncentracije prelaze dozvoljene vrijednosti može doći do izrazito negativnog uticaja na ekosistem.

Zagađenje zraka se definiše kao postojanje određene tvari u zraku koja prelazi definisanu graničnu vrijednost i koja pri takvim koncentracijama može negativno (štetno) uticati na ljudsko zdravlje i kulturno naslijeđe. U okviru zakonodavstva (Zakoni, Pravilnici, Uredbe, Odluke itd.) govori se isključivo o onečišćenju iz antropogenih izvora (koje uzrokuje čovjek) iako onečišćenje može dolaziti i iz drugih izvora.

Tabela 2. Granična vrijednost, tolerantna vrijednost i granica tolerancije za sumpor dioksid, azot dioksid, suspendovane čestice (PM₁₀ i PM_{2,5}) i prizemni ozon

Zagađujuće materije	Granična vrijednost				Tolerantna vrijednost				Prag upozorenja 1 h	Prag uzbune 1 h
	1h	8h	24h	god.	1h	8h	24h	god.		
SO₂ (µg/m ³)					455 – 2014 440 – 2015 425 – 2016 410 – 2017 395 – 2018 380 – 2019 365 – 2020 350 – 2021				455 – 2014 440 – 2015 425 – 2016 410 – 2017 395 – 2018 380 – 2019 365 – 2020 350 – 2021	
	350	-	125	50		-	125	50		500
					270 – 2014 260 – 2015 250 – 2016 240 – 2017 230 – 2018 220 – 2019 210 – 2020 200 – 2021				270 – 2014 260 – 2015 250 – 2016 240 – 2017 230 – 2018 220 – 2019 210 – 2020 200 – 2021	
					113 – 2014 109 – 2015 105 – 2016 101 – 2017 97 – 2018 93 – 2019 89 – 2020 85 – 2021				113 – 2014 109 – 2015 105 – 2016 101 – 2017 97 – 2018 93 – 2019 89 – 2020 85 – 2021	
NO₂ (µg/m ³)	200	-	85	40		-				400
					270 – 2014 260 – 2015 250 – 2016 240 – 2017 230 – 2018 220 – 2019 210 – 2020 200 – 2021				270 – 2014 260 – 2015 250 – 2016 240 – 2017 230 – 2018 220 – 2019 210 – 2020 200 – 2021	
O₃ (µg/m ³)	-	120	-	-	-	-	-	-	180	240
PM_{2,5} (µg/m ³)										
				25						
					28,5 – 2014 28 – 2015 27,5 – 2016 27 – 2017 26,5 – 2018 26 – 2019 25,5 – 2020 25 – 2021				28,5 – 2014 28 – 2015 27,5 – 2016 27 – 2017 26,5 – 2018 26 – 2019 25,5 – 2020 25 – 2021	

2.3. Karakteristike osnovnih zagađujućih tvari zraka

Zagađenje zraka kao pojam koji se povezuje sa zrakom i zagađujućim tvarima koje se nalaze ili emitiraju u zrak bez obzira na agregatno stanje nije fenomen koji je otkriven u bliskoj prošlosti. Rani nagovještaji o problemima sa zagađenim zrakom datiraju mnogo ranije, kada je dim od sagorijevanja uglja počeo predstavljati ozbiljan problem građanima Londona, 1307. godine kralj Edward I je zabranio njegovu upotrebu u pećima za proizvodnju kreča. Potrebu za kontrolom kvalitete zraka uslijedila je tek nakon nekoliko incidenata koji su imali za posljedicu smrtnu slučajevu. Prvi slučaj desio se u Londonu 1952. godine, gusta magla u kombinaciji sa povećanom emisijom dimnih plinova uzrokovala smrt oko 4000 ljudi. Drugi slučaj, Donora Pensilvanija u vrijeme epizode zagađenja koja je trajala 4 dana zabilježeno je 20 smrtnih slučajeva i oko 6000 bolesti povezanih sa zagađenim zrakom. U oba slučaja epizode vrlo visoke zagađenosti zraka rezultat su eksponencijalnog rasta visokih koncentracija sumpornih oksida i čestičnih tvari. Kao što je ranije navedeno, emisije zagađujućih materija u atmosferi negativano utiču na kvalitet život opće populacije stanovništva, ali i na sve druge elemente okoliša. Cilj monitoringa kvalitete zraka je praćenje koncentracija zagađujućih materija kako bi se utvrdilo stvarno (tzv. nulto) stanje zagađenja zraka a što je preduslov za izradu planova kvalitete zraka u kojima se utvrđuju mjere za dostizanje graničnih i ciljnih vrijednosti. Kvalitet zraka prati se mjerenjem koncentracija za sumpor dioksid, azot dioksid i okside azota, suspendirane čestice (PM₁₀, PM_{2.5}), olovo, benzen, ugljen monoksid, prizemni ozon, arsen, kadmijum, živu, nikl i benzo(a)piren u zraku instrumentima za automatsko mjerenje i/ili uzimanjem uzoraka i njihovom analizom. Obzirom da stacionarne mjerne stanice u Tuzli, Lukavcu i Živinicama mjere samo dio polutanata u nastavku teksta su navedene osnovne karakteristike zagađujućih tvari za koje postoje podaci o rezultatima monitoringa.

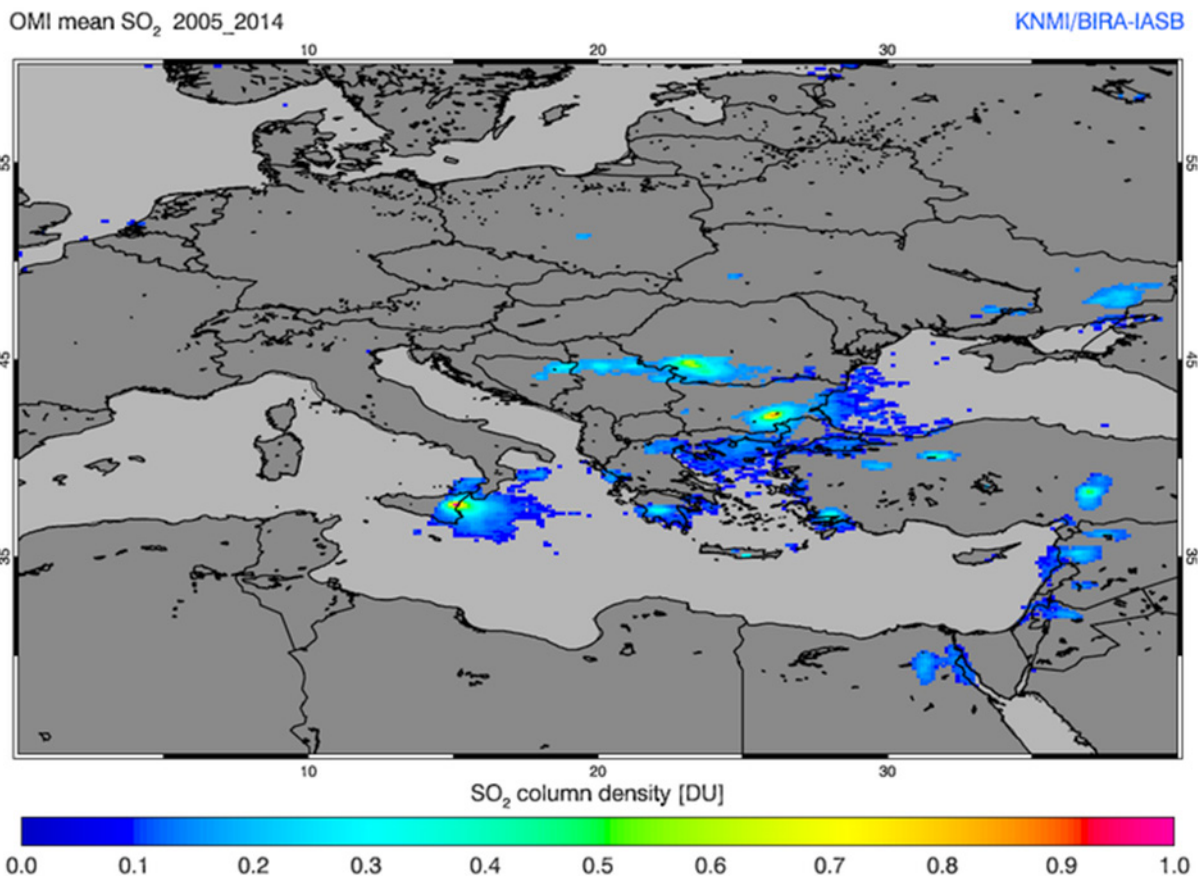
Ugljik monoksid

Ugljik monoksid (CO) je plin bez boje i mirisa koji nastaje nepotpunim sagorijevanjem goriva koje sadrže ugljik. Ne podržava gorenje, ali sam sagorijeva plavičastim plamenom. Ljudske djelatnosti u ukupnoj količini CO koji dolaze u atmosferu doprinose približno 10% i to kao rezultat nepotpunog sagorijevanja fosilnih goriva (prvenstveno iz automobilskih motora). Ostalih 90% CO dolazi u atmosferu iz prirodnih izvora gdje se CO pojavljuje zajedno sa metanom u močvarnim i drugim plinovima prilikom raspadanja u pretežno anaerobnim uslovima. Nastaje i prilikom šumskih požara erupcije vulkana, te pri hemijskim reakcijama u višoj atmosferi. Ljudskom aktivnošću potiče od 95 – 98% CO, a njegova koncentracija prelazi koncentracije u prirodi. Smatra se da su mehanizmi uklanjanja CO iz atmosfere reakcije sa drugim plinovima, apsorpcijski i biološki procesi, ali još nisu razjašnjeni u potpunosti. Ugljik dioksid je nezapaljiv bezbojan plin oštrog mirisa, 1,5 puta teži od zraka. Nije reaktivan, ali doprinosi efektu staklenika. Nastaje potpunim sagorijevanjem, to jest 90% dolazi u atmosferu kao posljedica antropogenih aktivnosti zbog sagorijevanja fosilnih goriva i 10 % uslijed prirodnih procesa kao što su npr. vulkanske aktivnosti. Ugljik dioksid je štetan jer apsorbira i emitira infracrveno zračenje, onemogućavajući širenje topline u svemir.

Sumpor dioksid

Svi oksidi sumpora su štetni za okoliš, a prvenstveno se misli na sumpor dioksid, a u manjoj mjeri na sumpor trioksid. Sumpor dioksid je bezbojan, nezapaljiv, neeksplozivan i higroskopian plin karakterističnog mirisa čije se emisije pojavljuju uslijed prirodnih (npr. vulkani) i antropogenih procesa. Prirodni izvori sumpornih oksida u atmosferi su vulkanske aktivnosti i procesi biološke dekompozicije. Ipak, najvećim dijelom se oslobađa sagorijevanjem fosilnih goriva, prvenstveno uglja u velikim postrojenjima za sagorijevanje. Sumpor dioksid u atmosferi tvori niz kompleksnih reakcija koje rezultiraju stvaranjem sumporne kiseline koja je uzročnik kiselih kiša, a koje imaju negativan uticaj na ekosistem. Na primjer, sumpor dioksid može reagovati sa hidroksilnom grupom, a produkt ove reakcije je hidrogen sulfit (HSO₃). Hidrogen sulfit dalje može stupiti u reakciju sa drugim hidroksilnim radikalom prilikom čega nastaje voda i SO₃ ili sumporna kiselina.

Kada dođe u dodir sa vodom, reaguje sa kisikom i tvori sulfatni jon SO_4^{2-} . Također, sulfatni jon nastaje kada sumpor dioksid reaguje sa vodom, a sumporna kiselina nastaje kada sumpor dioksid reaguje sa vodom. Sumporna kiselina dalje može stupiti u reakciju sa amonijakom, itd. Sumpor dioksid nastaje potpunim sagorijevanjem sumpora uz oslobađanje toplote i njegove koncentracije u atmosferi su znatno veće u odnosu na sumpor trioksid (SO_3). Sumpor trioksid u kontaktu nastaje oksidacijom SO_2 pri nižim temperaturama (od 400 C do 600 C uz prisustvo katalizatora (kao katalizator djeluju čvrste čestice). U kontaktu sa vodom vrlo brzo stvara sumpornu kiselinu. Sagorijevanjem uglja kao energenta koji se najviše koristi nastaju emisije zagađujućih tvari koje su uzrok zagađenja sa mnogo rizika za okoliš i zdravlje ljudi, a emisija SO_x , NO_x , CO_2 i VOC u otpadnom toku dimnih plinova uzrokuje slijedeće negativne učinke: povećanje prizemnih koncentracija ozona, acidifikaciju i eutrofikaciju zemljišta kroz depoziciju kiselih kiša i azota. Povećana koncentracija SO_2 na širem području sjeveroistočne Bosne i Hercegovine vidljiva je i na osnovu satelitskih mjerenja (Slika 1).



Slika 1. Koncentracije SO_2 iznad Evrope

(izvor: https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/11/Sulphur_dioxide_over_Europe_from_OMI)

Sa slike 1. vidljive su povišene koncentracije iznad prirodnih izvora emisije kakav je vulkan Etna na Siciliji ali i visoke koncentracije SO_2 iznad industrijskih područja sa nekontrolisanim emisijama SO_2 kakve su na primjer termoelektrane bez sistema za odsumporavanje, koksare, željezare itd.

Azotni oksidi

Oksidi azota ili NO_x predstavljaju uopštenu formu koja se sastoji od azot monoksida i azot dioksida, a u atmosferi se javljaju iz antropogenih izvora kao posljedica različitih procesa sagorijevanja prilikom proizvodnje električne energije (oko 21%) i transporta (oko 44%). Tokom ovih procesa sagorijevanja stvara se visoka temperatura koja izaziva reakciju između kisika i elementarnog azota iz zraka, a prilikom čega

nastaju oksidi azota. Navedeni oblici oksida azota u atmosferi se zadržavaju do 5 dana nakon čega se uslijed reakcija pretvaraju u nitratnu kiselinu. Azot dioksida, plin crvenkasto-smeđe boje, karakterističnog mirisa. S obzirom da lahko otpušta kisik jako je oksidativno sredstvo. U reakciji sa amonijakom i vodikom stvara veoma eksplozivne smjese. NO_2 u interakciji sa vodom, kisikom i drugim hemikalijama u atmosferi stvara nitratnu kiselinu koja je komponenta kiselih kiša. Spada u fitotoksične tvari, visoke koncentracije NO_x -a mogu negativno uticati na vegetaciju, uključujući oštećenje lišća i smanjeni rast.

Lebdeće čestice ($\text{PM}_{2,5}$)

Lebdeće čestice ili čestične tvari se definiraju kao bilo koja dispergirana tvar, čvrsta ili tečna čija je pojedinačna veličina veća od molekule ($0,0002 \mu\text{m}$) ali manja od $500 \mu\text{m}$. Čestične tvari emitovane direktno u atmosferu nazivaju se primarne čestice, sekundarne nastaju uslijed reakcija plinovitih zagađujućih tvari u atmosferi. Hemijski i fizikalni sastav lebdećih čestica zavisi od mjesta nastanka, godišnjeg doba i vremenskih uslova. Prema veličini čestice koje zagađuju zrak se mogu podijeliti na:

- prašina (aerodinamički prečnik $> 10 \mu\text{m}$),
- aerosoli (aerodinamički prečnik od $1 \mu\text{m}$ i $10 \mu\text{m}$) i
- dim (aerodinamički prečnik $< 1 \mu\text{m}$).

Lebdeće čestice se sastoje od: sulfata nitrata, amonijaka, natrij hlorida i dr. Čestice se identificiraju prema svom aerodinamičkom prečniku, bilo kao PM_{10} (lebdeće čestice promjera manjeg od $10 \mu\text{m}$) ili kao $\text{PM}_{2,5}$ (lebdeće čestice promjera manjeg od $2,5 \mu\text{m}$). Hemijski i fizikalni sastav lebdećih čestica zavisi od mjesta nastanka, godišnjeg doba i vremenskih uslova.

U zraku se javljaju kao rezultata prirodnih i antropogenih procesa (sagorijevanje fosilnih goriva, proizvodnja električne energije, transport, spaljivanje otpada, itd). Prirodni izvori emisija čestica je prašina nošena vjetrom, čestice nastale fitooksidacijskim reakcijama između ozona i ugljikovodika, te međusobnim reakcijama sumpor dioksida, amonijaka, sulfida, kisika i dr., šumski požari i morska maglica.

Prizemni ozon (O_3)

Ozon je jedan od najviše prisutnih fotohemijskih oksidanasa i za kojeg je propisan standard kvaliteta zraka, to je troatomni, toksični, oksidacijski i vrlo nestabilan plin karakterističnog mirisa. Visoke prizemne koncentracije ozona mogu oštetiti vegetaciju i negativno djelovati na ljudsko zdravlje. Većina ozona se nalazi u stratosferi i ima uloga štita od UV zračenja, oko 10 % se nalazi u troposferi gdje nastaje fotohemijskim procesima iz prirodnih ili antropogenih (vještačkih) izvora. Ozon u stratosferi nastaje rekombinacijom molekule kisika i atomarnog kisika dok u troposferi nastaje rekombinacijom molekule kisika sa atomarnim kisikom iz azot dioksida. Koju koncentraciju prizemni ozon će postići zavisi od početne koncentracije NO_2 , stepenom fotolize i temperaturne konstante na kojoj se odvija reakcija između azot monoksida i ozona. Na visoke koncentracije prizemnog ozona utiču antropogene emisije azot dioksida i tzv. prekursori ozona u čijem prisustvu on nastaje, to su metan, ugljik monoksid, lakoisparljivi organski spojevi (VOC), ne-metanski ugljikovi spojevi (NMVOC). Prekursori ozona nastaju u većini slučajeva iz antropogenih aktivnosti kao što su industrija, kućna ložišta, saobraćaj itd.). Upravo iz tog razloga mjerenjima su utvrđene povećane koncentracije ozona u industrijskim i urbanim centrima. Međutim svi prekursori ne utiču jednako na stvaranje ozona, u prisustvu NO_x ozon nastaje ali se i razgrađuje zbog reakcije sa NO , dok u slučaju prisustva VOC dolazi do nastajanja ozona. Ukoliko se u urbanim centrima javljaju povišene koncentracije ozona one su rezultat vrlo složenih fizičko-hemijskih procesa koje uključuju brojne hemijske reakcije, suhu depoziciju, disperzije polutanata po visini itd. Obično se ljeti uslijed izražene Sunčeve insolacije javljaju više koncentracije jer su fotohemijski procesi intenzivniji.

2.4. Posljedice zagađenja zraka

Bez obzira na veliki napredak u industrijskim sistemima za prečišćavanje otpadnih plinova, onečišćenje zraka je prisutno i šteti našem zdravlju i okolišu. U posljednjih nekoliko godina posebno ozbiljan problem predstavlja onečišćenje izazvano čestičnim tvarima (PM₁₀ i PM_{2,5}) i ozonom (O₃). Međutim, u zavisnosti od izvora, odnosno vrste emitovanih plinova zavisi i kvalitete zraka određenog područja. Uz lebdeće čestice i ozon moguće je imati i visoke koncentracije sumpor dioksida, benzena, azotnih oksida itd. U opće poznate posljedice zagađenja zraka kao što su kisele kiše, pojavu fotohemijskog smoga, prema posljednjim istraživanjima izdava se uticaj na pojavu kancerogenih oboljenja, srčanih i moždanih udara kao i pojavu osteoporoze. Andrea Baccarelli naučnica s područja zaštite okoliša na Sveučilištu Kolumbija u New Yorku izjavila je: "Desetljeća pažljivih istraživanja dokumentirala su zdravstvene rizike onečišćenja zraka, od kardiovaskularnih i respiratornih bolesti do raka i slabijeg pamćenja, a sada i osteoporoze. Među mnogim prednostima čistog zraka, što sugerira naše istraživanje, poboljšano je zdravlje kostiju i način sprječavanja fraktura." Njezina studija pokazala je da je hospitalizacija uslijed prijeloma kostiju češća u sredinama s povišenim koncentracijama PM_{2,5}.

Kisele kiše

Naziv „kisele kiše“ koristi se za sve vrste oborina (kiša, snijeg, magla, rosa i grad) i on je trivijalan naziv, te je pravilnije koristiti termin „atmosferski talog“ koji obuhvata sve kisele supstance, kao i sve druge zagađujuće materije koje su u atmosferi. Kako atmosfera sadrži u sebi ugljik dioksid koji se rastvara u kapljicama vode i prilikom toga stvara ugljičnu kiselinu koja je komponenta kiše. Shodno tome nezagađena kiša je blago kisela i njena pH vrijednost je oko 5,6. Kiša čija je pH vrijednost ispod 5,6 smatra se kiselom. Prilikom padavina kiselih kiša prvenstveno se oštećuju biljke, a najosjetljivije specije su bor, smreka i jela (igličasto drveće). Kod listopadnog drveća najviše je pogođen hrast. Procjenjuje se da je 60% svih šuma oštećeno djelovanjem kiselih kiša. Pored toga što štetno djeluju na biljke, kisele kiše imaju negativan uticaj i na vodeni ekosistem zakiseljavajući njihova slatkovodna staništa (jezera, rijeke) i izravno djelujući na njih. Kisele kiše uzrokuju i zakiseljavanje tla, a posljedica toga jeste razgradnja veoma kompleksnih spojeva koji sadrže teške metale prilikom čega dolazi do njihovog ispiranja u vodeni ekosistem. Što je niža pH vrijednost kiselih kiša, veće je oslobađanje teških metala iz tla koji su toksični za akvatične organizme, izazivajući ozbiljna oštećenja organa u kojima se akumuliraju. Također, nizak pH oštećuje škrge riba i drugih vodenih životinja, a uzrokuje i odumiranje vodenih biljaka. Međutim, neke specije su sposobne da prežive ovakve uvjete, dok su druge znatno osjetljivije. Na primjer, pH vrijednost pri kojoj pojedine vrste gmizavaca mogu preživjeti je 4, međutim biljke sa kojima se hrane su mnogo osjetljivije i one odumiru ispod 5,5.

Padavine uklanjaju zagađujuće materije iz zraka na dva načina:

1. Stvaranjem kapljica vodene pare u oblacima koje apsorbiraju zagađujuće materije, nakon sticanja određenih uslova kapljice se ukupnjavaju i padaju u obliku kiselih kiša.
2. Ispiranjem atmosfere prilikom oborina, tj. kada se sloj atmosfere u kojem se nalaze zagađujuće materije nalazi ispod oblaka koji proizvode oborine.

Ova dva načina obuhvataju mokru depoziciju. Iz atmosfere polutanti na zemlju dospijevaju i putem suhe depozicije i to na tri načina:

1. Apsorpcijom plinova na razne površine kao što su vegetacija, zemljište, vodene površine i građevine,
2. Gravitacionim taloženjem većih čestica,
3. Direktom kontaktu finih čestica sa vegetacijom i drugim površinama. Suha depozicija je od primarnog značaja u troposferi gdje se brzina i obim gravitacionog taloženja povećavaju sa veličinom čestica. Posebno je izraženo u blizini kamenoloma, asfaltnih baza i odlagališta šljake i pepela.

¹ <https://www.ecowatch.com/osteoporosis-air-pollution-2509102676.html>

Fotohemijski smog

Fotohemijski smog ili oksidirajući smog nastaje reakcijom sunčevog zračenja oksidima azota (uglavnom NO) i lakoisparljivim organskim jedinjenjima, odnosno u atmosferi zasićenoj plinovima nastalim sagorijevanjem u saobraćaju i fabrikama, pri čemu nastaju isparljiva organska jedinjenja koja se kondenzuju stvarajući gustu izmaglicu. Fotohemijski smog je obično izražen u ranim popodnevnim satima kada je zračenje najintenzivnije. Formiranje smoga započinje prisustvom primarnih atmosferskih polutanata u zraku, kakvi su oksidi azota, koji se tokom dana, fotohemijskim reakcijama pod dejstvom UV zračenja razlažu na NO i atomarni kisik. Veoma reaktivan atom kisika stupa u brojne reakcije od kojih jedan dovodi do nastanka ozona u troposferi. Kako je ova reakcija povratna, troposferski ozon se neprestano stvara i razgrađuje, a oslobođeni atom kisika oksiduje nove količine fotolitičkog NO u NO₂. Međutim, istovremeno se u atmosferi akumuliraju reaktivni nesagorjeli aldehidi i druga organska jedinjenja nastala iz linijskih i tačkastih izvora zagađivanja. Njihovim prisustvom se blokira razgradnja ozona koga ima sve više te on stupa u reakciju sa organskim molekulama. Pri tome nastaju brojne toksične supstance kao što je formaldehid, akrolein i dr. Posljedice fotohemijskog smoga su korozija metala, korozija građevina, smanjena vidljivost, iritacija očiju i disajnog sistema i zakiseljavanje zemljišta.

2.5. Prethodna istraživanja

Liangliang C., i sar., (2020) su u svom istraživanju analizirali lokalnu politiku kontrole i onečišćenja zraka u Jinanu, jednom od gradova sa najzagađenijim zrakom u Kini između 2013. i 2017. godine. U radu su procijenjene promjene u emisiji ispušnih plinova, kvaliteti zraka, smrtnosti i morbiditetu povezanih specifičnih bolesti i srodnih ekonomskih koristi. Također je projicirano da će budući scenariji koncentracije PM_{2.5} pasti na 15 µg/m³. U periodu ispitivanja u Jinanu došlo je do značajnih smanjenja emisija ispušnih plinova SO₂ i NO_x-a. Godišnje smanjenje onečišćenja okoliša bilo je 72,6% za SO₂, 43,1% za PM_{2.5} i 34,2% za PM₁₀. U 2017. godini izbjegnuto 2.317 (95% IZ: 1.533–2.842) preuranjenih smrti i 15.822 (95% CI: 8.734–23.990) povezanih slučajeva morbiditeta, što je dovelo do ukupno 317,7 milijuna USD (95% IZ: 227,5–458.1) u ekonomskim koristima. Smanjenje koncentracije PM_{2.5} na 15 µg/m³ rezultiralo bi smanjenjem 70% ukupnog smrtnog slučaja koji nije povezan s PM_{2.5} i 95% ukupnog morbiditeta vezanog za PM_{2.5}, što pretvara u 1.289,5 milijuna američkih dolara (95% CI: 825,8–1.673.6) u ekonomskim koristima. Nacionalne i lokalne mjere kontrole onečišćenja zraka donijele su značajne okolišne, zdravstvene i ekonomske koristi u prethodno teško zagađenom kineskom gradu.

U svom radu, istraživači J. Huremović i sar., (2020) su ispitivali atmosferske koncentracije čestica sa aerodinamičkim promjerom manjim od 10 µm (PM₁₀) i srodnim česticama teških metala Cd, Ni i Pb tokom sezone grijanja od 2010. do 2019. u Sarajevu. Tokom istraživanja prikupljena su 242 dnevna uzoraka PM₁₀. Srednja dnevna koncentracija PM₁₀ za sva mjerenja iznosi 75,16 µg/m³ (sa rasponom od 28,77–149,00 µg/m³). Varijacije u PM₁₀ uočene su tokom ispitivanja u različitim godinama. Također su prikazane i satne vrijednosti za mjerenja PM₁₀ tokom dvije sezone grijanja. Koncentracije metala u PM₁₀ analizirane su elektrotermalnom atomskom apsorpcijskom spektrometrijom (ETAAS). Količine koncentracija atmosferske mase ispitivanih metala u tragovima promatrane su sljedećim redoslijedom: Pb > Ni > Cd. Srednja koncentracija Pb je bila u rasponu od 1,38 do 234,00 ng/m³, Ni u rasponu od 0,87 do 42,43 ng/m³, i Cd s najnižom koncentracijom u rasponu od 0,26 do 10,09 ng/m³. Koncentracija Pb i Cd u PM₁₀ bila je snažno povezana, što ukazuje na zajednički izvor ili ovisnost ovih metala u PM₁₀ u Sarajevu.

L. Tomassetti i sar., (2019) su proveli integriranu analizu o kvaliteti zraka i politikama mobilnosti u Italiji. Cilj ovog rada je bio izgraditi okvir za dugoročno vrednovanje uticaja politika mobilnosti na kvalitetu zraka u 14 glavnih talijanskih gradova (2006–2016). Podaci o kvalitetu zraka prikupljeni su sa svih stanica za monitoring PM₁₀, PM_{2.5} i NO₂, instaliranih u skladu s europskom direktivom 2008/50/EC. Prikupljen je veliki skup podataka, uključujući kategoriju javnog prijevoza, okoliš, goriva i kategoriju privatnog voznog parka, zone s niskim emisijama i modalni rascjep. U analiziranom vremenskom periodu smanjena je i upotreba javnog prijevoza i privatna motorizacija. S obzirom na standarde klasifikacije vozila za zaštitu

okoliša, sjeverni gradovi lakše prelaze na novije automobile koji manje zagađuju (npr. Euro 5 i Euro 6). Došlo je do općeg smanjenja koncentracije PM i NO₂. Unatoč tome, prekoračenja su i dalje iznad ciljane granične vrijednosti, uglavnom u nekim sjevernim gradovima koji su uložili velika ulaganja u održivu i zajedničku mobilnost: to ukazuje na snažan utjecaj klimatskih uvjeta i drugih izvora. Dramatične razlike u odnosu CO / NO primijećene su u Torinu, dok su manje promjene zabilježene u Milanu, Rimu i Palermu.

J. Faganeli Pucer i E. Štrumbelj (2018) su ispitivali trendove onečišćavanja zraka (PM₁₀, NO₂, O₃ i SO₂) u Sloveniji, gdje je u prošlosti glavni problem bio SO₂. Sada je populacija i dalje izložena koncentracijama PM₁₀ i ozona koje su iznad preporučenog nivoa. Cilj rada je bio procijeniti smanjuju li se nivoi onečišćujućih tvari u razdoblju od 2002. do 2017. Modeliran je odnos između nivoa, meteoroloških parametara i sezonalnost. Modeli su pokazali značajnu povezanost meteoroloških parametara i nivoa PM₁₀, NO₂ i O₃, ali ne i SO₂. Trendovi PM₁₀ i SO₂ smanjivali su se na svim lokacijama za sirove i prilagođene podatke. Najveće smanjenje emisija zabilježeno je za SO₂. Trendovi NO₂ također su bili značajni i negativni na većini lokacija. Nivoi O₃ nisu pokazale značajan trend na većini lokacija. Rezultati pokazuju da su promjene u meteorološkoj situaciji najviše uticale na nivo PM₁₀, posebno tamo gdje se moglo promatrati cijelo razdoblje (2002–2017). Postoje snažni empirijski dokazi da su promjene meteoroloških parametara pridonijele smanjenju nivoa PM₁₀, dok smanjenje koncentracija NO₂ i SO₂ može se pripisati stropovima emisija.

U svom radu, A. Đozić, N. Hodžić, V. Selimbasić, V. Stuhli, M. Zohorović, H. Alihodžić (2017) su dali komparativan pregled zagađenja zraka u Tuzli i Lukavcu. Urbano područje Tuzle i Lukavca, zbog industrijskih objekata u neposrednoj blizini, spada u kategoriju najzagađenijih područja u Bosni i Hercegovini. U usporedbi sa onečišćenjem čvrstih čestica PM_{2,5}, prema podacima WHO-a za 2014. godinu, Bosna i Hercegovina je najzagađenija zemlja u Europi. Prekomjerno zagađenje zraka posebno je vidljivo tijekom zimskog razdoblja u kojem izmjerene koncentracije SO₂ i PM_{2,5} prelaze granične vrijednosti. Negativni utjecaj zagađenog zraka posebno je izražen na zdravlje opće populacije, što se očituje u povećanju broja respiratornih i srčanih bolesti. U ovom radu predstavljeni su rezultati komparativne analize kvaliteta zraka za 2016. i 2017. godinu za Tuzlu i Lukavca. Prosječne izmjerene godišnje koncentracije SO₂ i PM_{2,5} pokazuju prekoračene granične vrijednosti i porast onečišćenja zraka u 2017. Tijekom 2017. zabilježene su izuzetno visoke koncentracije SO₂ i PM_{2,5}.

Azmatullah K. I sar., (2017) su u svom istraživanju analizirali izmjerene atmosferske koncentracije sumpor-dioksida (SO₂) na stanici za monitoring kvalitete zraka u kvartu Yong-san u Seulu, Koreja, između 1987. i 2013. Nivo SO₂ poređen je s drugim istodobno mjenim onečišćujućim tvarima, uključujući metan (CH₄), ugljični monoksid (CO), azotni oksid (NO), azot dioksid (NO₂), ozon (O₃) i čestice (PM₁₀). Ako se podijeli u tri različita razdoblja (period 1: 1987–1988, period 2: 1999–2000 i period 3: 2004–2013), na osnovu srednjih vrijednosti SO₂ (6,57 ± 4,29, 6,30 ± 2,44 i 5,29 ± 0,63 ppb) pokazano je neznatno smanjenje tokom čitavog perioda ispitivanja. Otkriveno je da su koncentracije SO₂ snažno povezane s drugim polutantima kao što su CO (r = 0,614, p = 0,02). Također je jasno prikazan sezonski trend po pitanju nivoa SO₂ posebno u periodima 2 i 3, koji odražavaju kombinirane uticaje kućnog grijanja sa briketima i meteoroloških uvjeta. Iako je tokom trajanja 27-godišnje studije postignuto samnjenje koncentracije od 16%, ono je značajno ako se uzme u obzir brza urbanizacija, porast broja stanovništva od 83,2% i brza industrijalizacija koja se dogodila u tom periodu.

U navedenom istraživanju od strane P. Thunis i sar., (2017) pružene su informacije o porijeklu zagađenja zraka (PM_{2,5}) u 150 evropskih gradova. Također se naglašava važnost poduzimanja akcija specifičnih za grad na gradskoj razini, kao i važan doprinos poljoprivrednih aktivnosti u kvaliteti urbanog zraka. Mnogi evropski gradovi pate od loše kvalitete zraka i dalje prelaze evropske standarde propisane Direktivom o kvaliteti zraka i smjernicama koje preporučuje Svjetska zdravstvena organizacija (SZO). To je slučaj kod sitnih čvrstih čestica (PM₁₀), Koncentracije koje premašuju graničnu vrijednost EU i smjernice SZO u velikim dijelovima Evrope u 2015 su za čvrste čestice PM₁₀ (EEA, 2017). Iako je samo 6% stanica za praćenje premašilo granicu EU PM_{2,5} (godišnji prosjek od 25 µg/m³) u 2015. godini (EEA, 2017), oko 75% njih premašilo je smjernice SZO (godišnji prosjek od 10 µg/m³). PM_{2,5} je odgovoran za štetne zdravstvene uticaje i preranu smrt, a trenutna procjena sugerira prosječni gubitak života od oko 8 do 10 mjeseci u najzagađenijim evropskim regijama.

A. Rađenović i sar., (2017) su prikazali rezultate odabranih hrvatskih i indijskih znanstvenih radova koji se bave onečišćenjem zraka, posebno one sa naglaskom na sumpor i aerosole povezane s elektranama na ugljen. Dvije zemlje u osnovi se razlikuju s obzirom na njihovu veličinu, zemljopisna obilježja, povijest, upravljanje i industrijski potencijal. Međutim, obje zemlje imaju određene veze sa pridobivanjem fosilnih goriva i njihovom upotrebom u elektranama i industriji već desetljećima. Prikazani su različiti znanstveni pristupi u istraživanjima te državne politike u legislativi onečišćenja zraka.

U svom radu, istraživači A. Đozić, V. Selimbašić, N. Hodžić, F. Andrejaš, V. Stuhli, H. Alihodžić (2017) su proučavali jedan od najznačajnijih problema sa kojim se danas svijet suočava tj. onečišćenje zraka koji ima negativan uticaj na okolinu, a time i na ljudsko zdravlje. Okruženi brojnim industrijskim postrojenjima na udaljenosti manjoj od pedeset kilometara urbane sredine Tuzle i Lukavca se nalaze među najzagađenijim u Bosni i Hercegovini, ali i šire. Tokom zimskog perioda prisutno je prekomjerno zagađenje zraka gdje izmjerene koncentracije štetnih materija višestruko prelaze granične vrijednosti. Povišene ambijentalne koncentracije uzrokovane emisijama zagađujućih materija iz različitih izvora predstavljaju opasnost po zdravlje ljudi, a najranjivije skupine su djeca, starije osobe, te oboljeli od respiratornih i srčanih bolesti. Shodno tome, vrlo je važno staviti poseban akcenat na zagađenje zraka u Tuzli i Lukavcu jer predstavlja značajan problem koji se ne rješava, a uzrokuje znatne i nepopravljive štete u okolini i čovjekovom životu. U radu su prikazani rezultati kvalitete zraka dobiveni sa stacionarnih mjernih stanica za sljedeće parametre: $PM_{2.5}$ i SO_2 . U zimskom periodu zabilježene su ekstremno visoke satne koncentracije SO_2 od $1182,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $PM_{2.5}$ od $949,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

G. Iorga (2016) je u svom radu prezentovala opći prikaz onečišćenja zraka i kvaliteta zraka, glavnih zagađivača i njihove izvore, uticaje kao i trenutne standarde kvalitete zraka i indeksima kvalitete zraka širom svijeta; kako se prikupljaju, prikupljaju i analiziraju skupovi podataka i kako se zatim interpretiraju mjerenja. Također su navedeni nedavni radovi koji sadrže ažurirane i detaljne tehničke rasprave za svako obrađeno pitanje i dodatne web resurse. Zatim, u međunarodnom kontekstu nepotpunih informacija o zagađenju zraka u Istočnoj Europi, ovo istraživanje sadrži dio koji predstavlja procjenu zagađenja zraka na nekim mjestima u Rumunjskoj, zajedno s njegovim razvojem od početka praćenja do danas. Dostupnost koncentracija PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x , SO_2 i CO ovisi o mjestu i zagađivaču i varira od 3 do 9 godina. Ispitivanje vremenske i prostorne varijacije razine onečišćujućih tvari, kao i odnosa PM_{10} i $PM_{2.5}$ s izmjerenim plinovitim zagađivačima zraka i meteorološkim varijablama, uključuje korelacijsku i linearnu regresijsku analizu i vremensko-trendovsku analizu; koeficijent divergencije izračunat je za provjeru razlika između onečišćenja zraka na inter-mjestima i sezonskih promjena onečišćujućih tvari unutar mjesta.

A. Jeričević i sar., (2016) su istraživali onečišćenje zraka uzrokovano lebdećim česticama aerodinamičkog promjera $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) i promjera $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ($PM_{2.5}$) na temelju raspoloživih mjerenja u Hrvatskoj. Analizirane su satne i dnevne PM_{10} i $PM_{2.5}$ masene koncentracije na urbanim i ruralnim pozadinskim postajama. Korištena su urbana i industrijska mjerenja PM_{10} koncentracija od 2006. do 2014. godine i ruralna pozadinska mjerenja PM_{10} i $PM_{2.5}$ od 2011. do 2014. kako bi se utvrdile glavne značajke regionalnog i lokalnog onečišćenja zraka uzrokovano česticama i kako bi se procijenila razina onečišćenja zraka u odnosu na propisane granične vrijednosti (CAFÉ Direktiva; EK, 2008). Utvrđene su značajne razlike između razina urbanih i ruralnih PM_{10} koncentracija na obali i na kontinentu, s visokim PM_{10} koncentracijama na kontinentalnom području i značajno nižim PM_{10} vrijednostima na obali. Pronađena je znatno različita postorna aspodjela ruralnih pozadinskih PM koncentracija s relativno visokim godišnjim srednjim vrijednostima od $\sim 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u primjerice Kopačkom ritu do samo $\sim 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na Humu na otoku Visu. Jaki prostorni PM gradijenti usmjereni od kontinenta prema obali posljedica su izrazitih klimatoloških različitosti između unutrašnjosti i obale u Hrvatskoj, te različitih upravljačkih fizikalnih procesa koji utječu na PM koncentracije u ta dva područja (primjerice obalne cirkulacije, depozicije, mokrog taloženja i resuspenzije). Nadalje različiti kompleksni kemijski mehanizmi koji ovise o iznosu emisija i kemijskom sastavu PM čestica kao i o meteorološkim parametrima (količini sunčevog zračenja, relativnoj vlažnosti itd.) različito utječu na stvaranje sekundarnog organskog aerosola u obalnom i kontinentalnom graničnom sloju. Istražene su vrijednosti omjera ruralnih $PM_{2.5}$ i PM_{10} masenih koncentracija ($PM_{2.5}/PM_{10}$) na svim postajama i uspoređene sa rezultatima drugih istraživanja u Europi. Ruralni $PM_{2.5}/PM_{10}$ omjeri na različitim postajama su varirali od 0,6 do 0,9 tijekom toplog dijela godine dok su tijekom hladijeg dijela godine omjeri bili viši i nalazili se u rasponu vrijednosti od 0,85 do 0,98. Prostorni gradijent ruralnih

PM_{2.5}/PM₁₀ vrijednosti usmjeren je od obale prema kontinetu što upućuje da su u obalnom području PM koncentracije pretežno sastavljene od finih čestica. Analizirane su mjerene satne vrijednosti temperature, relativne vlažnosti i vjetra u razdoblju od 2006. do 2014. zajedno s odgovarajućim PM koncentracijama te je izvršena inicijalna analiza izvora onečišćenja na temelju dvodimenzionalnih polarnih prikaza.

Istraživači C. B.B. Guerreiro i sar., (2015) su u ovom radu predstavili pregled i analizu kvaliteta zraka u Evropi od 2002. do 2011. godine, te su dali i pregled najnovijih otkrića i procjena izloženosti gradskog stanovništva i ekosistema zagađenju zraka u Evropi. Procjena stanja i trendova kvaliteta zraka temeljen je na mjerenjima ambijentalnog zraka, u kombinaciji sa podacima o antropogenim emisijama i njihovim trendovima. Analiza obuhvata do 38 europskih zemalja, uključujući države članice EU i zemlje članice Evropske agencije za okoliš (EEA) od 2011. godine.

U svom radu, E. Medić i sar., (2015) su prikazali monitoring kvaliteta zraka - sumarna srednjemjesečna mjerenja za 2015. godinu. Relevantnost rezultata monitoringa u Federaciji BiH podrazumijeva minimalan obuhvat podataka >75% sa mjernih stanica, definisano Pravilnikom o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definisanju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka. Zbog nedovoljnog obuhvata podataka (>75%) izostaje relevantna procjena stanja kvaliteta zraka na godišnjem nivou za područja grada Sarajeva i Tuzlanskog kantona. Mjerne stanice koje nisu nadležnoj instituciji (Federalnom hidrometeorološkom zavodu) dostavile podatke mjerenja za 2015. godinu, nisu bile obuhvaćene u ovom istraživanju (Mostar, Goražde). Rezultati obrade izmjerenih parametara kvaliteta zraka pokazali su da je nakritičniji period bio period grejne sezone. Kod srednjemjesečnih koncentracija emisija SO₂ prekoračene su godišnje granične i tolerantne vrijednosti u Zenici (SO₂ > 340µg/m³) i Kaknju (SO₂ > 330µg/m³). Granične godišnje vrijednosti koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ prekoračene su u Zenici (PM₁₀ > 125 µg/m³). Maksimalne srednjemjesečne vrijednosti lebdećih čestica izmjerene su na mjernim stanicama u Tuzli (PM_{2.5} 170 µg/m³) i Sarajevu (PM_{2.5} 170 µg/m³).

Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) klasificira onečišćenje zraka kao najveći ekološki rizik za zdravlje u Evropi². Onečišćenje zraka u EU-u u prosjeku prouzroči više od 1000 slučajeva preuranjene smrti dnevno, što je više od deset puta broja stradalih u saobraćajni nesrećama³. Evropska agencija za okoliš (EEA) procjenjuje da se (za godinu 2014.) 399 000 preranih smrti u Europskoj uniji može pripisati izloženosti sitnim lebdećim česticama (PM_{2.5}), 75 000 izloženosti azotnom dioksidu (NO₂), a 13 600 izloženosti prizemnom ozonu (O₃). Iako se brojke u određenoj mjeri preklapaju (npr. s obzirom na to da je NO₂ prekursor PM_{2.5}) i nije moguće jednostavno ih zbrojiti, svakako upućuju na to da zagađenje zraka svake godine prouzročuje više od 400 000 preranih smrti u EU-u⁴.

² WHO, „Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease ” (Onečišćenje zraka: cjelovita procjena izloženosti i tereta bolesti), 2016., str. 15 i EEA, „Air quality in Europe — 2017 report” (Kvaliteta zraka u Evropi — izvješće za 2017. godinu), 2017., str. 12.

³ Priopćenje za tisak Evropske komisije od 16. studenoga 2017.

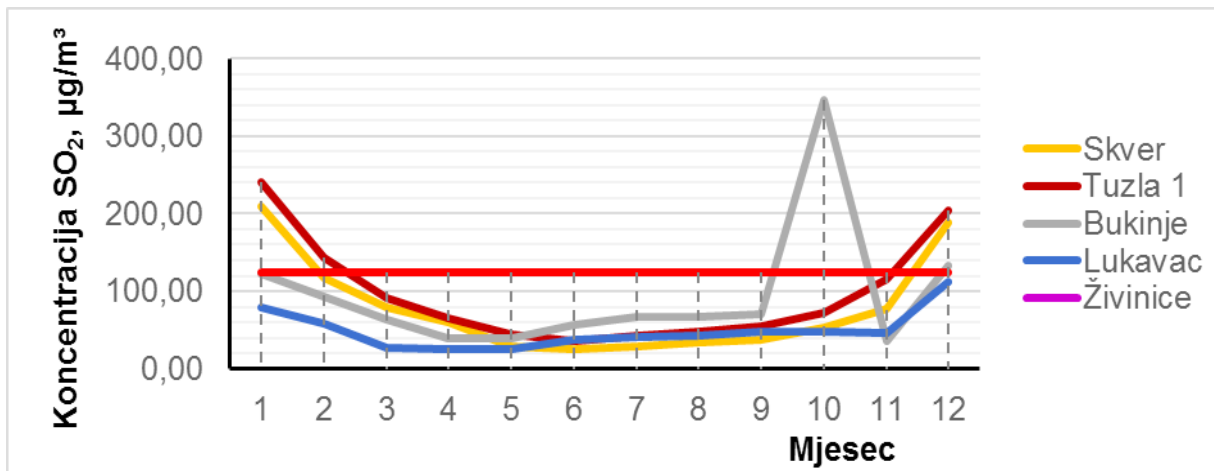
⁴ <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/hr/>

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Onečišćenje zraka uzrokuje štete u okolini, zdravlju ljudi, ali i kvalitetu života te ga je nemoguće ignorirati. Razvoj industrije koju nije pratilo odgovarajuće prečišćavanje otpadnih tokova rezultiralo je porastom emisija u zrak, a rezultat toga je narušen kvalitet zraka i povećan broj oboljenja kod ljudi. S obzirom da je kvalitet zraka vrlo važan faktor okoliša koji može imati negativan uticaj na sve sastavnice okoline ovom okolinskom aspektu je potrebno posvetiti posebnu pažnju. Prema BAT-u (najbolje raspoložive tehnike), najvažnije emisije kojima treba posvetiti pažnju su: SO₂, NO₂, lebdeće čestice, te ostale emisije kao što su: organski spojevi, CO, teški metali, amonijak, hlor itd. Shodno tome, monitoring kvalitete zraka u urbanim i industrijskim područjima je prvi korak ka rješavanju onečišćenja zraka. Za ocjenu stanja kvalitete zraka na području Tuzle, Lukavca i Živinica u periodu od 2016-2019. godine korišteni su podaci dobiveni od Kantonalnog ministarstva prostornog uređenja i zaštite okolice. Ciljni polutanti koji su bili predmet analize su: SO₂, PM_{2,5}, NO₂ i O₃. U nastavku su prikazani rezultati mjerenja koncentracija SO₂, NO₂, O₃ i lebdećih čestica PM_{2,5}, sa mjernih stanica u Tuzli, Lukavcu i Živinicama za period od 2016. - 2019. godine. Tuzla posjeduje tri mjerna mjesta na različitim lokalitetima. Mjerna stanica „Skver“ se nalazi na raskrsnici u strogom centru grada Tuzle, ulica Kulina bana, zatim mjerna stanica „Tuzla 1“ se nalazi u neposrednoj blizini Bosanskog kulturnog centra u novom dijelu grada, a mjerna stanica „Bukinje“ u ulici Vojka Milovanovića rezidencijalno naselje Bukinje. Mjerna stanica „Lukavac“ se nalazi u centru grada Lukavac u blizini dječijeg vrtića. Mjerna stanica „Živinice“ je smještena je u središtu grada Živinice u blizini sportske dvorane.

3.1. Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO₂ u 2016. godini

Tip analizatora pomoću koga je izvršeno mjerenje koncentracija SO₂ na svim mjernim mjestima jeste API Teledyne - 100. Na slici 2 su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti u 2016. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli (Skver, Tuzla 1, Bukinje), Lukavcu i Živinicama.



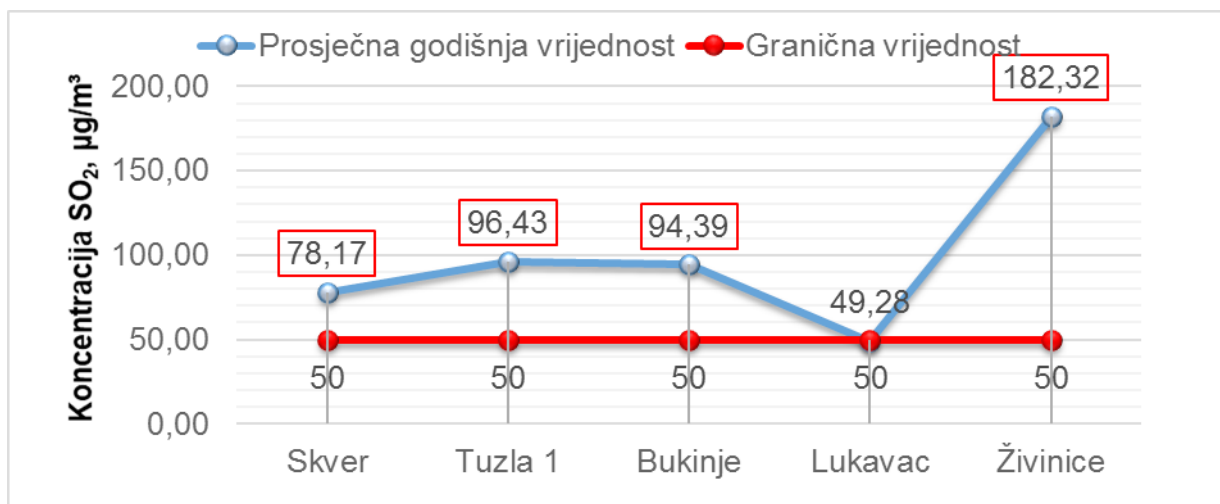
Slika 2. Prosječne mjesečne koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

S obzirom da je mjerna stanica „Živinice“ počela sa radom u decembru 2016. godine u ovoj studiji je utvrđen kvalitet zraka na osnovu zabilježenih podataka i to u periodu od 13. - 31.12.2016. godine. Dnevna granična vrijednost za SO₂ iznosi 125 µg/m³ i ona smije biti prekoračena 3 puta u toku jedne kalendarske godine. Iako je na ovom mjernom mjestu monitoring SO₂ vršen samo 19 dana, zabrinjavajuća činjenica jeste da se od početka rada na navedenom mjernom mjestu dogodilo 16 dnevnih prekoračenja, sa izmjenom najvećom dnevnom koncentracijom (14.12.2016. godine) od 331,81 µg/m³ što je 2,6

puta više od propisane granične vrijednosti. Na osnovu dobivenih prosječnih mjesečnih vrijednosti za SO₂, očito je da su tokom zimskog perioda povećane koncentracije ovog kriterijalnog polutanta, slika 3. Prateći kvalitet zraka u Tuzli i Lukavcu prethodnih godina evidentan je porast koncentracija sumpor dioksida kao i broja dnevnih prekoračenja granične vrijednosti. Kao što je prethodno navedeno, tokom jedne kalendarske godine ova vrijednost bi smjela biti prekoračena maksimalno 3 puta međutim u 2016. godini dogodilo se ukupno 212 dnevnih prekoračenja na mjernim mjestima u Tuzli i Lukavcu što je veoma zabrinjavajuće. U tabeli 3 je prikazan broj satnih i dnevnih prekoračenja, najviša dnevna i satna koncentracija svim mjernim mjestima. Udio validnih mjerenja veći od 90% je ostvaren na mjernoj stanici Skver i Tuzla 1. Na osnovu analize dobivenih podataka na predmetnim mjernim mjestima u Tuzli i Lukavcu evidentirani su periodu kada nije bilo mjerenja. Tako na MS „Skver“ nema zabilježenih mjerenja za 12 dana. Kada je riječ o MS „Bukinje“ mjerenja nije bilo 62 dana. Također na MS „Lukavac“ nije bilo mjerenja 45 dana. Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na: MS „Skver“ 418,42 µg/m³ dana 23.12. 2016., MS „Tuzla 1“ 436,19 µg/m³ dana 09. 12. 2016., MS „Bukinje“ 386,75 µg/m³ dana 19.12.2016., i MS „Lukavac“ 252,64 µg/m³ dana 17.12.2016. godine.

Tabela 3. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija SO₂ za sve mjerne stanice za 2016. godinu

Mjerna stanica	Udio validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	92,3	197	1056	69	418,42
Tuzla 1	97	397	1637	93	436,19
Bukinje	80,6	75	1747	37	386,75
Lukavac	84,2	49	827	13	252,64
Živinice	4,6	30	706	16	331,81

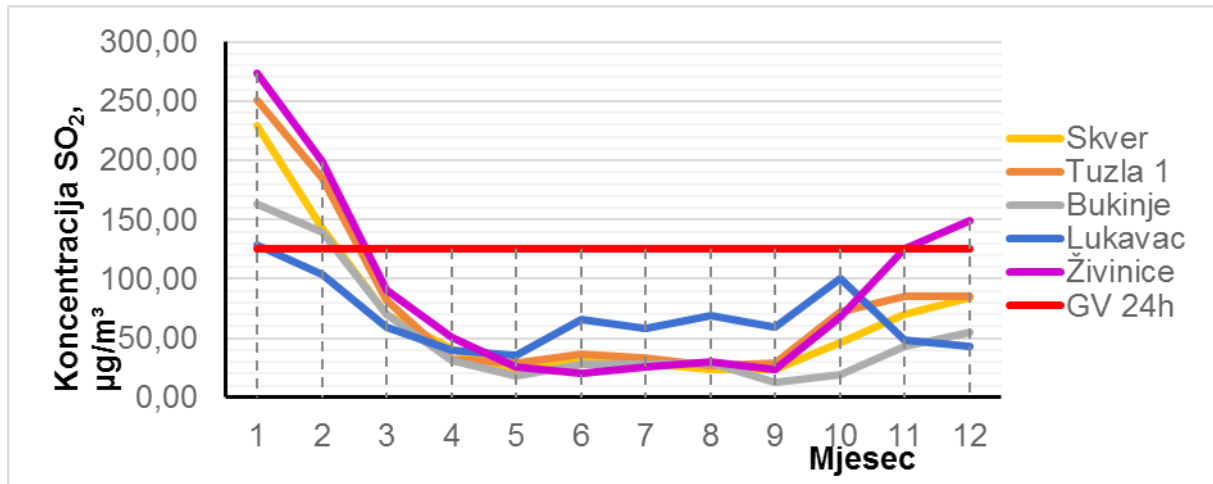


Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

Prosječne godišnje koncentracije tokom 2016. godine za SO₂ su iznad propisane granične vrijednosti koja iznosi 50 µg/m³ na mjernim mjestima u Tuzli i Živinicama (Slika 3). Sve zemlje EEA-39 (osim Lihtenštajna i Kosova) kao i Andora je izvijestila o mjerenjima SO₂ s obuhvatom podataka preko 75% u 2016. godini s oko 1600 stanica ukupno. Osim u pet europskih zemalja (Bosna i Hercegovina, Bugarska, Norveška, Srbija i Turska), koncentracije SO₂ uglavnom su znatno ispod graničnih vrijednosti za zaštitu ljudskog zdravlja. U 2016. godini na 17 stanica (od 29) zabilježene su koncentracije veće od satne granične vrijednosti. I 23 stanice (od 30) su registrirale koncentracije veće od dnevne granične vrijednosti za SO₂.

3.2. Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO₂ u 2017. godini

Na sljedećem grafičkom prikazu (Slika 4) su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti u 2017. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama.

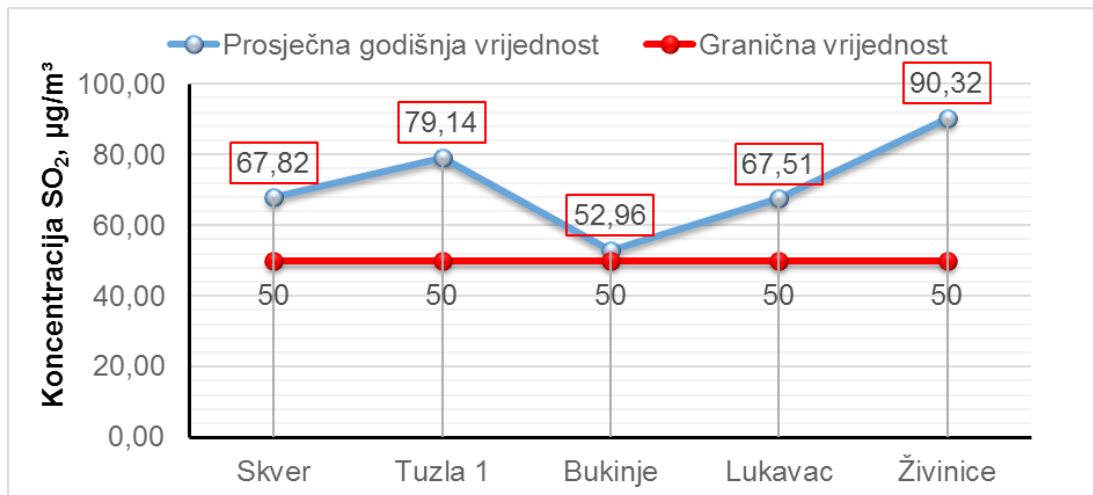


Slika 4. Prosječne mjesečne koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

U tabeli 4 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija SO₂ za sve mjerne stanice za 2017. godinu. Dozvoljeni broj prekoračenja satne granične vrijednosti koncentracije SO₂ (350 µg/m³) na svim mjernim mjestima je prekoračen (24 puta u toku godine) kao i dozvoljeni broj prekoračenja satne tolerantne vrijednosti koncentracije SO₂ (410 µg/m³), te dozvoljeni broj prekoračenja dnevne granične vrijednosti koncentracije SO₂ (3 puta u toku godine). Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na: MS „Skver“ 528,47 µg/m³ dana 31.01.2017., MS „Tuzla 1“ 688,97 µg/m³ dana 29.2.2017., MS „Bukinje“ 490,35 µg/m³ dana 30.01.2017., te MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 508,1 µg/m³ dana 30.01.2017. i 728,28 µg/m³ dana 29.01.2017. godine. U odnosu na prethodnu godinu kada je na mjernim stanicama bilo znatno više prekida mjerenja koncentracije SO₂ u 2017. godini evidentirano je 5 dana bez mjerenja i to na MS „Skver“ i 4 dana na MS „Živinice“. Kada je riječ o MS „Bukinje“, MS „Tuzla 1“, MS „Lukavac“ mjerne stanice su radile bez prekida tokom čitave godine. Prema tome, udio validnih mjerenja je bio veći od 90% što je minimalna raspoloživost podataka za godišnju ocjenu.

Tabela 4. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija SO₂ za sve mjerne stanice za 2017. godinu

Mjerna stanica	Udio validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja GV	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja GV	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	96	176	1441	43	528,47
Tuzla 1	99	330	1755	66	688,97
Bukinje	99	134	1298	35	490,35
Lukavac	99	187	1552	38	508,1
Živinice	97	311	1351	81	728,28



Slika 5. Prosječne godišnje koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

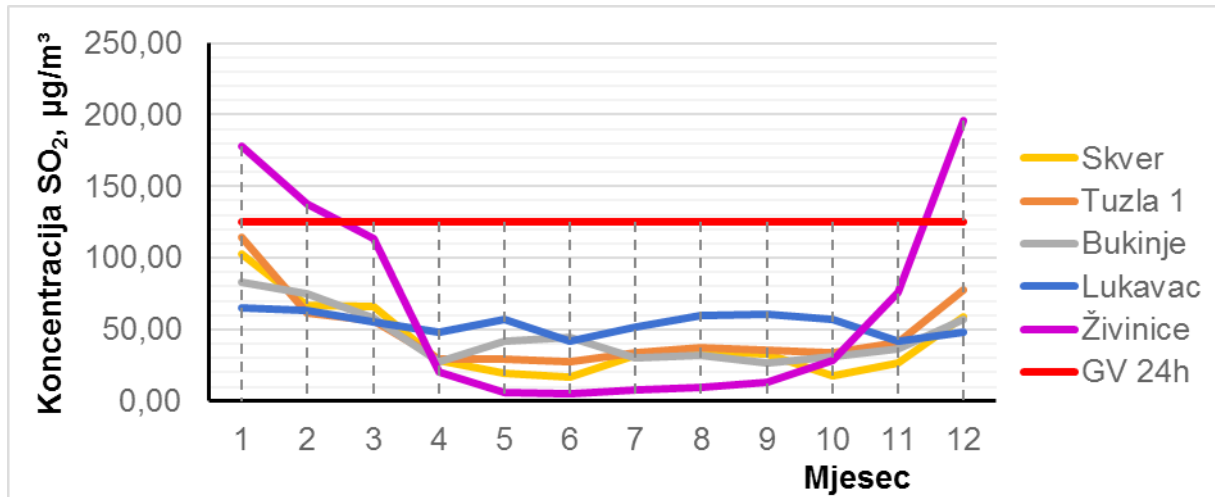
Prosječne godišnje koncentracije tokom 2017. godine za SO₂ su iznad propisane granične na svim mjernim mjestima u (Slika 5). Najveća prosječna godišnja vrijednost od 90,32 µg/m³ je zabilježena u Živinicama što je 1,8 puta više od propisane granične vrijednosti.

3.3. Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO₂ u 2018. godini

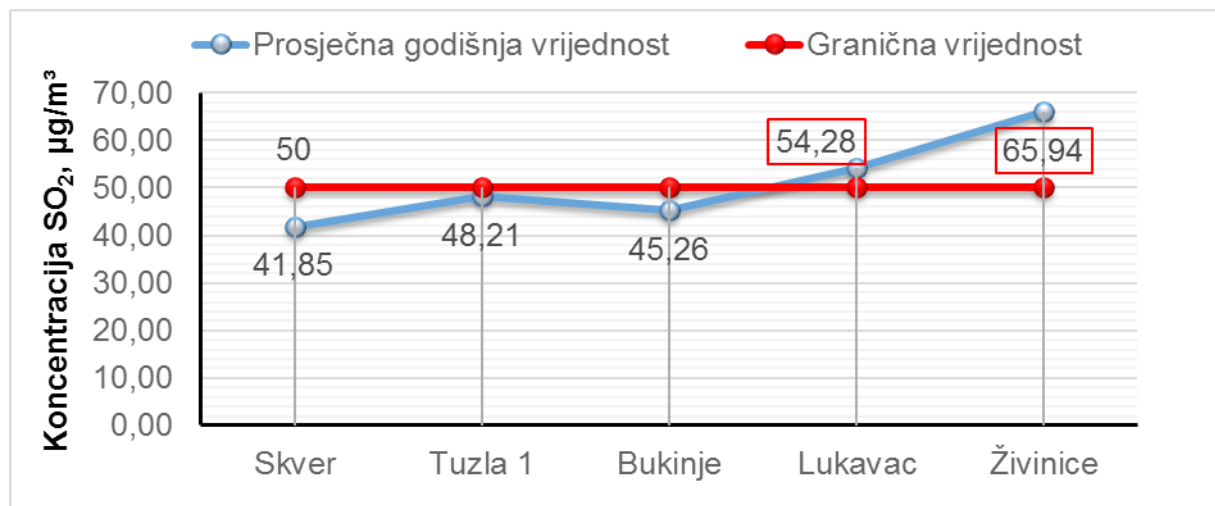
Na sljedećem grafičkom prikazu (Slika 6) su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti u 2018. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama. Na svim mjernim stanicama je prekoračen dozvoljeni broj prekoračenja satne granične vrijednosti koncentracije SO₂ (350 µg/m³), te dozvoljeni broj prekoračenja (3 puta u toku godine) dnevne granične vrijednosti koncentracije SO₂. U tabeli 4 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija SO₂ za sve mjerne stanice za 2017. godinu. Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na: MS „Skver“ 258,5 µg/m³ dana 29.01.2018., MS „Tuzla 1“ 260,63 µg/m³ dana 31. 01. 2018., MS „Bukinje“ 256,54 µg/m³ dana 05.02.2018., te MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 195,1 µg/m³ dana 06.02.2018. i 367,15 µg/m³ dana 22.12.2018. godine. Procenat redukcije dnevnih prekoračenja na svim mjernim stanicama u odnosu na prošlu godinu iznosi 49,42%. U odnosu na 2017. godinu kada je bilo znatno manje prekida mjerenja koncentracije SO₂ u 2018. godini evidentirano je 49 dana bez mjerenja i to na sljedećim lokacijama: 3 dana na MS „Skver“, 7 dana MS „Živinice“, 22 dana MS „Bukinje“, te 4 dana MS „Lukavac“. Kada je riječ o MS „Tuzla 1“ nije bilo prekida u radu tokom čitave godine. Prema tome, udio validnih mjerenja na svim mjernim mjestima je bio veći od 90 % (Tabela 4). Prosječna godišnja koncentracija tokom 2018. godine za SO₂ je prekoračena u Lukavcu i Živinicama i iznosila je 54,28 µg/m³ odnosno 65,94 µg/m³ (Slika 7).

Tabela 4. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija SO₂ za sve mjerne stanice za 2018. godinu

Mjerna stanica	Udio validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja GV	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja GV	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	98	26	827	10	258,5
Tuzla 1	99	50	1138	25	260,63
Bukinje	92	53	749	9	256,54
Lukavac	95	89	927	6	195,1
Živinice	97	147	758	83	367,15



Slika 6. Prosječne mjesečne koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini



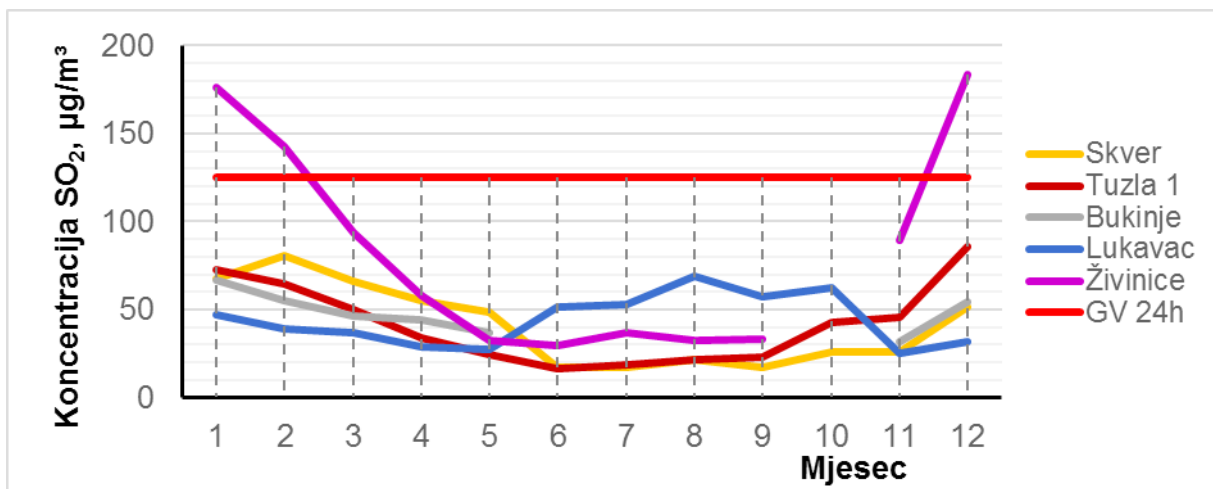
Slika 7. Prosječne godišnje koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini

3.4. Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO₂ u 2019. godini

Na slici 8 su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti u 2019. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama. Na svim mjernim stanicama je prekoračen dozvoljeni broj prekoračenja satne granične vrijednosti koncentracije SO₂ (350 µg/m³), te dozvoljeni broj prekoračenja (3 puta u toku godine) dnevne granične vrijednosti koncentracije SO₂. U tabeli 5 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija SO₂ za sve mjerne stanice za 2019. godinu. Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na: MS „Skver“ 147,05 µg/m³ dana 05.12. 2019., MS „Tuzla 1“ 244,42 µg/m³ dana 05.12. 2019., MS „Bukinje“ 271,74 µg/m³ dana 05.12. 2019., te MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 161,98 µg/m³ dana 30.03.2019. i 317,41 µg/m³ dana 17.01.2019. godine. Procenat redukcije dnevnih prekoračenja na svim mjernim stanicama u odnosu na prošlu godinu iznosi 38,54%.

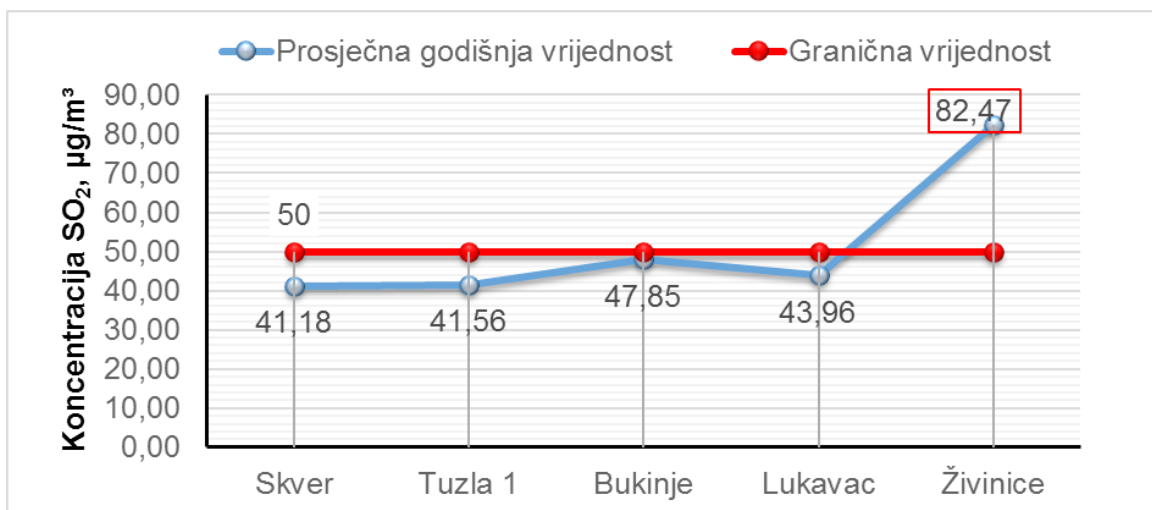
Tabela 5. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija SO₂ za sve mjerne stanice za 2019. godinu

Mjerna stanica	Udio validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja GV	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja GV	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	95	5	616	12	147,05
Tuzla 1	99	10	831	25	244,42
Bukinje	51	5	1523	9	271,74
Lukavac	99	4	785	6	161,98
Živinice	86	72	686	83	317,41



Slika 8. Prosječne mjesečne koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

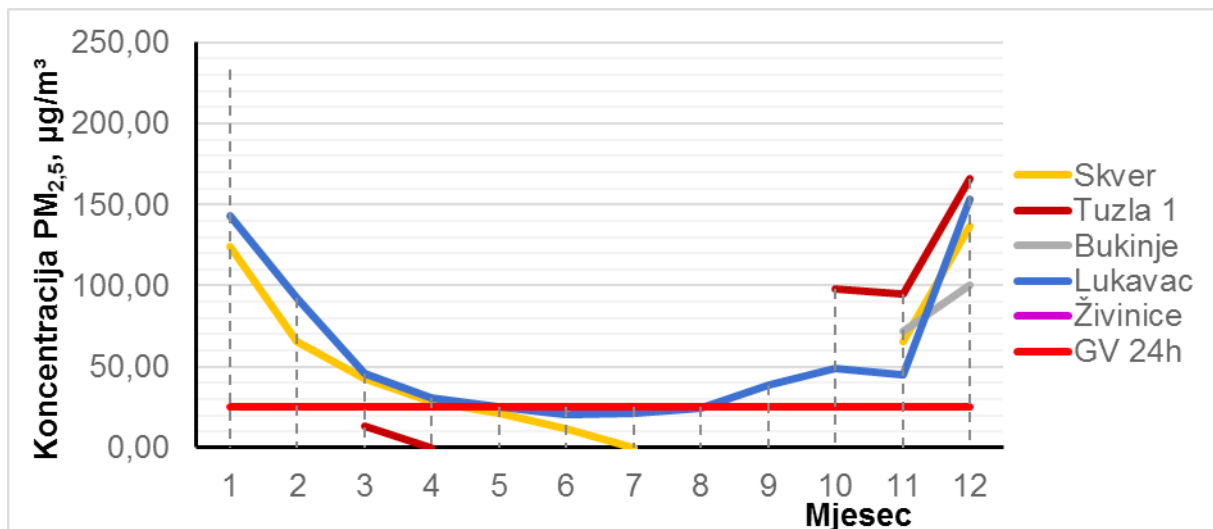
Na osnovu analize dobivenih podataka na predmetnim mjernim mjestima u Tuzli i Lukavcu evidentirani su periodu kada nije bilo mjerenja. Tako na MS „Skver“ nema zabilježenih mjerenja za 12 dana, a na o MS „Bukinje“ mjerenja nije bilo 175 dana. Također na MS „Živinice“ nije bilo mjerenja 48 dana i MS „Lukavac“ 2 dana. Na MS „Tuzla 1“ nije bilo prekida rada tokom čitave godine. Prosječne godišnje koncentracije tokom 2019. godine za SO₂ su iznad propisane granične vrijednosti na mjernom mjestu u Živinicama 82,47 µg/m³ (Slika 9).



Slika 9. Prosječne godišnje koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

3.5. Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM_{2,5} u 2016. godini

Zbog posljedica koje imaju na ljudsko zdravlje, okoliš ali i klimatske promjene tokom ove analize nudi se pregled uticaja kako bi se prikazala važnost smanjenja razine PM_{2,5}. Mjerenje koncentracije čestica sa aerodinamičkim promjerom manjim od 2,5 μm predstavlja vrlo zahtjevan zadatak s obzirom da mjerni podatak ne odgovara određenoj fizičkoj ili hemijskoj komponenti zraka međutim definirana je samom metodom mjerenja. Rezultati mjerenja PM_{2,5} za 2016. godinu prikazani su na slici 10.



Slika 10. Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

Tokom 2016. godine mjerenje je vršeno neredovno, naročito na lokacijama Tuzla 1, Bukinje i Živinice. Na osnovu predstavljenog dijagrama možemo uočiti prekid rada mjerne stanice smještene na lokaciji Živinice i Bukinje u trajanju od jedanaest mjeseci (Januar – Decembar) odnosno deset mjeseci (Januar – Novembar), dok je na mjernim stanicama Tuzla 1 izvršeno mjerenje u trajanju od četiri mjeseca.

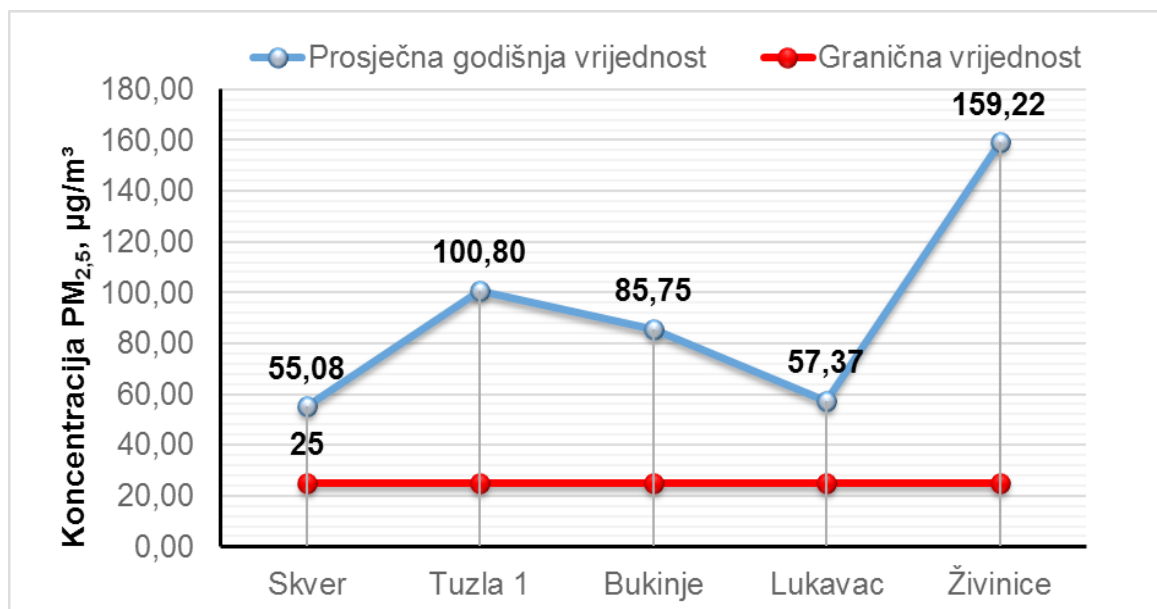
Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} u zimskom periodu su izrazito visoke u odnosu na ljetni. Glavni uzrok epizoda zagađenja pri kojima se javljaju ekstremno visoke koncentracije PM_{2,5} su akcidenti u industrijskim pogonima. Pored emisija iz industrijskih postrojenja koji predstavljaju primarni izvor PM_{2,5} kao sekundarni doprinos ukupnom onečišćenju može se izdvojiti linijski izvor (saobraćaj) i difuzni (individualna kućna ložišta). U tabeli 6 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija PM_{2,5} za sve mjerne stanice u 2016. godini, a na osnovu prikazanih vrijednosti možemo zaključiti da je na svim mjernim mjestima osim Lukavca ostvareno manje od 75% validnih mjerenja.

Takođe, na osnovu raspoloživih podataka visoke koncentracije se bilježe u jutarnjim i popodnevnim satima sa vrhuncem od 15 do 16 h. Najveće dnevne koncentracije zabilježene su na lokalitetu Skver (18.12.2016. godine, 309,52 μg/m³), Tuzla 1 (11.12.2016. godine, 307,36 μg/m³), Bukinje (18.12.2016. godine, 196,9 μg/m³), Živinice (10.12.2016. godine, 261,97 μg/m³), te u Lukavcu (18.12.2016. godine, 381,44 μg/m³).

Tabela 6. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija PM_{2,5} za sve mjerne stanice za 2016. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerjenja (%)	Broj dana sa dnevnom PM _{2,5} > 50 µg/m ³	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)
Skver	54	82	309,52	540
Tuzla 1	20	63	307,36	523
Bukinje	9	27	196,9	660
Lukavac	95	138	381,44	949
Živinice	6	20	261,97	470

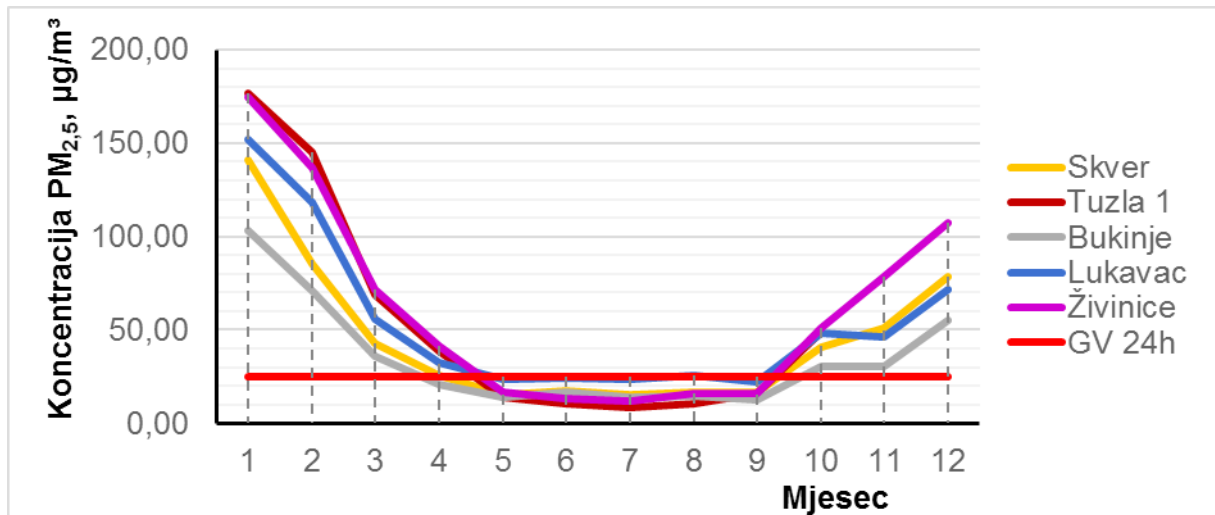
Prema važećem pravilniku satna granična vrijednost nije definisana, međutim prosječna godišnja ne smije preći 25 µg/m³. Na osnovu izvršenih mjerjenja na svih pet mjernih stanica je došlo do prekoračenja graničnih vrijednosti na godišnjem nivou (Slika 11). Važećim pravilnikom propisano je postupno smanjenje ambijentalnih koncentracija PM_{2,5} do 2021. godine potrebno je dostići 25 µg/m³ za Stadijum 1 a do 2024. godine 20 µg/m³ za Stadijum 2.



Slika 11. Prosječne godišnje koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

3.6. Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM_{2,5} u 2017. godini

Na osnovu predstavljenog dijagrama (Slika 12) možemo uočiti kao i prethodne godine, da su prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} u zimskom periodu izrazito visoke u odnosu na ljetni. Najveće dnevne koncentracije u 2017. godini su iznosile: na lokalitetu Živinice (01.02.2017. godine, 464,54 µg/m³), Lukavac (01.02.2017. godine, 431,43 µg/m³), Tuzla 1 (01.02.2017. godine, 321,15 µg/m³), Bukinje (01.02.2017. godine, 280,95 µg/m³), te Skver (31.01.2017. godine, 360,35 µg/m³).



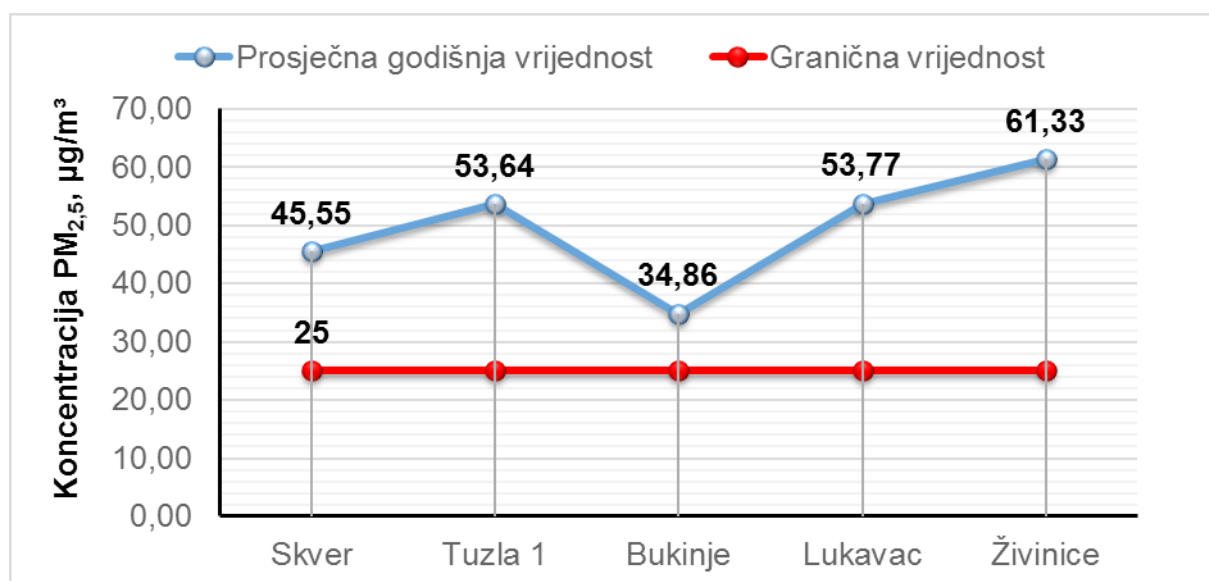
Slika 12. Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

Dozvoljeni broj prekoračenja nije propisan važećim pravilnikom FBiH. U tabeli 7 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija PM_{2,5} za sve mjerne stanice u 2017. godini, a na osnovu prikazanog ostvarena je minimalna raspoloživost za ocjenu monitoring to jest ostvareno je više od 90% validnih mjerenja.

Tabela 7. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija PM_{2,5} za sve mjerne stanice za 2017. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj dana sa dnevnom PM _{2,5} > 50 µg/m ³	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)
Skver	93	96	360,35	659
Tuzla 1	76	85	321,15	556
Bukinje	96	67	280,95	543
Lukavac	97	122	431,43	1286
Živinice	95	152	464,54	871

Na osnovu rezultata mjerenja u 2017. godini je prekoračena propisana granična vrijednost na svim mjernim mjestima (Slika 13) gdje je najviša prosječna godišnja vrijednost iznosila 61,33 µg/m³.



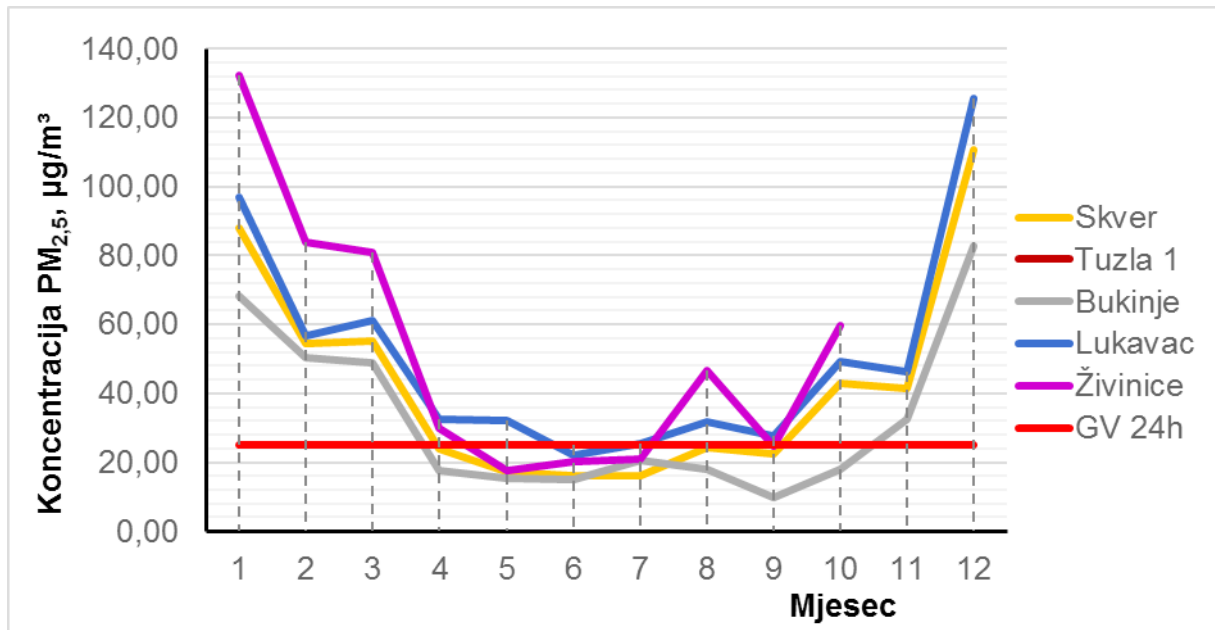
Slika 13. Prosječne godišnje koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

3.7. Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM_{2,5} u 2018. godini

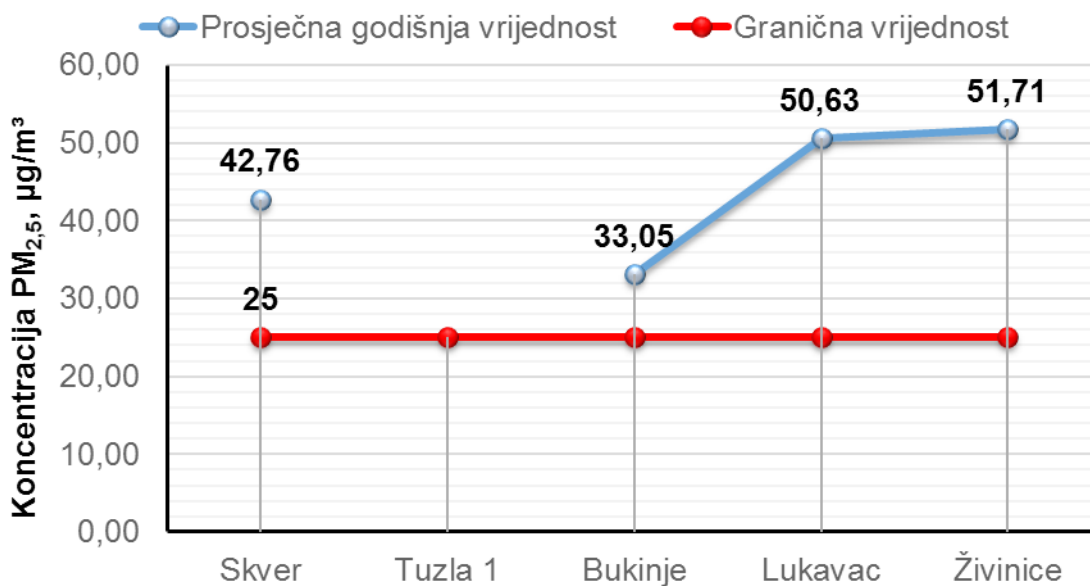
Sličan trend je nastavljen i 2018. godine (Slika 14), gdje su najveće dnevne koncentracije zabilježene u zimskom periodu, i to na lokalitetu: Lukavac (09.01.2018. godine, 312,28 µg/m³), Živinice (08.01.2018. godine, 280,02 µg/m³), Skver (21.12.2018. godine, 278,64 µg/m³), te Bukinje (20.12.2018. godine, 199,39 µg/m³). U tabeli 8 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija PM_{2,5} za sve mjerne stanice u 2018. godini, a samo na dvije je ostvareno više od 90% validnih mjerenja što je minimalna raspoloživost podataka za godišnju ocjenu. Također tokom 2018. godine na mjernom mjestu Tuzla 1 nije bilo mjerenja koncentracija navedenog polutanta tokom čitave godine. Prosječna godišnja vrijednost je bila iznad granične vrijednosti na lokalitetu Skver, Bukinje, Lukavac i Živinice (Slika 15).

Tabela 8. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija PM_{2,5} za sve mjerne stanice za 2018. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj dana sa dnevnom PM _{2,5} > 50 µg/m ³	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)
Skver	93	106	360,35	480
Tuzla 1	-	-	-	-
Bukinje	89	70	280,95	588
Lukavac	96	117	431,43	994
Živinice	70	92	464,54	603



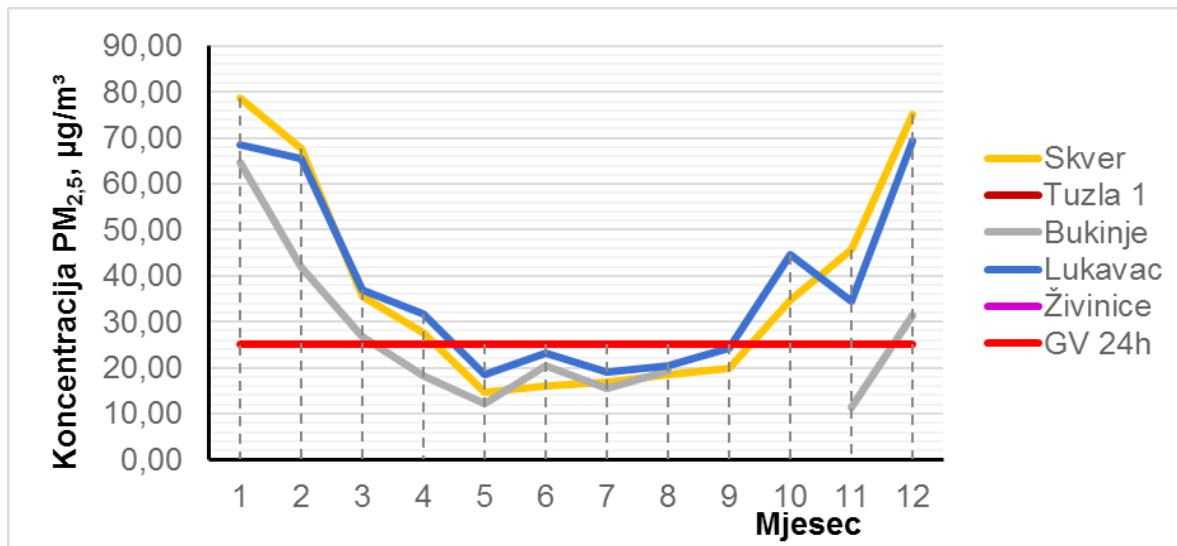
Slika 14. Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini



Slika 15. Prosječne godišnje koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini

3.8. Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM_{2,5} u 2019. godini

Kao i proteklih godina, prosječne mjesečne vrijednosti tokom zimskog perioda su izrazito visoke, s tim da u 2019. godini na lokalitetu Živinice i Tuzla 1 nije bilo mjerenja (Slika 16).



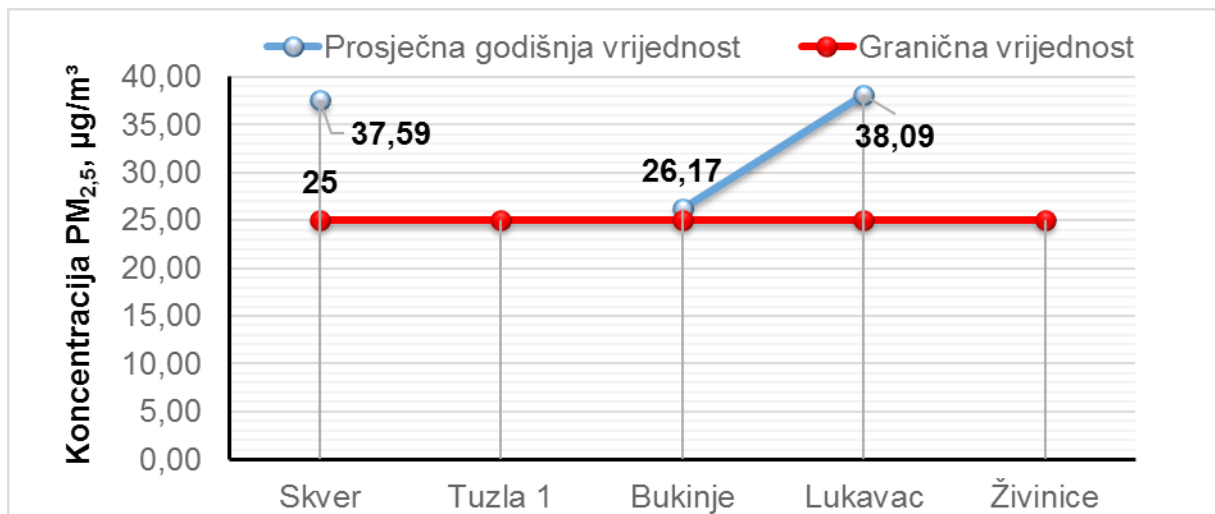
Slika 16. Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

Broj validnih mjerenja na mjernim stanicama Skver, Bukinje i Lukavac je ispod 90%, a na mjernim stanicama Tuzla 1 i Živinice nisu zabilježena mjerenja tokom čitave godine. Najveće dnevne koncentracije s iznosile na Skveru (27.01.2019. godine, 239,69 µg/m³), Bukinje (27.01.2019. godine, 158,21 µg/m³), te Lukavcu (27.01.2019. godine, 191,84 µg/m³) (Tabela 9).

Tabela 9. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija PM_{2,5} za sve mjerne stanice za 2019. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj dana sa dnevnom PM _{2,5} > 50 µg/m ³	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)
Skver	86	88	239,69	463
Tuzla 1	-	-	-	-
Bukinje	54	25	280,95	286
Lukavac	89	88	431,43	505
Živinice	-	-	-	-

Na osnovu dosadašnjih pokazatelja, može se zaključiti da postoji trend smanjenja, jer mjerenja pokazuju da koncentracije PM_{2,5} iz godine u godinu sve niže. Ipak, analizirajući dobivene podatke tokom proteklih godina za čvrste čestice PM_{2,5} evidentno je kontinuirano prekoračenje prosječnih godišnjih vrijednosti od 25 µg/m³ na području Tuzle, Lukavca i Živinica. U svjetskom izvještaju o kvaliteti zraka iz 2019. godine su predstavljeni podaci koji su javno dostupni kako bi se istaklo stanje onečišćenja čestica širom svijeta i podigla svijest o javnom pristupu podacima o kvaliteti zraka. Većina ovih podataka objavljeni su u stvarnom ili skoro stvarnom vremenu od strane vladinih izvora. Regionalno, Južna Azija, Jugoistočna Azija i Zapadna Azija nose najveći teret onečišćenja čvrstim česticama (PM_{2,5}) u cjelini, a samo je 6 od 355 gradova koji zajednički ispunjavaju godišnje ciljeve Svjetske zdravstvene organizacije na ovim područjima. Među 30 najviše zagađenih gradova tokom 2019. godine, 21 se nalazi u Indiji, 27 u Južnoj Aziji, a svih 30 najviše zagađenih gradova unutar veće Azije. Koristeći ponderirani prosjek stanovništva, a na osnovu dostupnih podataka o izloženosti PM_{2,5}, najzagađenijom zemljom se smatra Bangladeš, a iza slijede Pakistan, Mongolija, Afganistan i Indija, odstupajući jedan za drugim za manje od 10%. U Evropi po zagađenju sa PM_{2,5}, Bosna i Hercegovina je 14. najzagađenija zemlja na svijetu, sa samo 4µg/m³ manje od nacionalnog prosjeka Kine. Zagađenje zraka predstavlja najveći zdravstveni rizik okoliša sa kojim se suočava naše globalno stanovništvo. Prosječna godišnja koncentracija na ovim mjernim stanicama je bila iznad propisane granične vrijednosti (Slika 17).



Slika 17. Prosječne godišnje koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

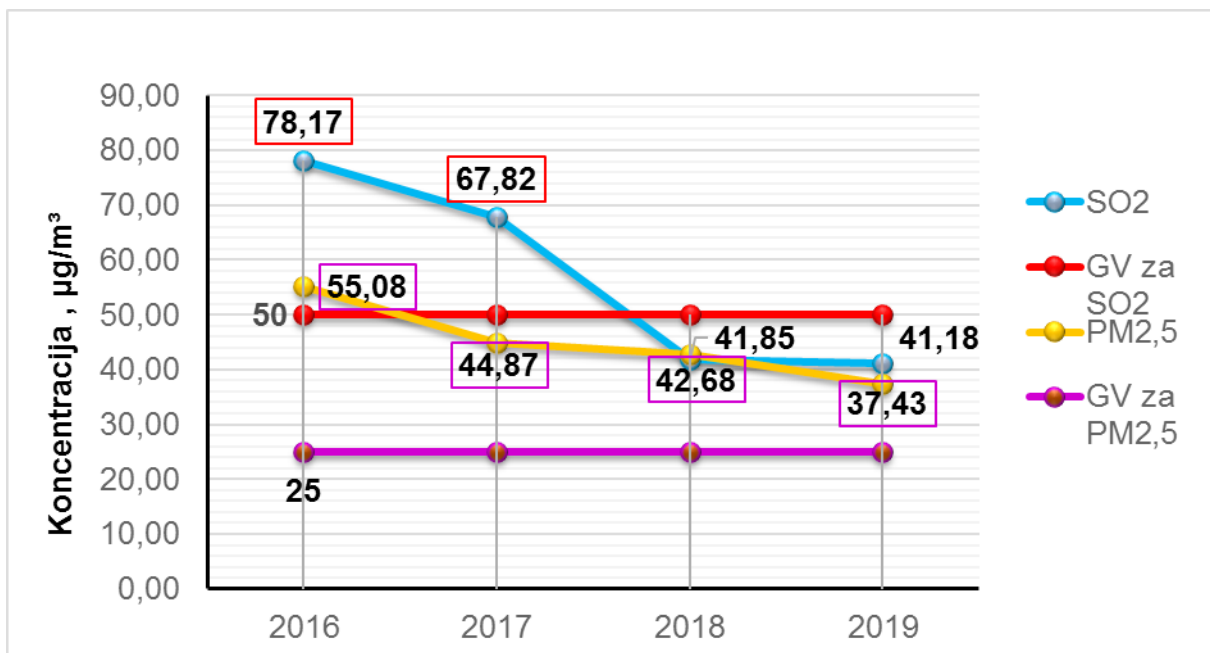
Lebdeće čestice PM_{2,5} su kompleksni multifazni sistemi svih u zraku prisutnih čestica ali i utekućenih tvari sa niskim naponom para aerodinamičkog prečnika od 0,01 do 100 µm. Dio čestičnih tvari koje imaju sklonost da lebde u zraku nazivamo lebdećim česticama neke su od tih čestica toliko sitne (od tridesetine do petine prečnika ljudske kose) da disanjem prodiru duboko u naša pluća i mogu ući direktno u krvotok. Lebdeće čestice se najčešće sastoje od različitih hemijskih elemenata a mogu biti nosioci teških metala (arsen, kadmij, živa, olovo, hrom, nikl) kao i organskih polutanata (VOC, BTX, PDDs, PCDFs), njihov uticaj na okoliš zavisi isključivo od sastava čestica. Navedeni teški metali su na listi Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) kao tvari koje imaju najveći negativan uticaj na zdravlje opće populacije stanovništva. Osnovne komponente PM_{2,5} su organske tvari (30-60%), metali (<19%), nitrati i sulfati (25-35%) i elementarni ugljik 5%. Lebdeće čestice PM₁₀ sadrže različite tvari od neorganskih do organskih čiji broj može biti i nekoliko stotina spojeva. U ljetnom periodu broj organskih komponenti pronađenih u PM₁₀ se kreće oko 400 a u ljetnom oko 540. Organske tvari prisutne u PM₁₀ su: aromatski ugljikovodici, alkani, alkeni, alkini, alkadieni i njihovi ciklični analogi, aldehidi, ketoni, fenoli, eteri, karboksilne kiseline, nitrili, pireni, furani, benzofurani, policiklični aromatski ugljikovodici, organski spojevi koji sadrže sumpor i geohemijski markeri.

Na koncentraciju PM_{2,5} u urbanim sredinama bez industrije najveći uticaj ima saobraćaj. U industrijskim područjima dominantan izvor su industrijska postrojenja, najočitiji primjer je Lukavac gdje je tokom akcidenta u jednoj od tvornica koncentracija PM_{2,5} na mjernoj stanici zabilježena u vrijednosti od 989 µg/m³. Hemijski sastav PM₁₀ u urbanim područjima uključuje Al i Fe, organski ugljik (na stotine spojeva), elementarni ugljik, sulfate, nitrata i amonijak. Sulfati, nitrati i amonijum joni (SNA) sekundarno doprinose masi PM₁₀ čestičnih tvari. SNA kao dio PM₁₀ raste uslijed transformacije plinova prekursora poput SO₂ i NO_x. U zraku SO₂ oksidira do plinovitog SO₃ ili tečne H₂SO₄ koja se zatim neutralizira do amonijum sulfata ((NH₄)₂SO₄) ili amonijum bisulfata (NH₄HSO₄). Azotni oksidi (NO_x) fotohemijski oksidiraju do HNO₃ koja neutralizacijom prelazi u amonijum nitrat (NH₄NO₃). Meteorološki uslovi tokom ljeta ne doprinose nastajanju amonijum nitrata, zbog toga što amonijum joni (NH₄⁺) nastoje (imaju afinitet) neutralizirati sulfate. U zimskom periodu amonijum joni se javljaju u dovoljnoj količini za neutralizaciju sulfatne i nitratne kiseline pri čemu koncentracija amonijum nitrata raste. U zimskom periodu, rano proljeće i kasnu jesen, kada zbog vremenskih uslova emisije iz termoenergetskih postrojenja, industrijskih kotlovnica na ugalj i individualnih ložišta, postanu preovladavajuće u odnosu na emisije iz saobraćaja iste imaju značajne uticaje na sastav čestičnih tvari. Pri navedenim izvorima emisija čestične tvari se gotovo u potpunosti sastoje od amonijum sulfata i amonijum nitrata pri čemu PM₁₀ pokazuju alkalnu reakciju.

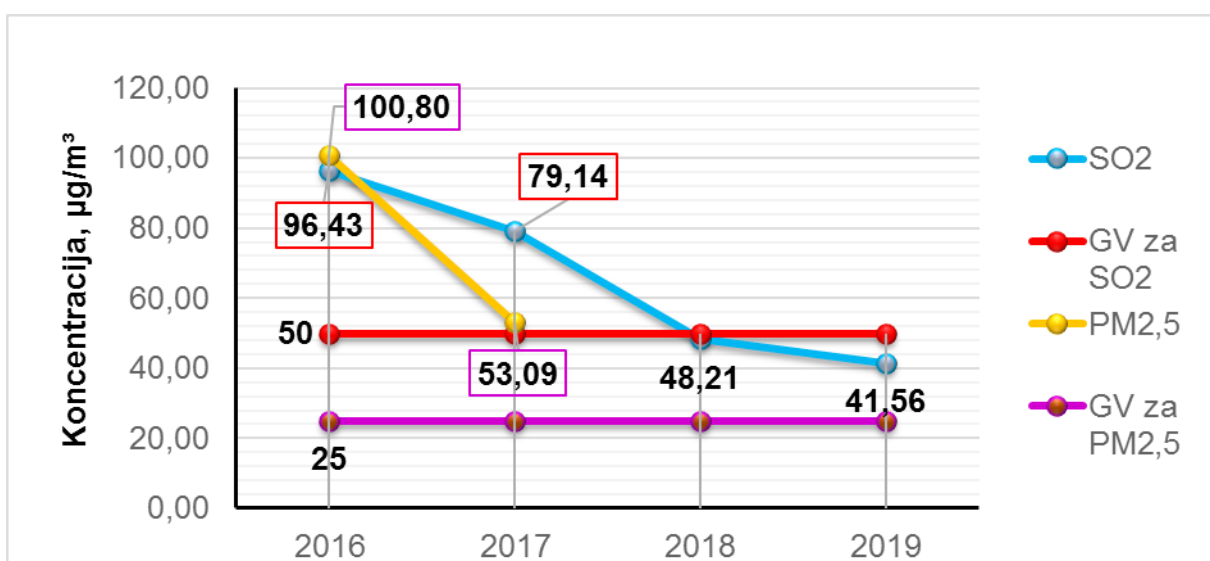
U ljetnjem periodu može doći do emitovanja skoro jednakih količina SO_2 i NO_x , emisija amonijaka prestaje pri čemu PM_{10} pokazuju kiselu reakciju. Kisela reakcija PM_4 uzrokovana je preovladavajućom nitratnom kiselinom.

3.9. Prosječne godišnje koncentracije SO_2 i $\text{PM}_{2,5}$ od 2016.–2019. godine

Na slici 18 prikazane su prosječne godišnje koncentracije u periodu 2016. – 2019. godina za SO_2 i $\text{PM}_{2,5}$ za mjernu stanicu Skver gdje možemo uočiti trend smanjenja koncentracije $\text{PM}_{2,5}$ ali i značajno smanjenje imisijske koncentracije SO_2 od $78,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u 2016. godini na $37,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na navedenoj mornoj stanici godišnje koncentracije ozona i azot dioksida nisu prelazile granične vrijednosti. Sličan trend smanjenja uočen je i na mornoj stanici Tuzla 1 a što je prikazano na slici 19.

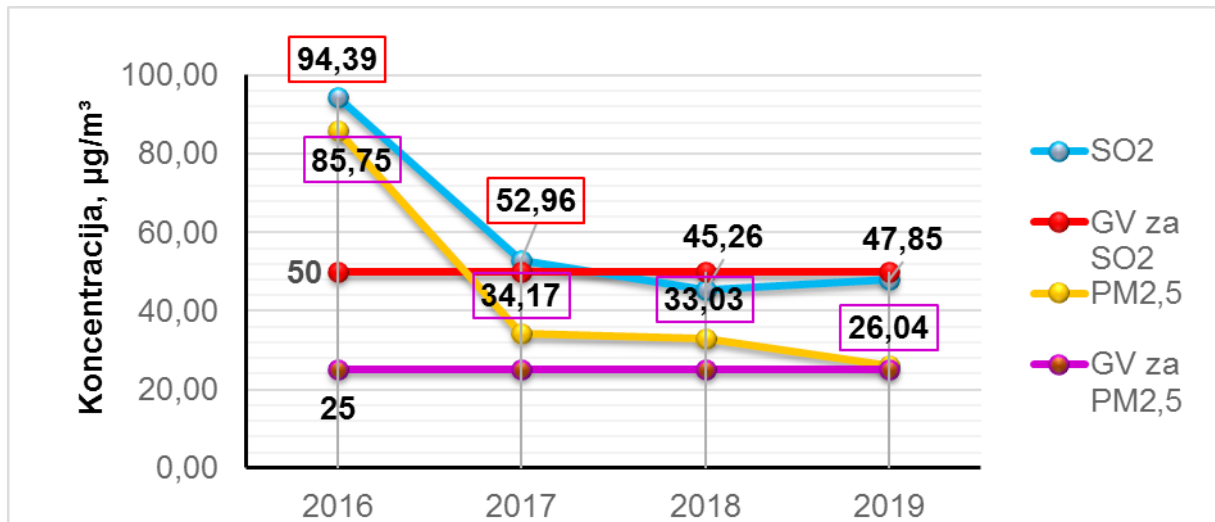


Slika 18. Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO_2 i $\text{PM}_{2,5}$ na MS „Skver“



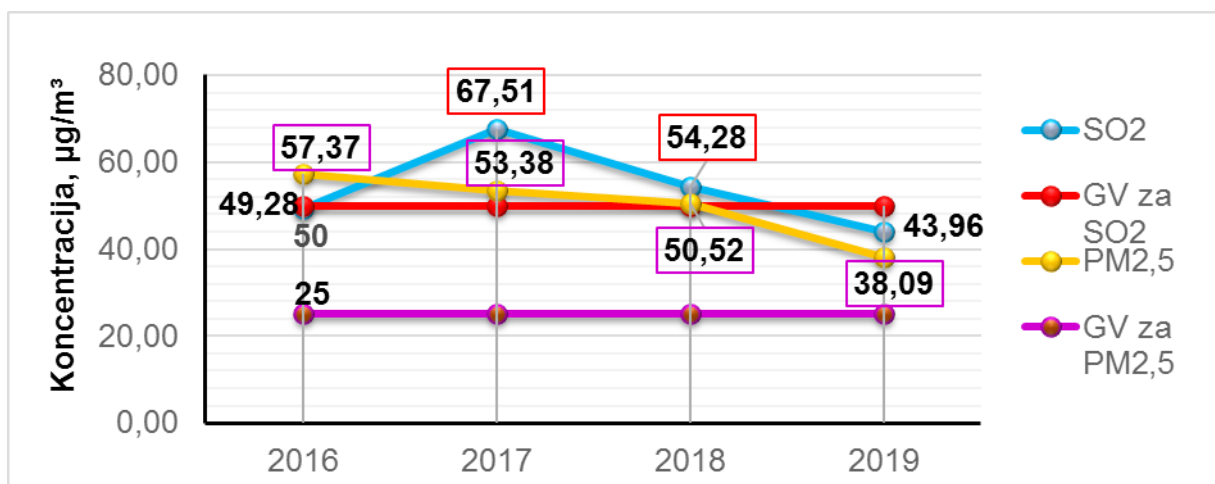
Slika 19. Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO_2 i $\text{PM}_{2,5}$ na MS „Tuzla 1“

Na mjernoj stanici Bukinje, došlo je do značajnog smanjenja koncentracije PM_{2,5} sa 85,75 µg/m³ u 2016. godini na 26,04 µg/m³ u 2019. godini što je 3,2 puta manje, odnosno vrlo blizu ciljane godišnje vrijednosti od 25 µg/m³ (Slika 20).



Slika 20. Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2,5} na MS „Bukinje“

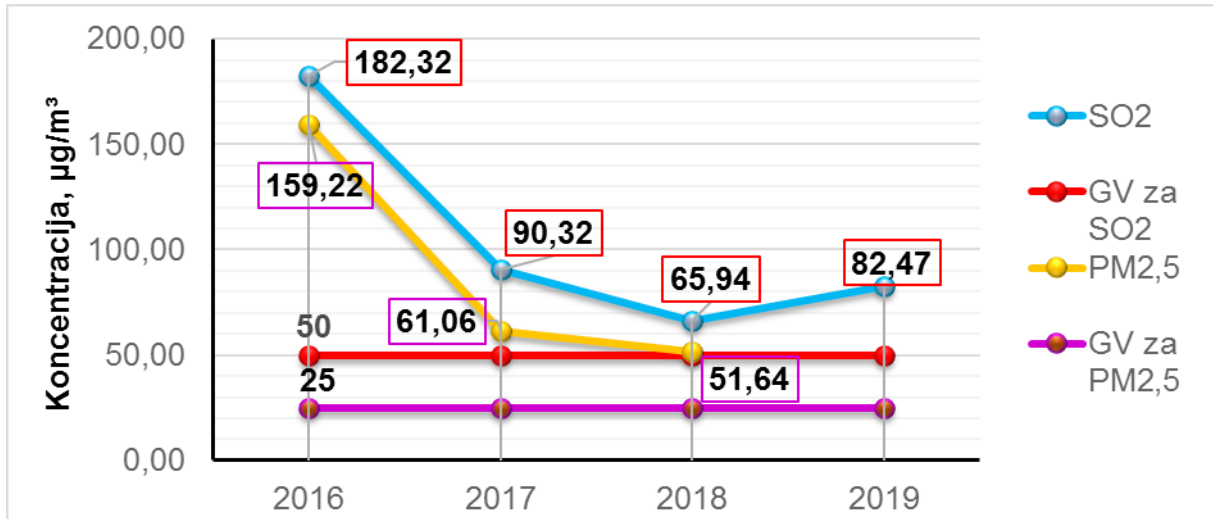
Na slici 21 prikazane su prosječne godišnje vrijednosti SO₂ i PM_{2,5} za mjernu stanicu u Lukavcu gdje je najveća koncentracija u posmatranom periodu istraživanja bila u 2017. godini i iznosila 67,51 µg/m³ u 2019. godini prosječna vrijednost je bila ispod granične. U pogledu koncentracija PM_{2,5} vidljivo je smanjenje od 57,37 µg/m³ u 2016. godini na 38,09 µg/m³ u 2019. godini. Ovdje treba napomenuti da prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) onečišćenje zraka najveći je ekološki rizik za zdravlje u Europskoj uniji (EU). Onečišćenje zraka svake godine u EU-u prouzroči otprilike 400 000 slučajeva preuranjene smrti i vanjske troškove povezane sa zdravljem u visini od više stotina milijardi eura. Stanovnici gradskih područja posebno su izložena skupina. Lebdeće čestice, azot dioksid i prizemni ozon onečišćujuće su tvari u zraku odgovorne za većinu tih slučajeva preuranjene smrti.



Slika 21. Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2,5} na MS „Lukavac“

Na osnovu ranije iznesenih podataka o kvalitetu zraka Živinice su najviše ugrožene lošom kvalitetom zraka. Vidljivo je takođe, da postoji određen trend smanjenja koncentracija SO₂ i PM_{2,5} koje su dostizale alarmantno visoke vrijednosti u 2016. godine, u 2017. godini zabilježen je nagli pad koncentracija ova dva navedena parametra (Slika 22).

⁵ <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/hr/>



Slika 22. Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2,5} na MS „Živinice“

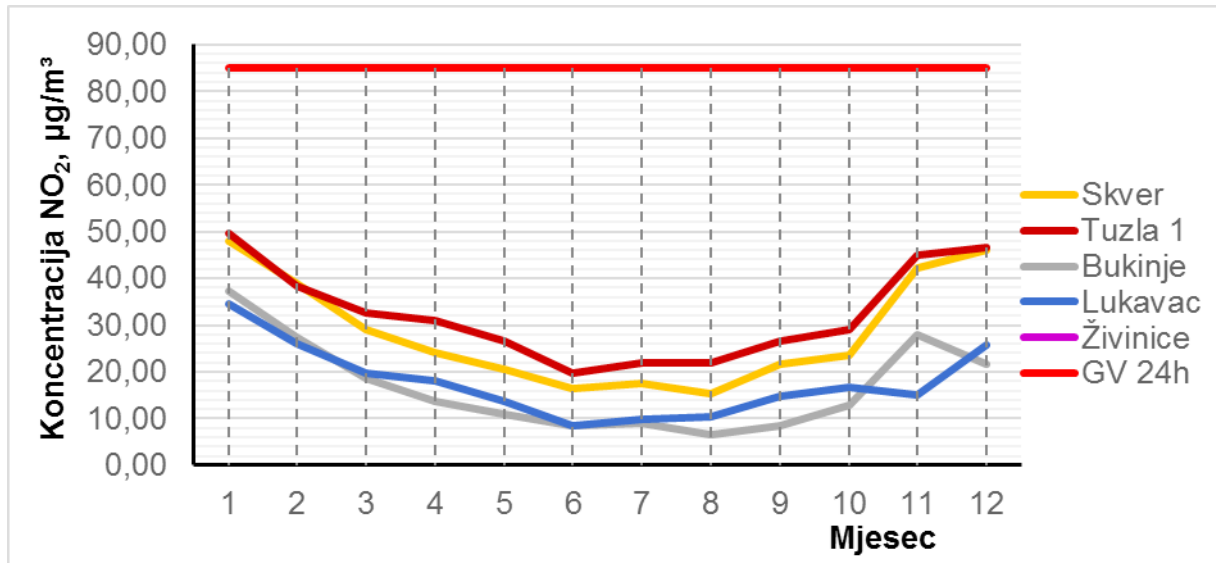
3.10. Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO₂ u 2016. godini

Osim sumpordioksida, u urbanim sredinama se pojavljuju i drugi plinovi kao što je azot dioksid. Tip analizatora pomoću koga je vršeno mjerenje u periodu od 2016-2017. godine je Api Teledyene – 200. Dozvoljeni broj prekoračenja satne granične vrijednosti (>250 µg/m³) je 18 puta u toku jedne kalendarske godine. Dnevna granična vrijednost za azot dioksid je 85 µg/m_{2,5}, a dozvoljeni broj prekoračenja nije definisan. Statistički pokazatelji koncentracija NO₂ za sve mjerne stanice u 2016. godini su prikazani u tabeli 10. Broj validnih mjerenja veći od 90% su ostvarile mjerne stanice na lokalitetu Skver, Tuzla 1 i Bukinje, a mjerna stanica Lukavac i Živinice 53% odnosno 6%.

Tabela 10. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija NO₂ za sve mjerne stanice za 2016. godinu

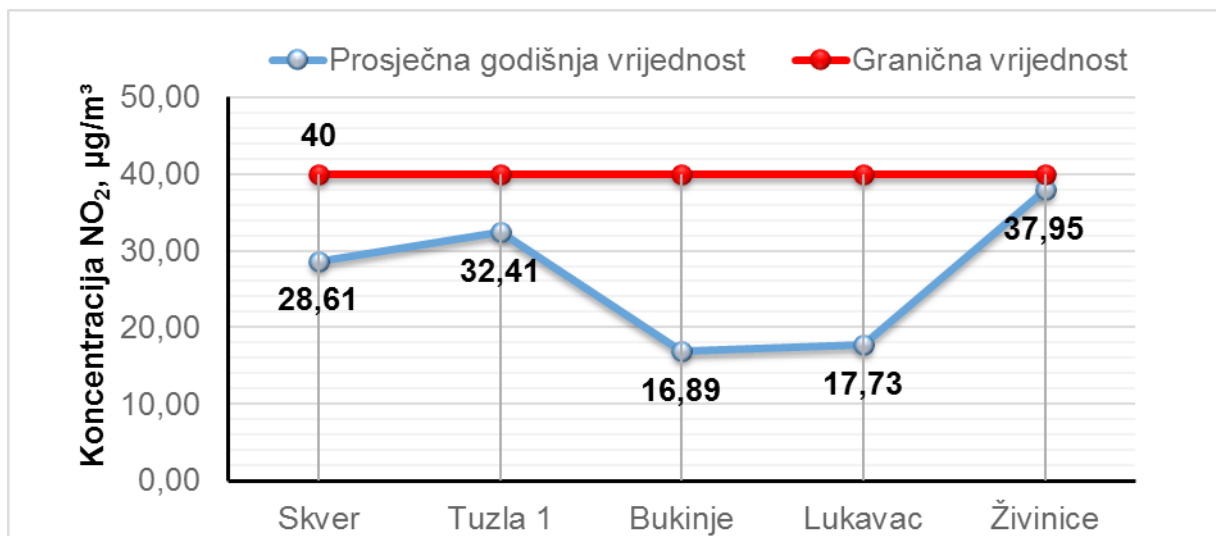
Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja GV	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja GV	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	96	0	173	0	173
Tuzla 1	99	0	150	0	150
Bukinje	90	0	145	0	145
Lukavac	53	0	125	0	100
Živinice	6	0	110	0	110

Izmjerene prosječne mjesečne vrijednosti za 2016. godinu su prikazane na grafiku (Slika 23).



Slika 23. Prosječne mjesečne koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

Prosječne godišnje koncentracije za 2016. godinu na svim mjernim mjestima nisu bile iznad propisane granične vrijednosti 40 µg/m³, slika 24.



Slika 24. Prosječne godišnje koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

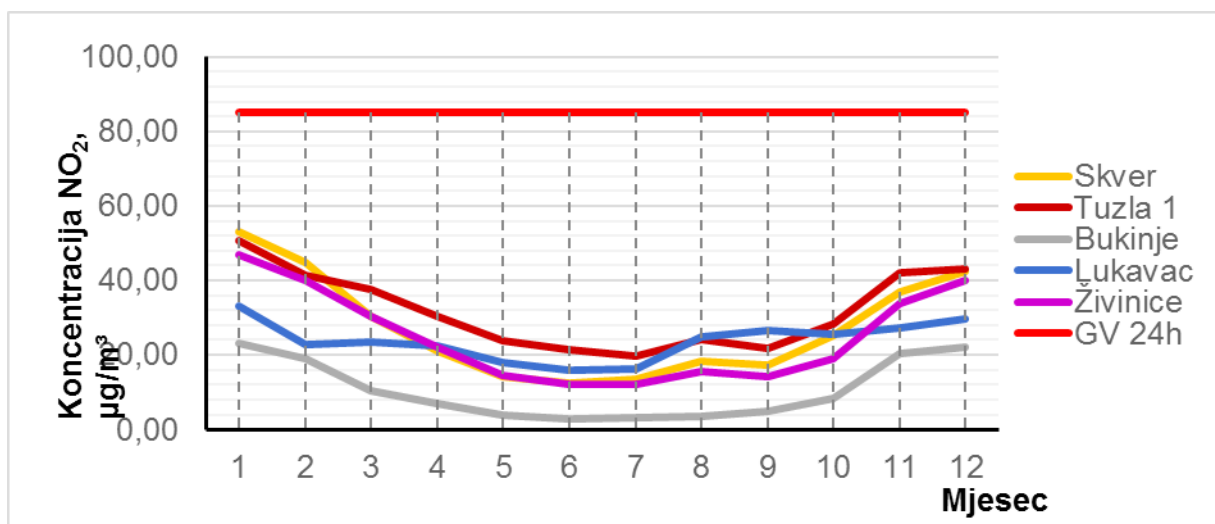
3.11. Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO₂ u 2017. godini

Na mjernom mjestu Skver se dogodila 4 dnevna prekoračenja satne vrijednosti, pri čemu je najveća koncentracija iznosila 223 µg/m³. Također je na Skveru prekoračen broj dnevne granične vrijednosti 3 puta i dnevne tolerantne vrijednosti (>101) 1 puta sa koncentracijom od 123,93 (31.01. 2017). Pored navedenog mjernog mjesta, zabilježena su prekoračenja i na mjernom mjestu Tuzla 1 od ukupno 3 puta, gdje je najveća dnevna koncentracija iznosila 109,33 (31.01.2017.) i na mjernom mjestu Živinice od ukupno 2 puta sa najvećom dnevnom koncentracijom od 83,31 (31.01.2017). U 2017. godini je evidentiran prekid rada mjerne stanice u Živinicama od 29 dana (broj validnih mjerenja je bio 89%).

Na ostalim mjernim stanicama je zabilježen broj validnih mjerenja veći od 90% (Tabela 11).

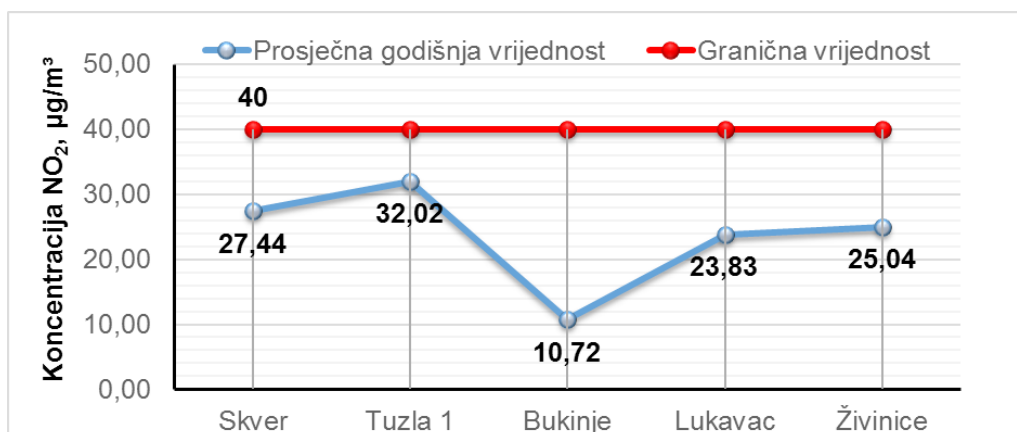
Tabela 11. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija NO₂ za sve mjerne stanice za 2017. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja GV	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja GV	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	98	4	223	3	223
Tuzla 1	100	0	177	2	109,33
Bukinje	99	0	117	0	63,89
Lukavac	99	0	103	0	60,57
Živinice	89	0	181	2	83,31



Slika 25. Prosječne mjesečne koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

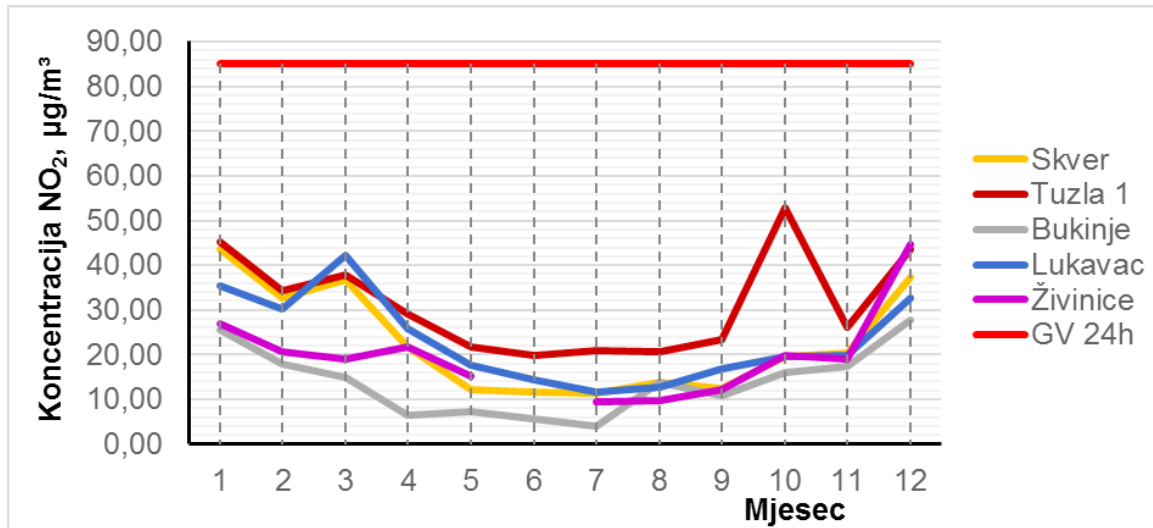
Na prethodnoj slici (Slika 25) prikazane su predstavljene izmjerene prosječne mjesečne vrijednosti za 2017. godinu. Prosječne godišnje koncentracije za 2017. godinu na svim mjernim mjestima nisu bile iznad propisane granične vrijednosti 40 µg/m³, slika 26.



Slika 26. Prosječne godišnje koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

3.12. Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO₂ u 2018. godini

Na sljedećem grafiku (slika 27) su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti za 2018. godinu.



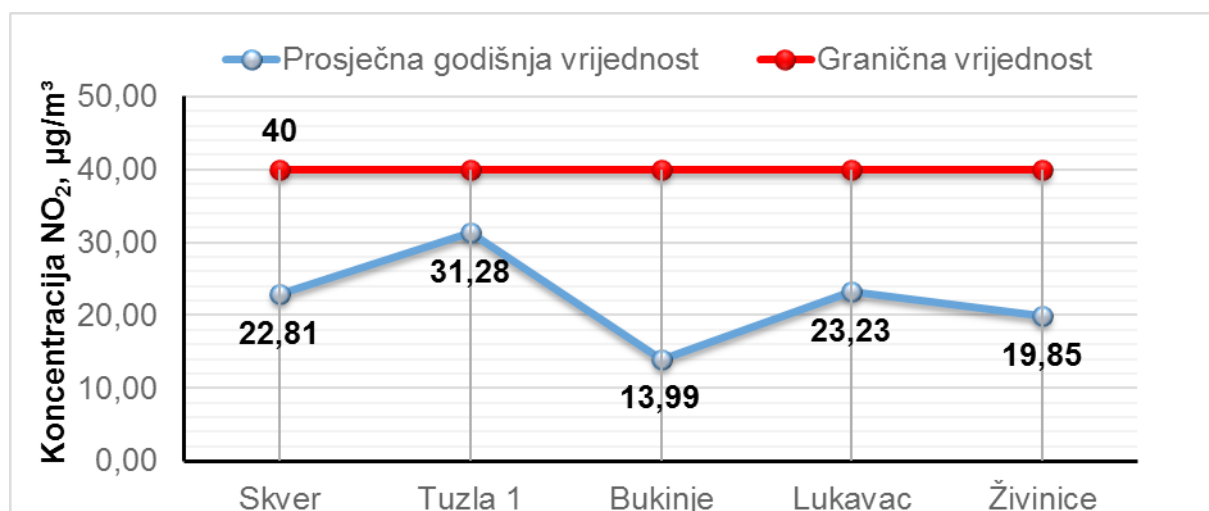
Slika 27. Prosječne mjesečne koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini

Na mornoj stanici Živinice zabilježena su pet satnih i tri dnevna prekoračenja pri čemu je najveća dnevna koncentracija iznosila 115,43 µg/m³ (22.10.2018. godine). U tabeli 12 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija NO₂ za sve mjerne stanice u 2018. godini. Broj validnih mjerenja za godišnju ocjenu je ostvarena nasljeđecim lokalitetima: Skver, Tuzla 1, Bukinje, Lukavac.

Tabela 12. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija NO₂ za sve mjerne stanice za 2018. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja GV	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja GV	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	99	0	156	0	223
Tuzla 1	99	0	143	0	109,33
Bukinje	98	0	95	0	63,89
Lukavac	99	0	161	0	60,57
Živinice	75	5	266	3	83,31

Granična vrijednost prosječne godišnje koncentracije azotnog dioksida nije prekoračena niti na jednom mjernom mjestu (Slika 28).



Slika 28. Prosječne godišnje koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini

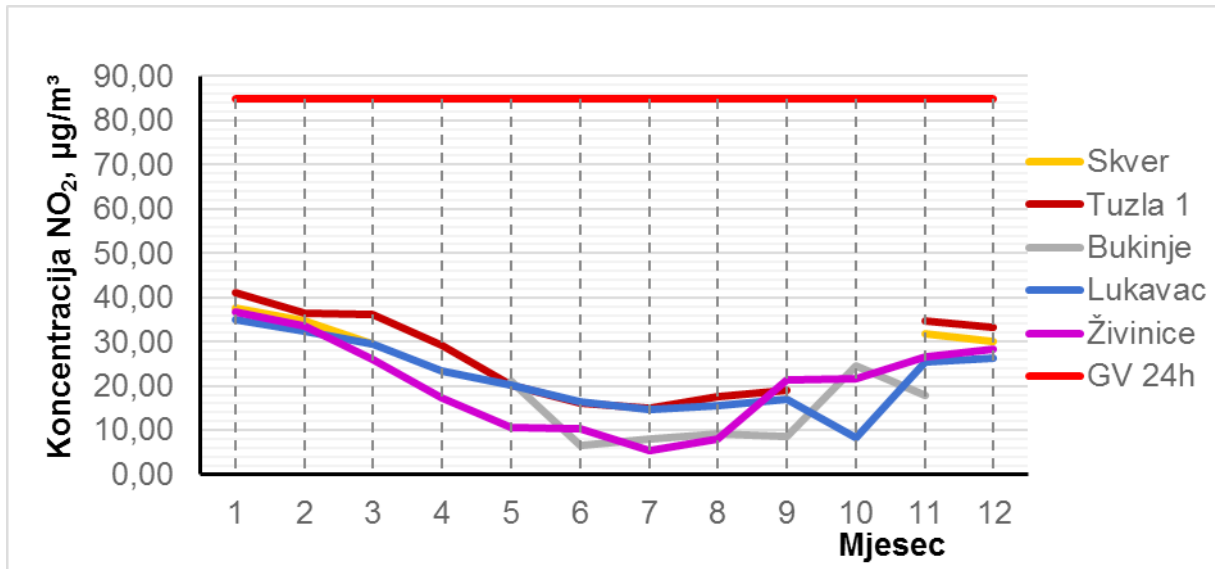
3.13. Analiza rezultata mjerenja koncentracija NO₂ u 2019. godini

Na svim mjernim mjestima nije bilo niti satnih niti dnevnih prekoračenja granične vrijednosti, pri čemu je najveća dnevna koncentracija iznosila 82 µg/m³ na mjernom mjerstu u Živinicama (Tabela 13). Broj validnih mjerenja veći od 90% je ostvaren na mjernim mjestima Živinice, Lukavac i Tuzla 1. U 2019. godini je evidentiran prekid rada mjerne stanice Tuzla 1 od 29. Tokom 2019. godine evidentirani su prekidi mjerenja na mjernim stanicama Bukinje (172 dana – 49% validnih mjerenja), Skver (231 dan – 29% validnih mjerenja), Lukavac (2 dana -) i Živinice (2 dana).

Tabela 13. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija NO₂ za sve mjerne stanice za 2019. godinu

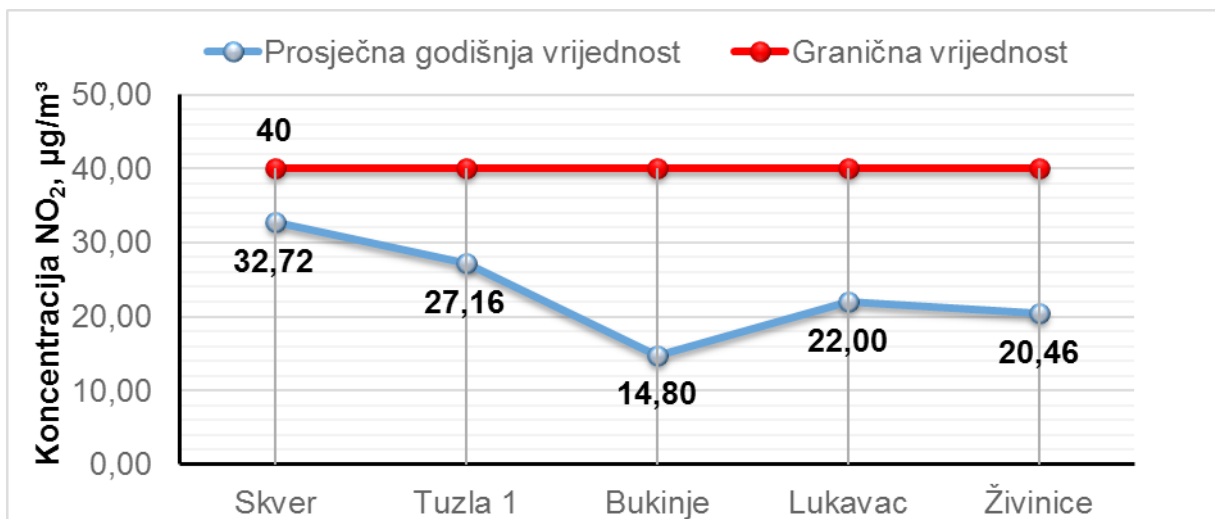
Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj satnih prekoračenja GV	Najviša satna koncentracija (µg/m ³)	Broj dnevnih prekoračenja GV	Najviša dnevna koncentracija (µg/m ³)
Skver	29	0	130	0	63
Tuzla 1	99	0	123	0	67
Bukinje	49	0	81	0	41
Lukavac	99	0	100	0	54
Živinice	96	0	199	0	82

Na sljedećem grafiku (slika 29) su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti za 2019. godinu.



Slika 29. Prosječne mjesečne koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

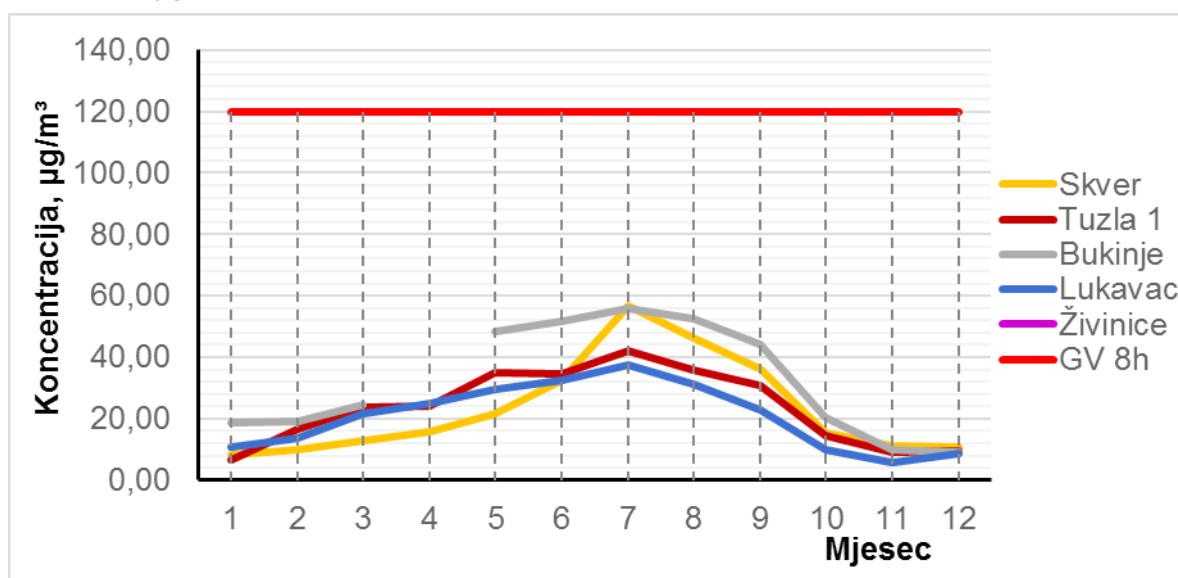
Prosječne godišnje koncentracije za 2019. godinu na svim mjernim mjestima nije bila iznad propisane granične vrijednosti, slika 30.



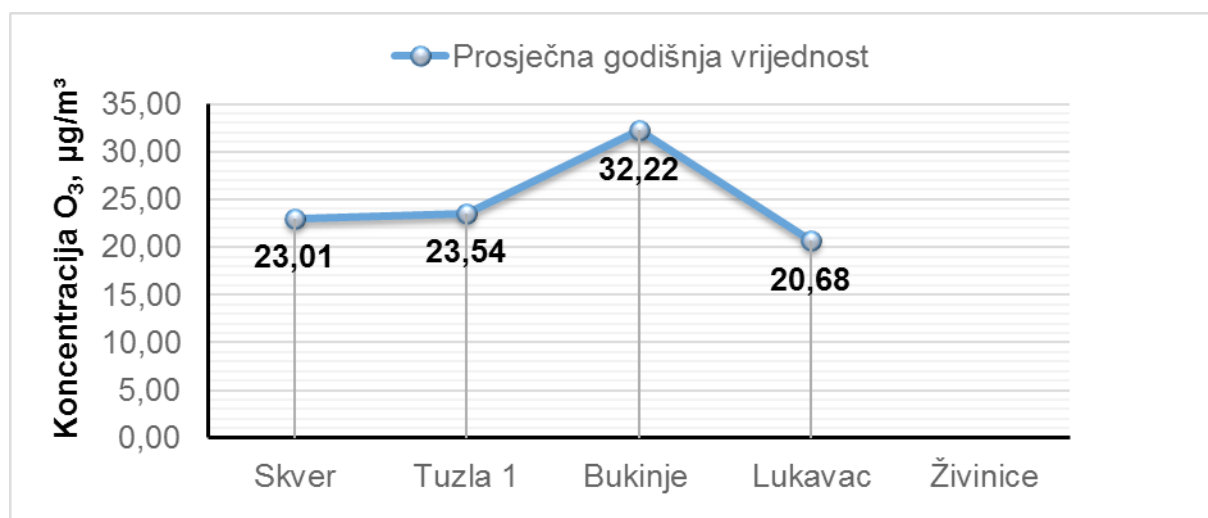
Slika 30. Prosječne godišnje koncentracije NO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

3.14. Analiza rezultata mjerenja koncentracija O₃ u 2016. godini

Koncentracije ozona zavise i od prirodno-geografskih faktora i od antropogenih djelovanja te su i mogućnosti njihovog smanjenja znatno manje nego što je to slučaj sa drugim zagađujućim materijama u zraku. Generalno, visoke vrijednosti se očekuju u hipsometrijski višim lokacijama, u direktnoj su vezi stanjem osunčanosti i zamućenosti atmosfere ali i od prisustva azotnih oksida i hlapljivih organskih jedinjenja ("VOC") u zraku. Na osnovu rezultata mjerenja u pogledu O₃ nije bilo prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti u 2016. godini. Prosječne mjesečne koncentracije su prikazane na slici 31, a prosječne godišnje koncentracije na slici 32. Propisana je samo 8-satna granična vrijednost za koncentraciju ozona i ona iznosi 120 µg/m³.



Slika 31. Prosječne mjesečne koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini



Slika 32. Prosječne godišnje koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

U tabeli 14 su prikazani statistički pokazatelji koncentracija O₃ za sve mjerne stanice u 2016. godini, a kako je broj validnih mjerenja na lokalitetu Tuzla 1, Bukinje i Skver manji od 90 %, statistički podaci se ne mogu uzeti u obzir. Na mjernom mjestu Živinice nije bilo mjerenja tokom čitave godine.

Tabela 14. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija O₃ za sve mjerne stanice za 2016. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj 8 -satnih prekoračenja GV	Najviša satna vrijednost
Skver	92	0	131
Tuzla 1	81	0	116
Bukinje	70	47	165
Lukavac	52	3	145
Živinice	-	-	-

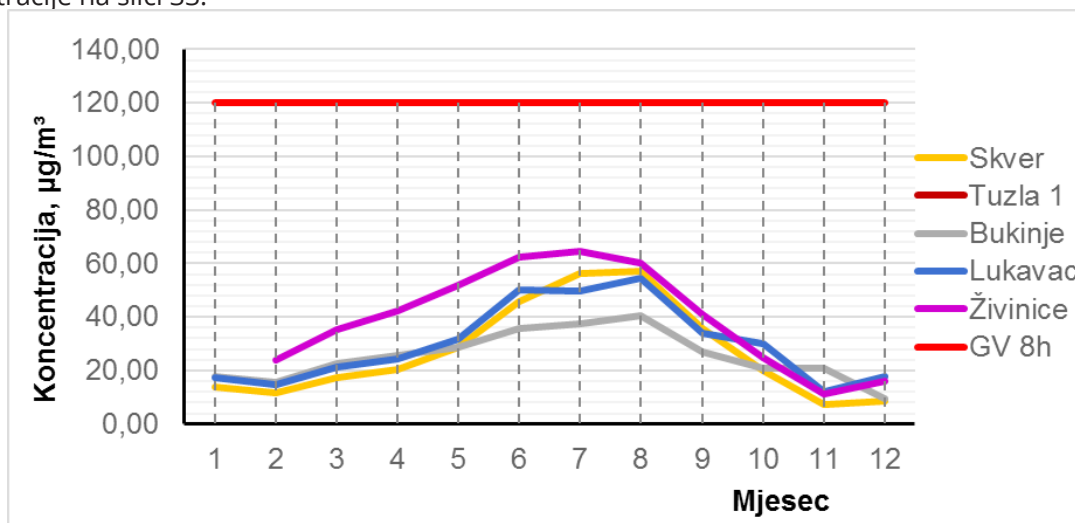
3.15. Analiza rezultata mjerenja koncentracija O₃ u 2017. godini

Na mornoj stanici Skver i Bukinje je u toku 2017. godine ostvareno 90% ili više validnih mjerenja, a na MS Lukavac i Živinice je ostvareno više oko 75% validnih mjerenja. Na MS Tuzla 1 je bilo manje od 75% validnih mjerenja, tako da se podaci sa uzimaju sa rezervom (Tabela 15).

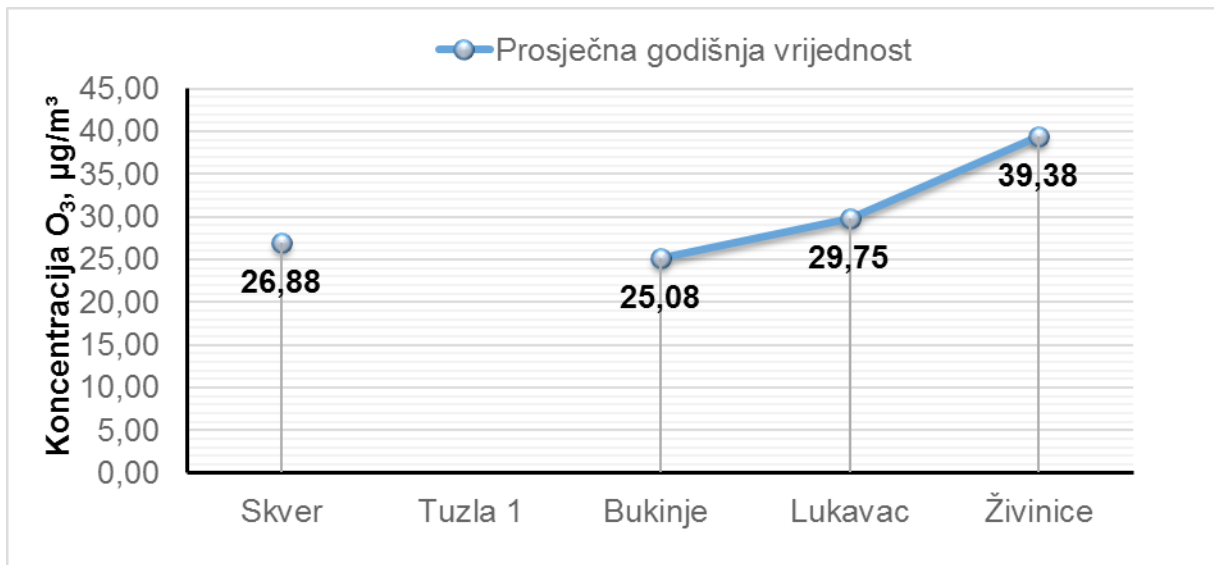
Tabela 15. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija O₃ za sve mjerne stanice za 2017. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj 8 -satnih prekoračenja GV	Najviša satna vrijednost
Skver	97	0	119
Tuzla 1	-	-	-
Bukinje	94	0	91
Lukavac	75	6	155
Živinice	86	20	191

Na osnovu rezultata mjerenja u pogledu O₃ nije bilo prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti u 2017. godini. Prosječne mjesečne koncentracije su prikazane na slici 32, a prosječne godišnje koncentracije na slici 33.



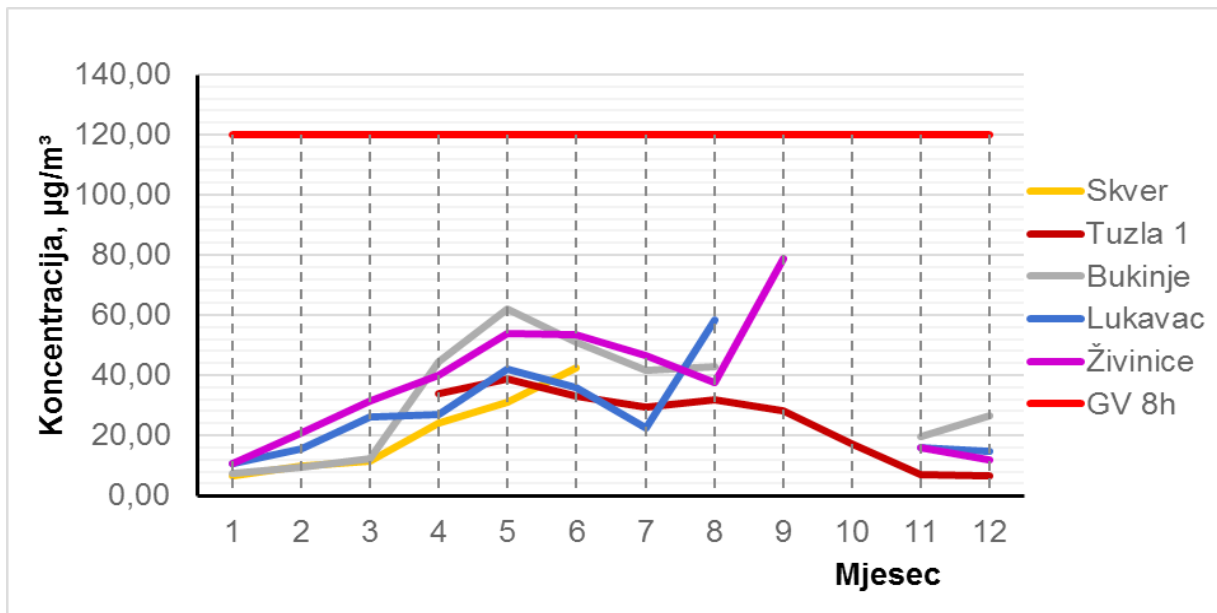
Slika 33. Prosječne mjesečne koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini



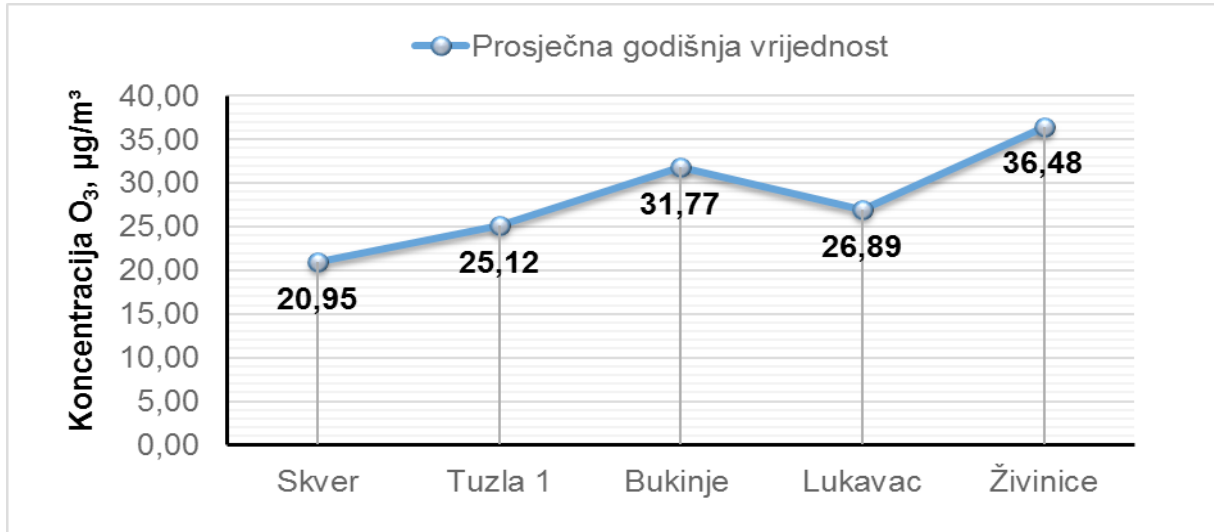
Slika 34. Prosječne godišnje koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

3.16. Analiza rezultata mjerenja koncentracija O₃ u 2018. godini

Sličan trend je nastavljen i u 2018. godini gdje na osnovu analize rezultata izmjerene koncentracije ozona na predmetnim lokalitetima ne prelaze granične vrijednosti. Na slici 35 su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti, a na slici 36 prosječne godišnje vrijednosti.



Slika 35. Prosječne mjesečne koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini



Slika 36. Prosječne godišnje koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini

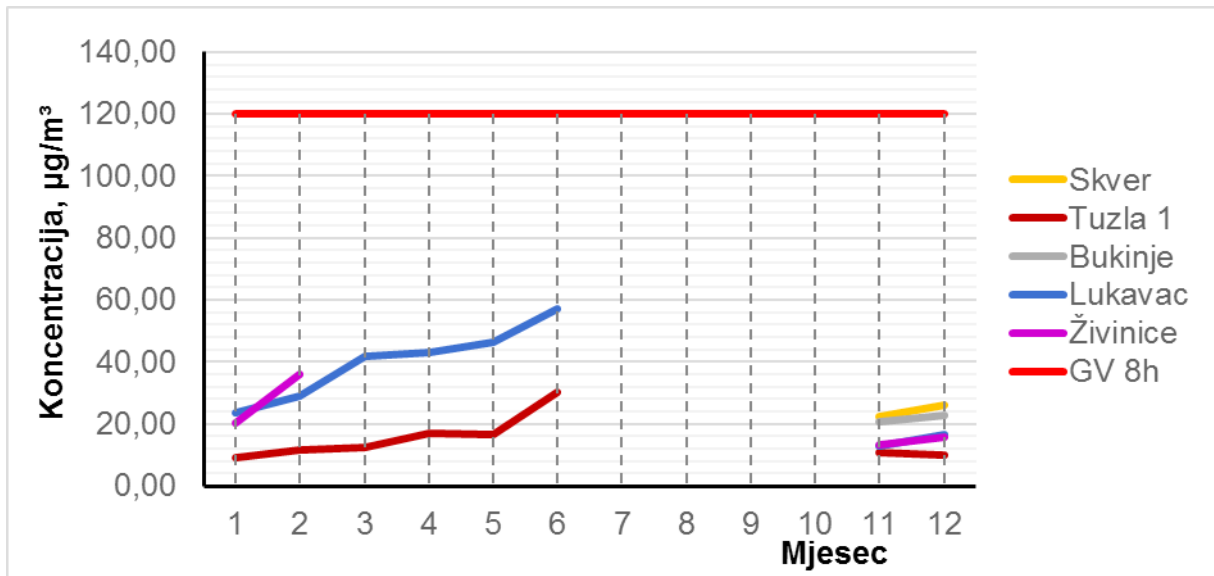
U tabeli 16 su prikazane koncentracija koncentracija O₃ za sve mjerne stanice za 2018. godinu, a na osnovu prikazanog vidimo da je procenat validnih mjerenja bio manji od 90%, stoga sve obrađene statističke podatke treba uzeti sa rezervom.

Tabela 16. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija O₃ za sve mjerne stanice za 2018. godinu

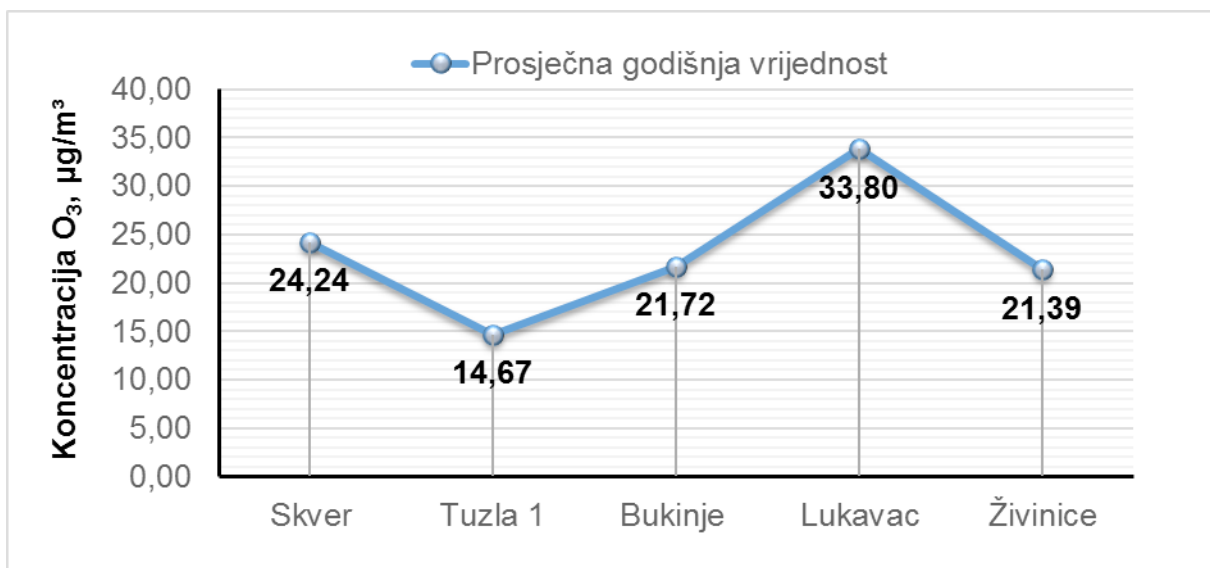
Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerenja (%)	Broj 8 -satnih prekoračenja GV	Najviša satna vrijednost
Skver	44,8	0	90,6
Tuzla 1	72,5	0	100
Bukinje	72,1	18	160,4
Lukavac	72,1	2	151,6
Živinice	73,7	3	151,7

3.19. Analiza rezultata mjerenja koncentracija O₃ u 2019. godini

Također 2019. godine izmjerene koncentracije ozona na predmetnim lokalitetima ne prelaze granične vrijednosti. Na slici 37 su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti, a na slici 38 prosječne godišnje vrijednosti.



Slika 37. Prosječne mjesečne koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini



Slika 38. Prosječne godišnje koncentracije O₃ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

Obuhvat validnih mjerenja u 2019. godini je bio prilično nizak (64%), a i u prethodnim godinama operateri stanica su imali probleme sa obezbjeđenjem većeg broja kvalitetnih mjerenja ovog polutanta (Tabela 17). Većih odstupanja od rezultata mjerenja u prethodnim godinama nije bilo, iako koncentracije ovog polutanta iz godine u godinu znaju pokazivati značajna variranja.

Tabela 17. Prikaz statističkih pokazatelja koncentracija O₃ za sve mjerne stanice za 2019. godinu

Mjerna stanica	Obuhvat validnih mjerjenja (%)	Broj 8 -satnih prekoračenja GV	Najviša satna vrijednost
Skver	14	0	97
Tuzla 1	59	0	78
Bukinje	14	0	89
Lukavac	55	8	167
Živinice	17	0	87

4. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

- Uslijed rada industrije, individualnih ložišta i velikog protoka saobraćaja na području općine Tuzla, Živinice i Lukavac je prisutan problem zagađenja zraka. Na osnovu analize rezultata izmjerenih koncentracija PM_{2,5} za period od 2016. – 2019. godine na svim mjernim stanicama je evidentirano prekoračenje propisane granične vrijednosti što u konačnici može ozbiljno narušiti zdravlje ljudi. Visoke koncentracije ovih materija su prisutne tokom ljetnog i zimskog perioda.

- Slično je stanje i sa koncentracijama sumpordioksida – veliki broj satnih i dnevnih vrijednosti u kojima su mjerene koncentracije bile iznad propisanih. Na mjernom mjestu u periodu od 2016. – 2019. godini izmjerene koncentracije SO₂ su prelazile propisanu graničnu vrijednost. Kada je riječ o mjernom mjestu u Lukavcu u 2017. i 2018. godini je pređena propisana granična vrijednost, dok je u 2016. i 2019. godini izmjerena vrijednost ovog polutanta bila neznatno ispod granične vrijednosti. Također na mjernim mjestima u Tuzli je 2016. i 2017. godine pređena granična vrijednost dok je 2018. i 2019. godine izmjerena vrijednost bila neznatno ispod propisanih vrijednosti.

- Kvalitet zraka u posmatranom periodu istraživanja se poboljšava u pogledu smanjenja koncentracija SO₂ i PM_{2,5} u Tuzli i Lukavcu, međutim njihova koncentracija u zraku ne smanjuje se dovoljno brzo niti je rezultat mjera za smanjenje, odnosno rezultat su smanjenog obima industrijske proizvodnje i manje potrošnje čvrstih goriva u individualnim ložištima i meteorološke faktore. Na temelju analiziranih podataka može se zaključiti da Živinice imaju najlošiju kvalitetu zraka, odnosno ne postoje niti se preduzimaju djelotvorne mjere za znatno poboljšanje kvalitete zraka. Takođe potrebno je na federalnom nivou uspostaviti Agenciju za kontrolu kvalitete zraka kao neovisno tijelo sa akreditiranom laboratorijom koja će vršiti monitoring kvalitete zraka i provjeru emisijskih parametara zagađivača.

- Na osnovu analize rezultata utvrđeno je da dolazi do znatnog povećanja prisustva zagađujućih materija u zraku u sezoni grijanja te se stoga preporučuje zabrana korištenja ugljeva u individualnim ložištima i kotlovnica. Neophodno je uspostaviti niske zone emisije i povećati broj zelenih površina

- Potrebno je izraditi realan i provodiv Plan kvalitete zraka čiji rezultati su mjerljivi sa ciljem da se zagađujuće materije svedu na propisane granične vrijednosti što je jedan od osnovnih zahtjeva iz EU Direktive o kvaliteti zraka. Plan mora sadržavati vremenski okvir sa tačno definisanim aktivnostima i mjerama u cilju smanjenja zagađenja zraka.

- U pogledu iznalaženja optimalnog rješenja za zagađen zrak ključnu ulogu mora imati sistem za podizanje nivoa svijesti i obavještanja javnosti o svim relevantnim pitanjima i informacijama povezanim sa kvalitetom zraka. Postojeći sistem obavještanja građana o kvalitetu zraka, kao i sistem upozoravanja o prekomjernom zagađenju nije dovoljan, te je potrebno izvršiti izmjene i dopune Plana interventnih mjera i javnosti učiniti dostupnim podatke iz arhiva.

- Potrebno je proširiti sistem daljinskog grijanja na općinu Živinice i proširiti postojeću mrežu u Tuzli i Lukavcu. Takođe, potrebno je povećati udio biomase kao zamjenskog energenta u kućnim ložištima uz obezbjeđenje sufinansiranja od strane nadležnih općinskih i kantonalnih tijela. Prednost u projektima zaštite okoliša koje finansiraju nadležne federalne institucije trebaju biti projekti iz domena zaštite zraka.

- Potrebno je izvršiti provjeru opravdanosti postojećih lokacija mjernih stanica, zbog mogućnosti da se monitoring ne vrši u skladu sa standardom koji propisuje pozicije mjernih mjesta, te osigurati ispravnost, kalibraciju i validaciju mjernih stanica kao i mjerenje specifičnih parametara poput benzena, benzo(a)pirena i BTX spojeva u Lukavcu.

- Svijest građana o problematici aerozagađenja na području Tuzle, Živinica i Lukavca nije na zadovoljavajućem nivou. Neophodno je organizirati različite edukacije i stručno osposobljavanje putem radionica po mjesnim zajednicama navedenih gradova na temu smanjenja zagađenja iz individualnih ložišta i prelaska na okolinski prihvatljive energente. Izmijeniti postojeće obrazovne programe u osnovnom i srednjem obrazovanju u smislu povećanja ekološke svijesti, zaštite okoliša i razvoja ekoloških znanja.

5. LITERATURA

- [1] Azmatullah K., Ki-Hyun Kim, Szulejko J. E., (2017), **Long-term trends in airborne SO₂ in an air quality monitoring station in Seoul, Korea from 1987 to 2013**, *Journal of the Air & Waste Management Association* 67(8)
- [2] Đozić A., Vahida Selimbašić V., Hodžić N., Andrejaš F., Stuhli V., Alihodžić H., (2017), **Analiza ambijentalnih koncentracija PM_{2,5} i SO₂ u urbanom području Tuzle i Lukavca**, *Zbornik radova, IV naučno-stručni simpozij, "Poljoprivredna proizvodnja i zaštita okoliša u funkciji razvoja ruralnih područja"* Tuzla, 2017.
- [3] Đozić A., Hodžić N., Selimbašić V., Stuhli V., Alihodžić H. (2018), **Air quality pollution in tuzla and lukavac - comparative review for 2016. and 2017.**, *Zbornik sažetaka Šesti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „5. juni – svjetski dan zaštite okoliša“*, Bihać, 2018. ISSN 2303-5889
- [4] Faganeli Pucerj., Štrumbelj E., (2018), **Impact of changes in climate on air pollution in Slovenia between 2002 and 2017**, *Environ Pollut.* 2018 Nov; 242(Pt A):398-406.
- [5] Guerreiro C.B.B., Foltescu V., , F. de Leeuw (2014), **Air quality status and trends in Europe**, *Atmospheric Environment* 98 (2014)
- [6] Huremović J., Žero S., Bubalo E., Dacić M., Čeliković A., Musić I., Bašić M., Huseinbašić N., Džepina K., Cepić M., Muratović N., Pašalić A., Salihagić S., Krvavac Z., Zelić-Hadžimerović J., Gojak-Salimović S., (2020), **Analysis of PM₁₀, Pb, Cd, and Ni atmospheric concentrations during domestic heating season in Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, from 2010 to 2019**, *Air Quality, Atmosphere & Health*
- [7] Iorga G., (2016), **Air Pollution Monitoring: A Case Study from Romania**, n book: *Air Quality - Measurement and Modeling* (pp.135-162), Chapter: 6
- [8] Jeričević A., Grgičin V. Dž., Telišman Prtenjak M., Vidič S., Bloemen H., (2016), **Analyses of urban and rural particulate matter mass concentrations in Croatia in the period 2006–2014**, *Geofizika*, Vol. 33 No. 2, 2016.
- [9] Liangliang Cui, Jingwen Zhou, Xiumiao Peng, Shiman Ruan & Ying Zhang, (2020), **Analyses of air pollution control measures and co-benefits in the heavily air-polluted Jinan city of China, 2013–2017**, *Scientific Reports volume 10*, Article number: 5423
- [10] Medić, E., Muhamedagić, F., Veladžić, M., Abdić, J., Krupić, A., (2015), **Review of air quality monitoring in Bosnia and Herzegovina with a special accent for 2015**. In the Federation BiH, *Peti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, "5. juni-Svjetski dan zaštite okoliša"*, Bihać, Bosnia and Herzegovina, 29. i 30. juni 2017. godine. *Zbornik Radova 2018* pp.299-306 ref.9
- [11] Rađenović A., Medunić M.; Binoy K. Saikia (2017), **Comparative review of Croatian and Indian air pollution studies with emphasis on pollutants derived by coal combustion**, *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, DOI: 10.17794/rgn.2017.1.5
- [12] Tomassetti L., Torre M., Tratzl P., Paolini V., Rizza V., Segreto M., & Petracchini F., (2019), **Evaluation of air quality and mobility policies in 14 large Italian cities from 2006 to 2016**, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, DOI: 10.1080/10934529.2020.1752070
- [13] Thunis P., Pisoni E., Degraeuwe B., Kranenburg R., Schaap M., Clappier A., (2015), **Dynamic evaluation of air quality models over European regions**, *Atmospheric Environment* 111 (2015)
- [14] **2019 World Air Quality Report Region & City PM2.5 Ranking**

MISLI O PRIRODI!



www.ekologija.ba