



UNIVERZITET U ZENICI
UNIVERSITY OF ZENICA
INSTITUT "Kemal Kapetanović" u ZENICI
INSTITUTE "Kemal Kapetanović" of ZENICA

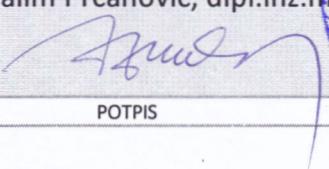
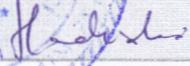


IZVJEŠTAJ B R . 11/22 - EKO
O MJERENJU POLICKLIČKIH AROMATSKIH UGLJKOVODIKA (PAH) I
VOLATILNIH ORGANSKIH SUPSTANCI (VOC) OKO KOKSARE U
„ARCELORMITTAL“ D.O.O. ZENICA

Zenica, maj 2022. godine



Naziv dokumenta:	IZVJEŠTAJ BR.11/22 - EKO O MJERENJU POLICKLIČKIH AROMATSKIH UGLIJKOVODIKA (PAH) I VOLATILNIH ORGANSKIH SUPSTANCI (VOC) OKO KOKSARE U „ARCELORMITTAL“ D.O.O ZENICA
Naručilac:	"ArcelorMittal" d.o.o. Zenica
Pogon:	Koksara
Izvršilac:	UNIVERZITET U ZENICI, Institut "Kemal Kapetanović" u Zenici Ul. Travnička cesta bb, 72 000 Zenica
Šifra:	11/22-EKO

Šef Centra za okoliš: Mr. sc. Halim Prcanović, dipl.inž.maš.	Direktor: Naučni saradnik, Mustafa Hadžalić, dr.sc.
 POTPIS	 POTPIS

Zenica, maj 2022. godine

Sadržaj

UVOD	4
1. LOKACIJA POGONA I POSTROJENJA.....	4
2. OPIS POGONA KOKSARA.....	5
3. OSOBINE POLICKLIČKIH AROMATSKIH UGLJKOVODIKA	6
3.1 Fizičke i hemijske osobine PAH.....	6
3.2 Izvori PAH i benzena	7
4. ZAKONSKI OKVIR.....	8
5. METODE I OPREMA ZA MJERENJE	8
5.1. Metode mjerena	8
5.2. Oprema korišćena u realizaciji mjerenja kvaliteta zraka	9
5. MJERNA MJESTA.....	9
5. REZULTATI MJERENJA	10
5.1. Mjerno mjesto MM1	10
5.2. Mjerno mjesto MM2	13
5.3. Mjerno mjesto MM3	16
5.4. Mjerno mjesto MM4	19
6. ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA	22
PRILOZI.....	23

UVOD

U cilju utvrđivanja kvaliteta zraka u okruženju pogona Koksare kompanije „ArcelorMittal“ d.o.o Zenica (AMZ), a na osnovu narudžbenice br. 4500192419 od 18.02.2022. godine, izvršena su posebna mjerena imisijskih koncentracija policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH) i volatilnih organskih supstanci (VOC). Navedena mjerena su izvršena na 4 lokacije oko pogona Koksare u periodu mjerena:

- od 07.03. do 14.03.2022. godine- Mjerno mjesto 1 (MM1),
- od 14.03. do 21.03.2022. godine - Mjerno mjesto 2 (MM2),
- od 21.03. do 28.03.2022. godine - Mjerno mjesto 3 (MM3),
- od 28.03. do 04.04.2022. godine- Mjerno mjesto 4 (MM4).

1. LOKACIJA POGONA I POSTROJENJA

Kompanija “ArcelorMittal“ d.o.o. Zenica je locirana sjeverozapadno od grada Zenice u dolini rijeke Bosne između lijeve obale rijeke Bosne i regionalnog puta Zenica - Nemila, u podnožju brda Zmajevac, uz željezničku prugu i magistralni put Sarajevo-Doboj.

Kompanija “ArcelorMittal“ d.o.o. Zenica je smještena zajedno sa gradom Zenica u uskoj kotlini površine 25 km², na nadmorskoj visini od 315 m. Kotlina je okružena brdima visine 600 - 1050 m, koja ometaju disperziju emitovanih štetnih materija u šire područje. Kroz središnji dio kotline protiče rijeke Bosna, koja dijeli grad na dvije prostorne cjeline, istočnu i zapadnu.



Slika 1. Satelitski snimak šireg područja kompanije „ArcelorMittal“ d.o.o Zenica

2. OPIS POGONA KOKSARA

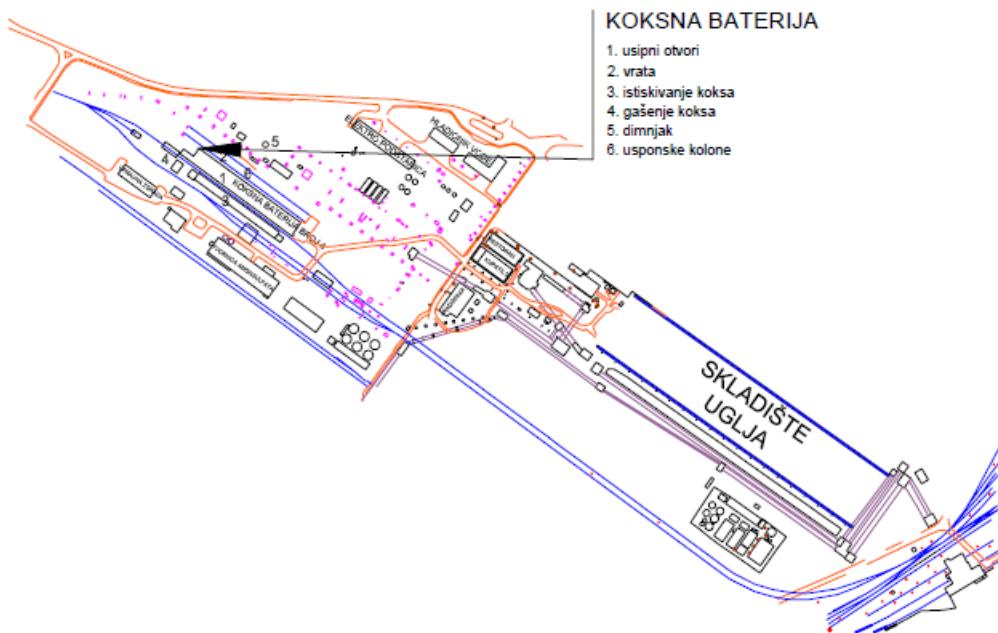
Koksara je pogon u kome se suhom destilacijom (koksovanjem) kamenih ugljeva, bez prisustva zraka, na temperaturama 950 do 1000 °C dobija koks. Koksovanje se vrši u komornim (koksnim) pećima. Koksna baterija ima 65 peći. U procesu zagrijavanja uglja bez prisustva zraka dolazi do složenih hemijskih i fizičko-hemijskih promjena organske materije u uglju, a kao rezultat toga nastaju plinoviti proizvodi i obrazuje se tvrdi ostatak, tj. koks. Koksaru sačinjavaju sljedeće proizvodno-tehnološke cjeline:

- Odeljenje pripreme uglja,
- Odeljenje koksnih peći (koksna baterija) i
- Odeljenje nus proizvoda.

Odeljenje pripreme uglja vrši pripremanje mješavine uglja radi optimiziranja tehnološkog režima koksovanja i dobivanje što kvalitetnijeg koka. Odeljenje koksnih peći (koksna baterija) ima funkciju koksovanja uglja. Loženje koksnih peći moguće je koxnim, visokopećnim ili mješanim plinom. Vrijeme koksovanja uglja u pećima iznosi 14 do 17 sati. U procesu koksovanja uglja izdvajaju se isparljive komponente (vlaga, katran, naftalin, amonijak, benzol, sumporvodik i druga jedinjenja), a struktura uglja se mijenja u specifičnu masu, koja nakon završetka procesa koksovanja predstavlja novu materiju – koks. Koks je osnovno čvrsto gorivo koje se koristi u Visokoj peći za proizvodnju gvožđa i na Aglomeraciji za proizvodnju aglomerata. Odeljenje nus-proizvoda služi za preradu sirovog koksнog plina. Ovo odeljenje se sastoji iz primarnih hladnjaka, elektrofiltera, ekstraktora, dekantera za katran, saturatora, konačnih hladnjaka, ispirača naftalena, destilacione kolone za amonijak i havarijalne baklje koksнog plina. Otpadne vode se prije ispuštanja u rijeku Bosnu obrađuju u biokemijskom postrojenju.

Pri proizvodnji koka u koxnim pećima (baterijama) pored uglja, kao osnovne sirovine za proizvodnju koka, za uložak se rabe i drugi ugljični materijali, što ovisi o vrsti koka koji se proizvodi, a pri čemu dolazi do emisije različitih zagađujućih materija u okoliš. Proces koksovanja se sastoji od niza složenih reakcija karbonizacije (cijepanje, aromatizacija i kondenzacija), pri čemu nastaje koks, a izdvajaju se plinoviti i tekući nusproizvodi (koksni plin, katran itd.). Koksni plin sadrži plinovite i tekuće zagađujuće materije, a to su uglavnom katran, amonijačna voda, benzen i njegovi homolozi, naftalen, amonijak, sulfati, cijanovodonični spojevi i čestice prašine. Većina krutog otpada sadrži opasne tvari kao što su benzen i policiklički aromatski ugljikovodici i sl. U svrhu čišćenja koksнog plina, kako bi se spriječila emisija produkata izgaranja sumpor dioksida (SO_2), azotnih oksida (NO_x) i ugljen monoksida (CO) u zrak pri njegovom korištenju kao plinovitog goriva, obično se koristi oprema za izdvajanje pojedinih štetnih tvari kao što su sumporvodik, katran, benzen, etilbenzen, toluen, ksilen, naftalen, amonijak itd., koje nosi sirovi koksni plin.

Na sljedećoj slici data su mjesta na kojima se javljaju emisije polutanata u zrak, podijeljena po odjeljenjima pogona Koksare.



Slika 2. Izvori emisija u zrak iz pogona „Koksara“

3. OSOBINE POLICKLIČKIH AROMATSKIH UGLJKOVODIKA

Policiklički aromatski spojevi su velika skupina organskih spojeva sastavljenih od kondenziranih aromatskih prstena. S obzirom na strukturu dijele se na policikličke aromatske ugljikovodike (PAH-ove), derivate policikličkih aromatskih ugljikovodika te heterocikličke poliaromatske spojeve.

PAH-ovi su podgrupa policikličkih aromatskih spojeva koji u svojoj strukturi sadrže najmanje dva kondenzirana aromatska prstena sastavljena isključivo od atoma ugljika i vodika. S obzirom na broj kondenziranih aromatskih prstena u strukturi mogu se podijeliti na PAH-ove male molekulske mase tj. one PAH spojeve koji sadrže manje od četiri kondenzirana prstena, te PAH-ove velike molekulske mase koji sadrže četiri ili više aromatskih prstena u svojoj strukturi.

Pojam derivati PAH-ova odnosi se na policikličke aromatske ugljikovodike kod kojih je jedan ili više atoma vodika zamijenjeno alkilnom grupom, dok se pod pojmom heterociklički aromatski spojevi podrazumijevaju oni spojevi kojima je atom ugljika u aromatskom prstenu zamijenjen atomom kisika, dušika ili sumpora.

3.1 Fizičke i hemijske osobine PAH

Čisti, nesupstituirani, policiklički aromatski ugljikovodici obično su, pri sobnoj temperaturi, obojene krutine kristalinične strukture. Fizičke osobine PAH-ova spojeva razlikuju se ovisno o strukturi i molekulskoj masi. Osim naftalena, svi PAH-ovi spojevi su netoplivi ili slabo topljni u vodi te imaju nizak do srednje visok napon para. Topljivost opada s povećanjem broja prstenova u strukturi, pa je tako naftalen najviše topljiv među svim PAH spojevima.

Policiklički aromatski ugljikovodici (PAU ili PAH od engl. riječi Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) čine veliku skupinu organskih spojeva koji sadržavaju dva ili više kondenziranih aromatskih prstenova. Mnogi policiklički aromatski ugljikovodici nemaju sistematizirana imena jer je njihovo istraživanje i proučavanje započelo prije uvođenja sistematske nomenklature. Imena koja su dobili

prema svojim karakteristikama - boji (fluoranten i krizen), imenu spoja iz kojeg su izolirani (npr. iz katrana kamenog ugljena naftalen i piren) ili obliku molekule (koronen), zadržali su do danas.

U zraku je pronađeno više od pet stotina PAH-ova. Najpoznatiji je i najviše proučavan benzo[a]piren (BaP) koji se često koristi kao indikator za prisutnost PAH-ova u hrani i zraku. BaP nije nužno i najzastupljeniji spoj, ali se uvjek javlja kad su prisutni PAH-ovi.

Istraživanja su pokazala da su PAH-ovi s dva ili tri aromatska prstena postojani u plinovitoj fazi te njihova koncentracija u zraku raste s porastom temperature. PAH-ovi s više aromatskih prstenova nalaze se u zraku uglavnom vezani na čestice. Današnja istraživanja u svijetu usmjerena su na proučavanje PAH-ova vezanih na čestice aerodinamičkog promjera manjeg od $10\text{ }\mu\text{m}$, $2,5\text{ }\mu\text{m}$ i $1\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, PM_1), s obzirom na to da je dokazano da se takve čestice duže zadržavaju u atmosferi, prodiru dublje u respiratorični sistem i bolje se povezuju sa štetnim učincima na zdravlje ljudi.

3.2 Izvori PAH i benzena

Najvažniji izvori policikličkih aromatskih ugljikovodika povezani su s ljudskom aktivnošću premda u okoliš mogu dospjeti i prirodnim putem prilikom velikih šumskih požara i vulkanskih erupcija. PAH-ovi se emitiraju u okoliš tokom brojnih procesa kao što su proizvodnja ugljena, sirove nafte, benzina i drugih goriva, prirodnog plina te proizvodnja teških i lakih metala (željeza, čelika, aluminija). Najznačajniji industrijski izvori PAH-ova pre svega uključuju proizvodnju koksa tj. koksovanje uglja, proizvodnju ugljovodoničnih goriva, kao i različite industrijske procese za proizvodnju aluminijuma, gvožđa i čelika. PAH nastaju i prilikom spaljivanja otpada i raznih plastičnih masa u nedopuštenim i nekontroliranim uvjetima, a prisutni su i u ispušnim plinovima motornih vozila. Emisije PAH iz motornih vozila ovise o vrsti motora, njegovu radu i opterećenju, sastavu i vrsti goriva i ulja te starosti vozila. Dizelska goriva emitiraju većinom PAH-ovi manjih molekularnih masa, dok benzinski motori ispuštaju uglavnom PAH većih molekulske masa kao što je benzo[ghi]perilen (BghiP). Kućna ložišta često su jedan od glavnih izvora PAH u naseljima, osobito ako se kao gorivo rabe drvo ili ugljen.

Gotovo sve zagađujuće materije koje se javljaju u emisijama iz procesa proizvodnje koksa mogu dospjeti u zrak. Petrogeni PAH-ovi, koji su u okoliš dospjeli obradom ili slučajnim ispuštanjem fosilnih goriva. Ugljen sadrži složene makromolekule različitog sastava. Pirolizom ugljena nastaje velik broj složenih PAH-ova i heterocikličkih spojeva dušika, sumpora i kisika. Tipični PAH-ovi nastali ukapljivanjem ugljena sadrže od tri do pet prstena u strukturi, kao što su fenantren, fluoren i benzo[a]piren.

Sastav sirove nafte ovisi o izvoru nafte, tlaku i temperaturi prilikom nastanka, strukturi i kemijskom sastavu izvornih stijena i uvjetima u ležištu. Sirova nafta u prosjeku sadrži 30% alkana, 50% cikloalkana, 15% aromatske frakcije, 5% heterocikličkih spojeva s dušikom, kisikom i sumporom, te promjenjive koncentracije organometalnih spojeva s vanadijem, niklom, željezom, natrijem, kalcijem, bakrom i uranom. Naftni derivati koji će nastati procesom rafinacije određeni su intervalom vrednosti pojedine vrste sirove nafte i mogu sadržavati značajne udjele policikličkih aromatskih spojeva. Za sirovu naftu karakteristično je da sadrži značajnu količinu alkil-

supstituiranih naftalena i fenantrena.

Pirogeni PAH-ovi nastaju u industrijskim postrojenjima kao produkt nepotpunog sagorijevanja organske tvari. Najveći udio svih PAH-ova prisutnih u okolišu porijeklom je iz različitih procesa sagorijevanja od kojih su najvažniji industrijski procesi te ispušni plinovi motora s unutarnjim sagorijevanjem.

Na početku reakcije, pri visokoj temperaturi dolazi do cijepanja složenih organskih molekula iz goriva na slobodne radikale manje molekulske mase koji se međusobno povezuju stvarajući PAH-ove. Na količinu i sastav smjese nastale sagorijevanjem organske tvari utjecat će kemijski sastav goriva, temperatura, vrijeme trajanja reakcije i količina zraka, odnosno kisika, koja je na raspolaganju pri gorenju. Od svih navedenih parametara, temperatura ima najveći utjecaj na sastav novonastale smjese, pa će tako pirolitičkim cijepanjem pri nižim temperaturama nastati alkil-supstituirani PAH-ovi, a pri povišenim temperaturama od približno 2000°C nastaju uglavnom nesupstituirani PAH-ovi spojevi. Udio heterocikličkih spojeva kisika, dušika i sumpora u smjesi, koja će nastati sagorijevanjem, ovisi o sastavu goriva.

4. ZAKONSKI OKVIR

Monitoring kvaliteta zraka i ocjena rezultata je izvršena u skladu sa odredbama važeće zakonske regulative u Federaciji BiH:

- Zakon o zaštiti zraka („Službene novine FBiH“, br. 15/21),
- Zakon o zaštiti okoliša („Službene novine FBiH“, br. 33/03; 38/09),
- Pravilnik o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka („Službene novine FBiH“, br. 01/12, 50/19 i 3/21) i
- Pravilnik o izmjenama i dopuni Pravilnika o monitoringu kvaliteta zraka („Službene novine FBiH“, br. 09/16).

Prema Pravilniku o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka („Službene novine Federacije BiH“, br: 1/12, 50/19 i 3/21) za benzo[a]piren u frakciji PM₁₀ propisana je ciljna vrijednost za vrijeme usrednjavanja od 1 godine i iznosi je 1 ng/m³, što je u skladu sa propisima Europske Unije (EU Directive 2004/107/EC) i preporukama Svjetske zdravstvene organizacije. Prema navedenom Pravilniku granična vrijednost za Benzen iznosi 5 µg/m³ za vrijeme usrednjavanja od 1 godine.

5. METODE I OPREMA ZA MJERENJE

5.1. Metode mjerena

Metodologija korištena za identifikaciju PAH-ova i VOC - a:

- BAS EN 14662-3:2017 ambijentalni zrak - Standardna metoda mjerena koncentracije benzena - Dio 3: Automatsko uzorkovanje pumpom sa in situ gasnom hromatografijom,
- BAS EN 12341:2015 ambijentalni zrak - Standardna gravimetrijska metoda za određivanje masene koncentracije PM₁₀ ili PM_{2,5} u suspendovanoj čestičnoj tvari,

- ISO 12884 - Ambijentalni zrak - Određivanje ukupnih (gasne i čestične faze) policikličnih aromatskih hidrokarbona - sakupljanje na filterima i analiza pomoću GC/MS.

5.2. Oprema korišćena u realizaciji mjerena kvaliteta zraka

Mjerenja su vršena sa mobilnom mjernom stanicom koja je opremljena sistemom za uzorkovanje zraka i mjernom opremom kako slijedi:

- Chromatotec air TOXIC – GC 866 - Određivanje koncentracije benzena u ambijentalnom zraku,
- Uredaj DIGITEL DHA-80 – Visoko zapreminske uzorkivač lebdećih čestica PM₁₀ u ambijentalnom zraku,
- Analitička Vaga Radwag (tip: X2 82/220.R2; klasa tačnosti I, mjerni opseg 1 mg -220 g),
- Gasni hromatograf sa masenom spektrometrijskom detekcijom za određivanje koncentracije ukupnih policikličnih aromatskih ugljovodonika u 24-satnim uzorcima lebdećih čestica PM₁₀,
- Uređaji za prikupljanje podataka, kalibracijski sistemi, generatori čistog zraka, te uređaji za mjerjenje meteoroloških parametara.

Uzorkovanje se provodilo prosisavanjem zraka tijekom 24 sata kroz filterski papir s pomoću uzorkivača sa velikim protokom. Upotrebljavali su se filteri od staklenih ili kvarcnih vlakana jer imaju veliku efikasnost zadržavanja lebdećih čestica, dobru čvrstoću i pružaju malen otpor prolaz u zraku. Nakon uzorkovanja uzorci su se pohranjivali u foliju.

5. MJERNA MJESTA

Izbor mikrolokacije se vrši na osnovnu zahtjeva koji su dati u Prilogu I Odjeljak C Pravilnika o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka („Sl. novine FBIH“ broj 1/12, 50/19 i 3/21). Prilikom odabira mjernih mjesta na mikrolokaciji uzeti su u obzir i sljedeći faktori:

- Izvori ometanja,
- Sigurnost,
- Pristup i
- Dostupnost električne energije.

Nakon sagledavanja svih potrebnih parametara izvršen je odabir mjernih mjesta u okruženju pogona „Koksara“. Pregled mjernih mjesta dat je u sljedećoj tabeli, a prikaz mikrolokacije mjerjenja dat je na slici 3.

Tabela 1. Prikaz mjernim mjestima za uzrokovanje

Mjerno mjesto (MM)	Geografska dužina	Geografska širina
MM1	44° 13' 24"	17° 53' 57"
MM2	44° 13' 21"	17° 53' 49"
MM3	44° 13' 13"	17° 53' 47"
MM4	44° 13' 09"	17° 53' 52"

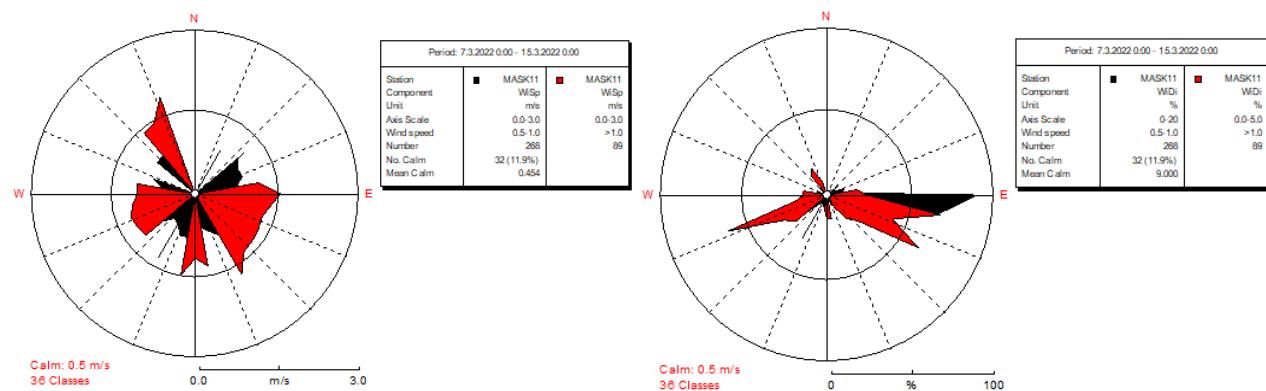


Slika 3. Prikaz mjernih mjesta za mjerjenje PAH-ova i benzena u okolini pogona Koksara

5. REZULTATI MJERENJA

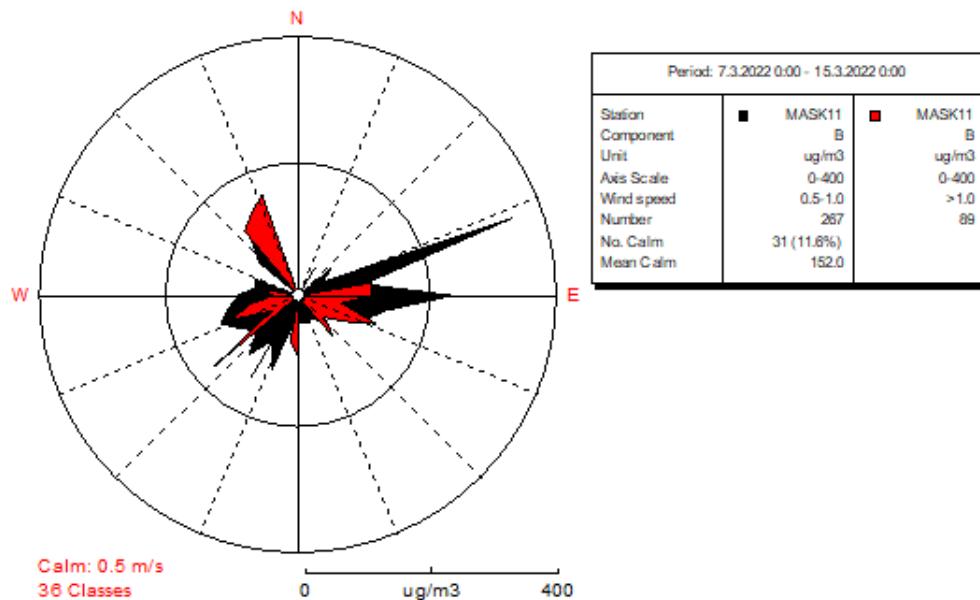
5.1. Mjerno mjesto MM1

U periodu mjerjenja od 07.03.2022. do 14.03.2022. godine na mjenom mjestu MM1 prosječna temperatura iznosila je 0,6 °C, najniža izmjerena temperatura bila je -1,5 °C, a najviša izmjerena temperatura bila je 2,4 °C. Prosječna relativna vlažnost zraka iznosila je 56,8 %, a prosječni pritisak zraka tokom mjerjenja bio je 984,9 mbar. Prosječna brzina vjetra iznosila je 0,8 m/s, a preovladavajući smjer je bio jugoistočni. Opća ruža vjetrova sa mobilne mjerne stanice na lokaciji oko Koksare, mjerno mjesto MM1 prikazane su na narednim slikama.



Slika 4. Ruža vjetrova za period mjerjenja na mjernom mjestu MM1

Na narednim slikama prikazana je ovisnost nivoa koncentracija benzena o smjeru vjetra na osnovu podataka o smjeru i brzini vjetra na lokaciji mjernog mjesto MM1.



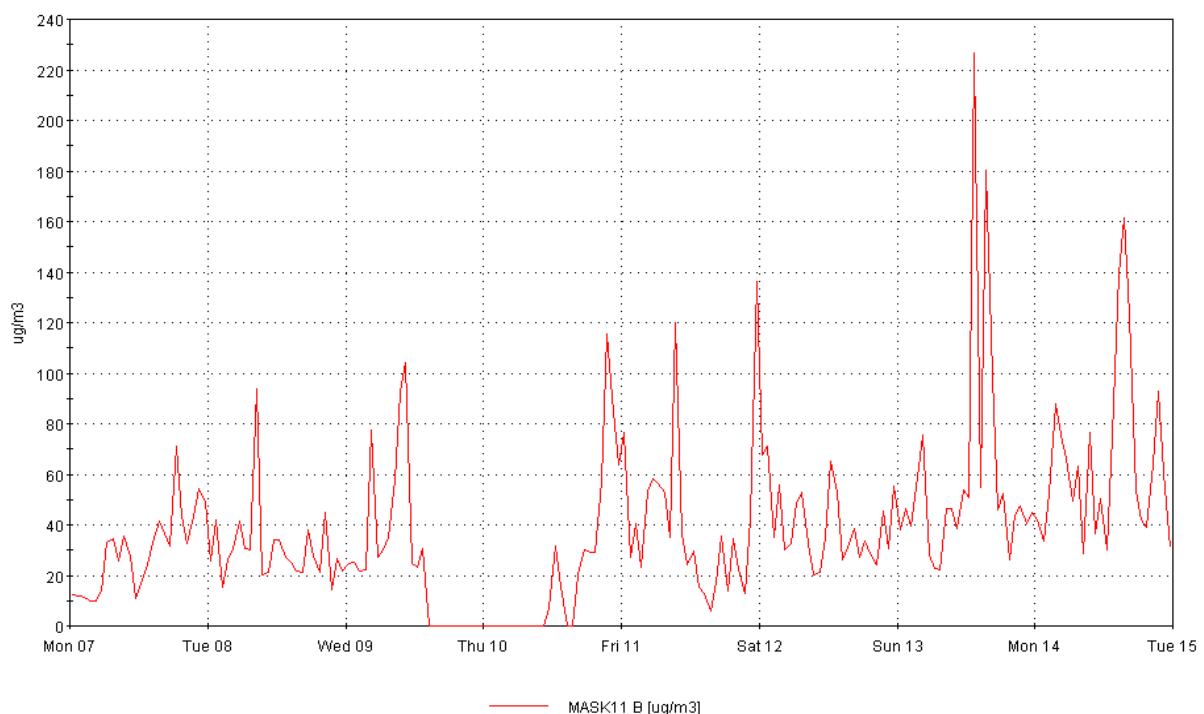
Slika 5. Ovisnost nivoa koncentracije benzena o smjeru vjetra za period mjerena na MM1

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerena benzena, a na slici 6 dat je dijagram satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerena na mjernom mjestu MM1.

Tabela 2. Statistička obrada rezultata mjerena benzena na mjernom mjestu MM1

POKAZATELJ	Period mjerena 07.03.22. - 14.03.22.
Broj validnih satnih prosjeka mjerena	167
Minimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,92
Maksimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	226,4
Maksimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	59,51
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Period mjerena	Koncentracija benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
09.03.2022	24,90
10.03.2022	20,38
11.03.2022	40,97
12.03.2022	40,01
13.03.2022	59,51

Na narednoj slici dat je grafički prikaz satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerena na mjernom mjestu MM1.



Slika 6. Grafički prikaz koncentracija benzena za period mjerjenja na mjernom mjestu MM1

Na osnovu podataka iz tabele 2 i slike 6 može se zaključiti da su srednje dnevne vrijednosti benzena na mjernom mjestu MM1 u periodu mjerjenja bile iznad propisane granične vrijednosti od $5\mu\text{g}/\text{m}^3$, na godišnjem nivou.

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerjenja lebdećih čestica PM_{10} .

Tabela 3. Statistički pokazatelji rezultata mjerjenja PM_{10} na mjernom mjestu MM1

POKAZATELJ	Period mjerjenja: 07.03.22. - 13.03.22.
Minimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	80
Maksimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	130
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Datum uzorka	Koncentracija PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
09.03.2022	125
10.03.2022	130
11.03.2022	99
12.03.2022	80
13.03.2022	106

U narednoj tabeli dati su rezultati analize PAH-ova u 24-satnim uzorcima lebdećih čestica PM_{10} na mjernom mjestu MM1.

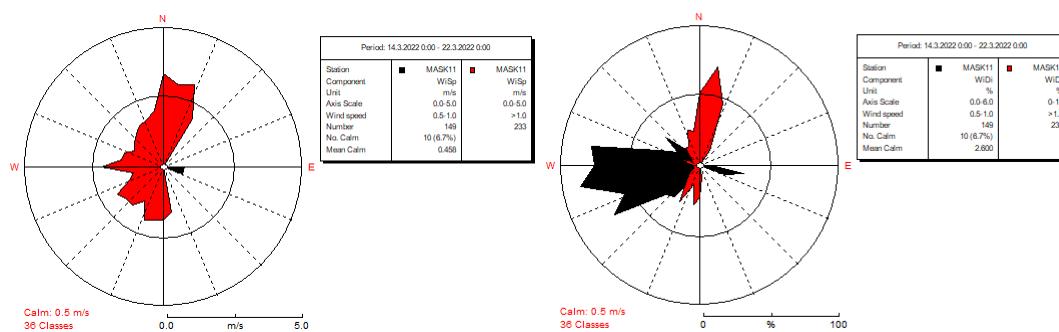
Tabela 4. Rezultati analize PAH - ova u 24 satnim uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ na MM1

Komponenta	Simbol	Datum uzorka				
		09.03.2022.	09.03.2022.	09.03.2022.	09.03.2022.	09.03.2022.
Naftalen (ng/m ³)	Nap	1,68	1,56	1,84	1,25	0,54
Acenaftilen (ng/m ³)	Ane	0,81	1,38	1,36	1,82	0,50
Acenaften (ng/m ³)	Anl	0,09	0,32	0,19	0,35	0,24
Fluoren (ng/m ³)	Fln	0,31	0,63	0,56	0,48	0,31
Fenantren (ng/m ³)	Phen	4,31	6,01	4,90	5,90	3,09
Antracen (ng/m ³)	Ant	0,88	1,21	0,90	1,14	0,59
Fluoranten (ng/m ³)	Flt	15,12	20,42	15,52	17,25	9,29
Pyren (ng/m ³)	Pyr	12,76	17,69	12,79	14,35	8,01
Benzo[a]antracen (ng/m ³)	BaA	8,19	11,76	8,75	14,58	9,56
Krizen (ng/m ³)	Chry	10,87	13,18	12,33	19,33	11,92
Benzo[b]fluoranten (ng/m ³)	BbF	9,14	14,98	9,24	15,51	7,47
Benzo[k]fluoranten (ng/m ³)	BkF	4,56	6,56	4,11	6,80	3,24
Benzo[a]piren (ng/m ³)	BaP	7,18	12,36	6,25	11,38	6,29
Indeno[1,2,3-cd]piren (ng/m ³)	InP	4,09	6,79	3,68	6,56	3,23
Dibenzo[a,h]antracen (ng/m ³)	DahA	0,62	0,98	0,48	0,96	0,46
Benzo[g,h,i]perilen (ng/m ³)	BghiP	4,55	7,59	3,93	7,43	3,67

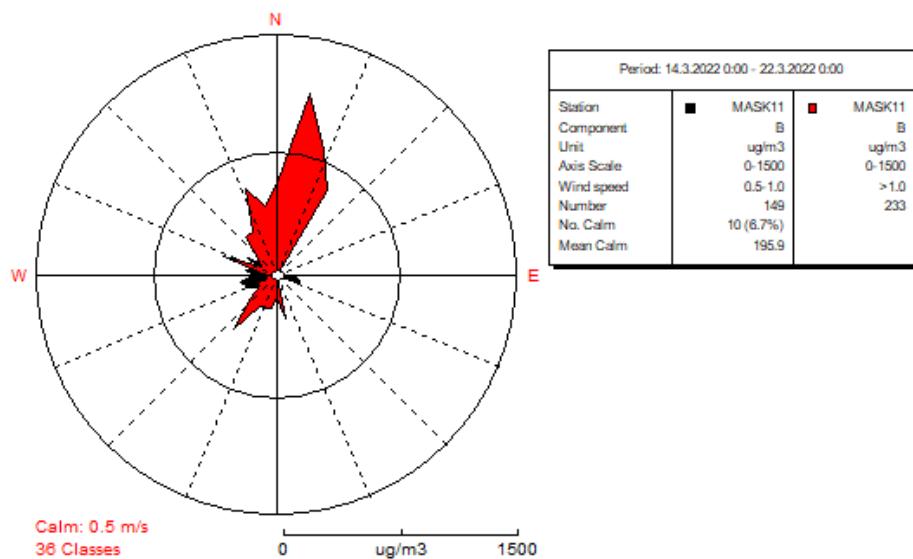
Od svih policikličkih aromatskih ugljikovodika prikazanih u prethodnoj tabeli standardi kvaliteta zraka na godišnjem nivou propisani su samo za benzo[a]piren. Iz tabele je vidljivo da je sadržaj benzo(a)pirena u uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ bio iznad ciljne vrijednost od 1.0 ng/m³, koja je propisana sa ciljem zaštite zdravlja ljudi, u svim uzorcima na mjernom mjestu MM1.

5.2. Mjerno mjesto MM2

U periodu mjerjenja od 14.03. do 21.03.2022. godine na mjenom mjestu MM2 prosječna temperatura iznosila je 5,9 °C, najniža izmjerena temperatura bila je 2,6 °C, a najviša izmjerena temperatura bila je 12,3 °C. Prosječna relativna vlažnost zraka iznosila je 65,1 %, a prosječni pritisak zraka tokom mjerjenja bio je 994,0 mbar. Prosječna brzina vjetra iznosila je 1,6 m/s, a preovladavajući smjer je bio zapadni za vjetrove do 1 m/s, a sjever-sjeveroistočni za vjetrove iznad 2 m/s. Opća ruža vjetrova sa mobilne mjerne stanice na lokaciji oko Koksare, mjerno mjesto MM2 prikazane su na narednim slikama.

**Slika 7.** Ruža vjetrova za period mjerjenja na mjernom mjestu MM2

Na narednim slikama prikazana je ovisnost nivoa koncentracija benzena o smjeru vjetra na osnovu podataka o smjeru i brzini vjetra na lokaciji mjernog mjesto MM2.



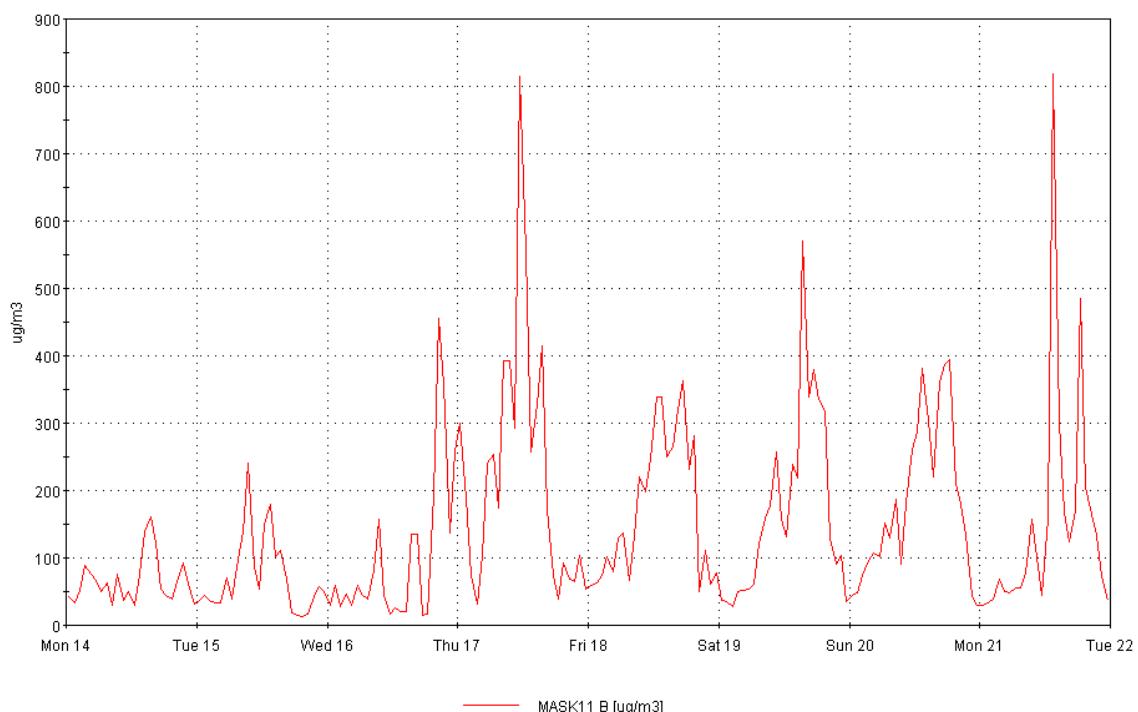
Slika 8. Ovisnost nivoa koncentracije benzena o smjeru vjetra za period mjerena na MM2

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerena benzena, a na slici 9 dat je dijagram satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerena na mjernom mjestu MM2.

Tabela 5. Statistička obrada rezultata mjerena benzena na mjernom mjestu MM2

POKAZATELJ	Period mjerena 14.03.22. - 21.03.22.
Broj validnih satnih prosjeka mjerena	190
Minimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13,22
Maksimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	819,2
Maksimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	228,2
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Period mjerena	Koncentracija benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
16.03.2022	100,37
17.03.2022	228,24
18.03.2022	174,85
19.03.2022	170,09
20.03.2022	183,59

Na narednoj slici dat je grafički prikaz satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerena na mjernom mjestu MM2.



Slika 9. Grafički prikaz koncentracija benzena za period mjerjenja na mjernom mjestu MM2

Na osnovu podataka iz tabele 5 i slike 9 može se zaključiti da su srednje dnevne vrijednosti benzena na mjernom mjestu MM2 u periodu mjerjenja bile iznad propisane granične vrijednosti od 5 µg/m³, na godišnjem nivou.

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerjenja lebdećih čestica PM₁₀.

Tabela 6. Statistički pokazatelji rezultata mjerjenja PM₁₀ na mjernom mjestu MM2

POKAZATELJ	Period mjerjenja: 16.03.22. - 20.03.22.
Minimalna srednja dnevna vrijednost (µg/m ³)	82
Maksimalna srednja dnevna vrijednost (µg/m ³)	132
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Datum uzorka	Koncentracija PM10 (µg/m ³)
16.03.2022	131
17.03.2022	82
18.03.2022	132
19.03.2022	123
20.03.2022	103

U narednoj tabeli dati su rezultati analize PAH-ova u 24-satnim uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ na mjernom mjestu MM2.

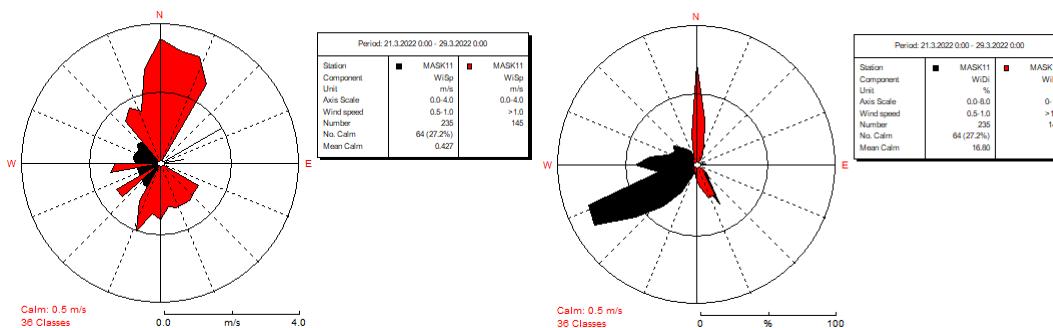
Tabela 7. Rezultati analize PAH - ova u 24 satnim uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ na MM2

Komponenta	Simbol	Datum uzorka				
		16.03.2022.	17.03.2022.	18.03.2022.	19.03.2022.	20.03.2022.
Naftalen (ng/m ³)	Nap	0,78	0,72	0,78	1,36	1,09
Acenaftilen (ng/m ³)	Ane	0,54	0,40	0,68	0,83	0,64
Acenaften (ng/m ³)	Anl	0,07	0,09	0,10	0,17	0,12
Fluoren (ng/m ³)	Fln	0,26	0,26	0,34	0,77	0,45
Fenantren (ng/m ³)	Phen	2,96	3,29	4,86	16,08	14,26
Antracen (ng/m ³)	Ant	0,69	0,67	0,86	3,50	3,65
Fluoranten (ng/m ³)	Flt	9,16	8,85	10,25	42,40	35,17
Pyren (ng/m ³)	Pyr	7,68	7,15	8,04	34,18	29,39
Benzo[a]antracen (ng/m ³)	BaA	2,71	4,78	4,39	35,47	21,24
Krizen (ng/m ³)	Chry	3,93	5,30	6,04	33,28	21,07
Benzo[b]fluoranten (ng/m ³)	BbF	3,27	4,26	6,33	25,17	19,58
Benzo[k]fluoranten (ng/m ³)	BkF	1,83	2,71	2,15	11,97	8,31
Benzo[a]piren (ng/m ³)	BaP	2,59	3,55	3,86	22,98	17,38
Indeno[1,2,3-cd]piren (ng/m ³)	InP	1,70	1,68	2,30	12,11	8,03
Dibenzo[a,h]antracen (ng/m ³)	DahA	0,22	0,27	0,31	1,37	1,19
Benzo[g,h,i]perilen (ng/m ³)	BghiP	2,05	1,87	2,67	13,54	8,81

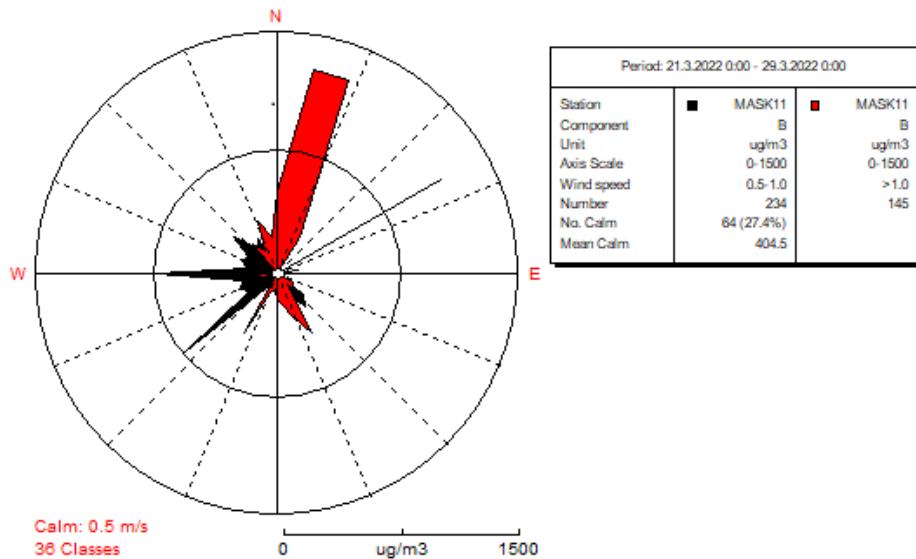
Od svih policikličkih aromatskih ugljikovodika prikazanih u prethodnoj tabeli standardi kvaliteta zraka na godišnjem nivou propisani su samo za benzo[a]piren. Iz tabele je vidljivo da je sadržaj benzo(a)pirena u uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ bio iznad ciljne vrijednost od 1,0 ng/m³, koja je propisana sa ciljem zaštite zdravlja ljudi, u svim uzorcima na mjernom mjestu MM2.

5.3. Mjerno mjesto MM3

U periodu mjerjenja od 21.03. do 28.03.2022. godine na mjenom mjestu MM3 prosječna temperatura iznosila je 8,1 °C, najniža izmjerena temperatura bila je 2,6 °C, a najviša izmjerena temperatura bila je 11,6 °C. Prosječna relativna vlažnost zraka iznosila je 59,4 %, a prosječni pritisak zraka tokom mjerjenja bio je 990,9 mbar. Prosječna brzina vjetra iznosila je 1,3 m/s, a preovladavajući smjer je bio jugozapadni za vjetrove do 1 m/s i sjeverni za vjetrove iznad 2 m/s. Opća ruža vjetrova sa mobilne mjerne stanice na lokaciji oko Koksare, mjerno mjesto MM3 prikazane su na narednim slikama.

**Slika 10.** Ruža vjetrova za period mjerjenja na mjernom mjestu MM3

Na narednim slikama prikazana je ovisnost nivoa koncentracija benzena o smjeru vjetra na osnovu podataka o smjeru i brzini vjetra na lokaciji mjernog mjesto MM3.



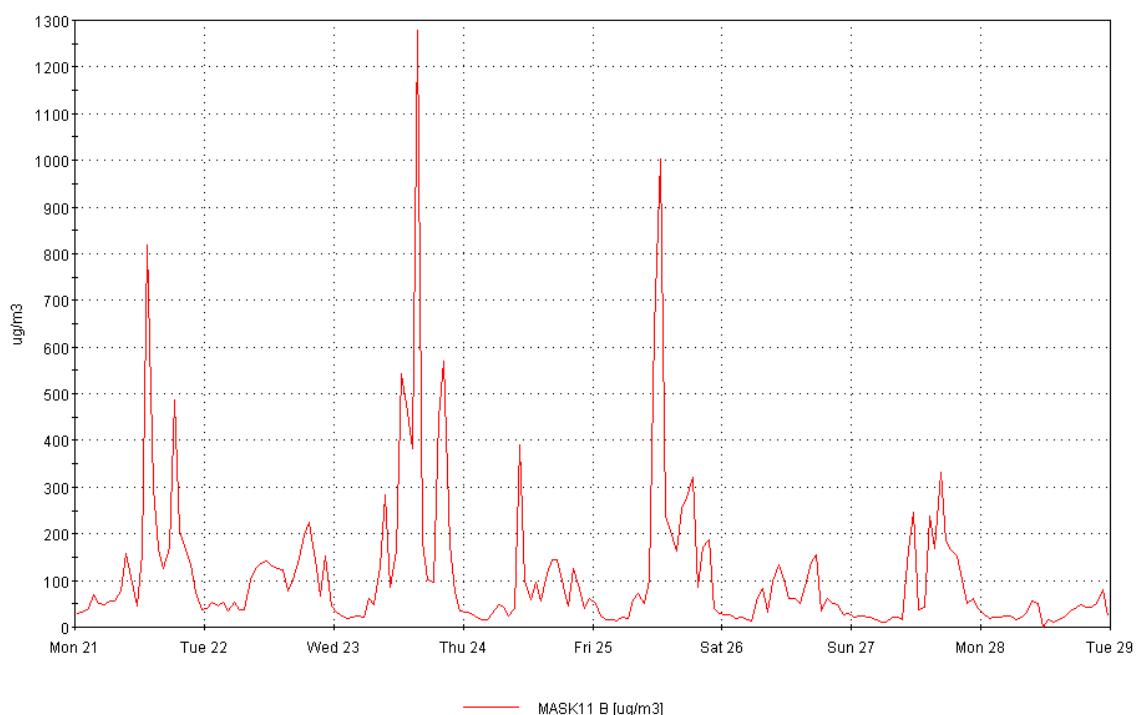
Slika 11. Ovisnost nivoa koncentracije benzena o smjeru vjetra za period mjerjenja na MM3

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerjenja benzena, a na slici 12 dat je dijagram satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerjenja na mjernom mjestu MM3.

Tabela 8. Statistička obrada rezultata mjerjenja benzena na mjernom mjestu MM3

POKAZATELJ	Period mjerjenja 21.03.22. - 28.03.22.
Broj validnih satnih prosjeka mjerjenja	188
Minimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,63
Maksimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1278,9
Maksimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	219,8
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Period mjerjenja	Koncentracija benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
23.03.2022	219,83
24.03.2022	77,06
25.03.2022	169,31
26.03.2022	60,15
27.03.2022	93,63

Na narednoj slici dat je grafički prikaz satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerjenja na mjernom mjestu MM3.



Slika 12. Grafički prikaz koncentracija benzena za period mjerena na mjernom mjestu MM3

Na osnovu podataka iz tabele 8 i slike 12 može se zaključiti da su srednje dnevne vrijednosti benzena na mjernom mjestu MM3 u periodu mjerena bile iznad propisane granične vrijednosti od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na godišnjem nivou.

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerena lebdećih čestica PM_{10} .

Tabela 9. Statistički pokazatelji rezultata mjerena PM_{10} na mjernom mjestu MM3

POKAZATELJ	Period mjerena: 23.03.22. - 27.03.22.
Minimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	121
Maksimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	169
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Datum uzorka	Koncentracija PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
23.03.2022	169
24.03.2022	159
25.03.2022	161
26.03.2022	125
27.03.2022	121

U narednoj tabeli dati su rezultati analize PAH-ova u 24-satnim uzorcima lebdećih čestica PM_{10} .

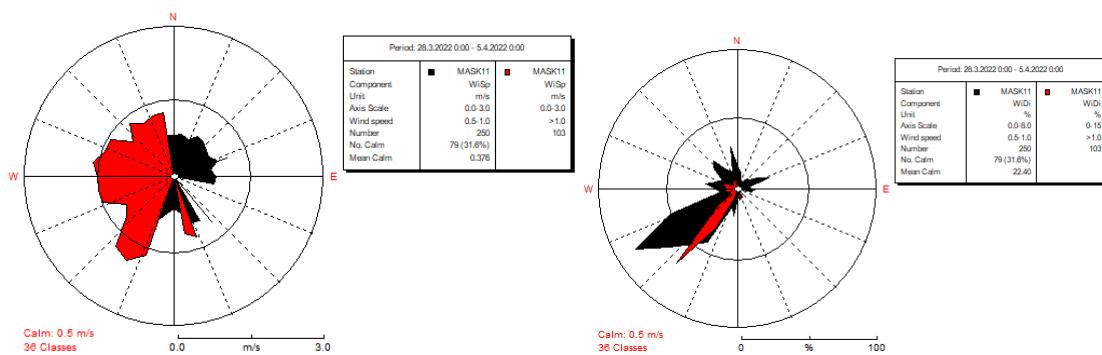
Tabela 10. Rezultati analize PAH - ova u 24 satnim uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ na MM3

Komponenta	Simbol	Datum uzorka				
		23.03.2022.	24.03.2022.	25.03.2022.	26.03.2022.	27.03.2022.
Naftalen (ng/m ³)	Nap	0,55	0,53	0,53	0,49	0,37
Acenaftilen (ng/m ³)	Ane	0,68	0,42	0,40	0,49	0,34
Acenaften (ng/m ³)	Anl	0,21	0,18	0,20	0,16	0,11
Fluoren (ng/m ³)	Fln	0,43	0,22	0,26	0,34	0,23
Fenantren (ng/m ³)	Phen	3,79	3,01	2,44	3,19	2,15
Antracen (ng/m ³)	Ant	0,77	0,60	0,59	0,83	0,41
Fluoranten (ng/m ³)	Flt	19,75	15,03	12,45	13,19	10,53
Pyren (ng/m ³)	Pyr	17,14	12,76	10,89	11,45	8,68
Benzo[a]antracen (ng/m ³)	BaA	18,54	12,64	12,33	12,43	7,79
Krizen (ng/m ³)	Chry	16,84	13,01	11,94	12,57	7,55
Benzo[b]fluoranten (ng/m ³)	BbF	21,65	17,40	15,68	18,37	8,45
Benzo[k]fluoranten (ng/m ³)	BkF	9,78	5,86	4,78	6,92	4,00
Benzo[a]piren (ng/m ³)	BaP	15,19	10,02	9,91	10,16	5,64
Indeno[1,2,3-cd]piren (ng/m ³)	InP	10,04	7,41	7,29	7,75	3,81
Dibenzo[a,h]antracen (ng/m ³)	DahA	0,96	0,69	0,65	0,78	0,37
Benzo[g,h,i]perilen (ng/m ³)	BghiP	12,22	9,01	8,70	8,99	4,49

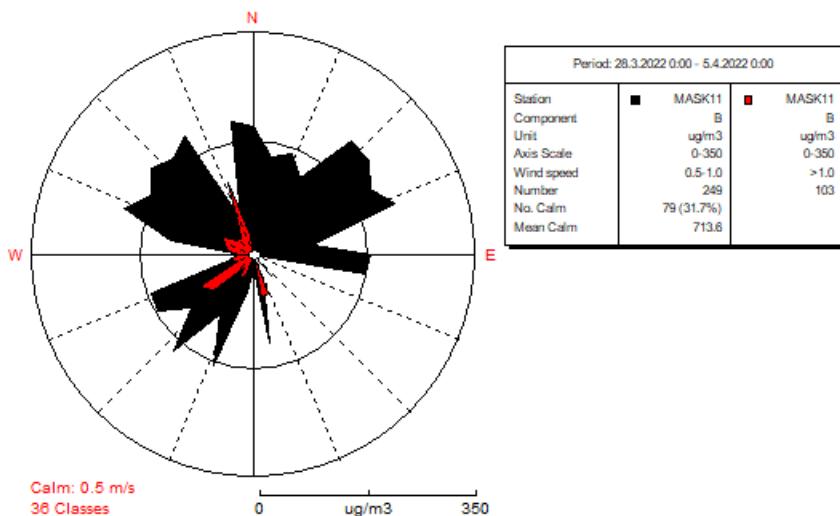
Od svih policikličkih aromatskih ugljikovodika prikazanih u prethodnoj tabeli standardi kvaliteta zraka na godišnjem nivou propisani su samo za benzo[a]piren. Iz tabele je vidljivo da je sadržaj benzo(a)pirena u uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ bio iznad ciljne vrijednost od 1,0 ng/m³, koja je propisana sa ciljem zaštite zdravlja ljudi, u svim uzorcima na mjernom mjestu MM3.

5.4. Mjerno mjesto MM4

U periodu mjerjenja od 28.03. do 04.04.2022. godine na mjenom mjestu MM4 prosječna temperatura iznosila je 10,7 °C, najniža izmjerena temperatura bila je 3,6 °C, a najviša izmjerena temperatura bila je 14,8 °C. Prosječna relativna vlažnost zraka iznosila je 71,9 %, a prosječni pritisak zraka tokom mjerjenja bio je 969,7 mbar. Prosječna brzina vjetra iznosila je 0,94 m/s, a preovladavajući smjer je bio jugozapadni. Opća ruža vjetrova sa mobilne mjerne stanice na lokaciji oko Koksare, mjerno mjesto MM4 prikazane su na narednim slikama.

**Slika 13.** Ruža vjetrova za period mjerjenja na mjernom mjestu MM4

Na narednim slikama prikazana je ovisnost nivoa koncentracija benzena o smjeru vjetra na osnovu podataka o smjeru i brzini vjetra na lokaciji mjernog mjesto MM4.



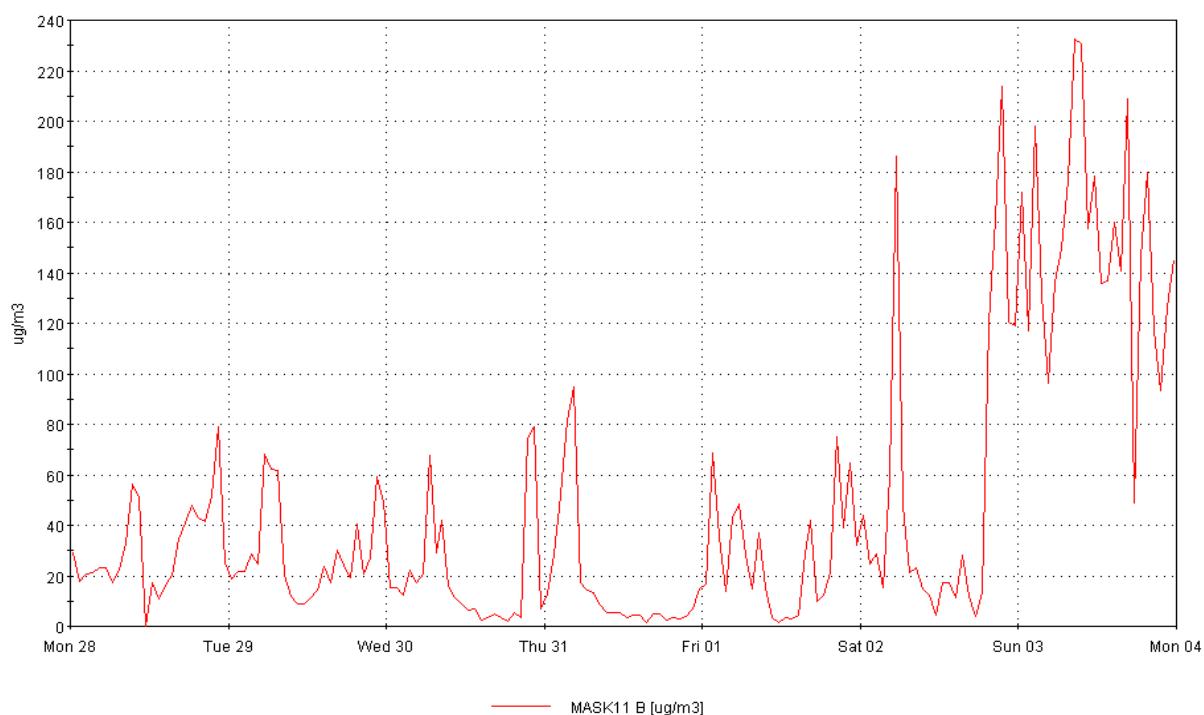
Slika 14. Ovisnost nivoa koncentracije benzena o smjeru vjetra za period mjerena na MM4

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerena benzena, a na slici 15 dat je dijagram satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerena na mjernom mjestu MM4.

Tabela 11. Statistička obrada rezultata mjerena benzena na mjernom mjestu MM4

POKAZATELJ	Period mjerena 28.03.22. - 04.04.22.
Broj validnih satnih prosjeka mjerena	166
Minimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,28
Maksimalna satna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	232,6
Maksimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150,6
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Period mjerena	Koncentracija benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
30.03.2022	19,89
31.03.2022	16,62
01.04.2022	27,60
02.04.2022	55,08
03.04.2022	150,6

Na narednoj slici dat je grafički prikaz satnih koncentracija benzena za navedeni period mjerena na mjernom mjestu MM4.



Slika 15. Grafički prikaz koncentracija benzena za period mjerena na mjernom mjestu MM4

Na osnovu podataka iz tabele 11 i slike 15 može se zaključiti da su srednje dnevne vrijednosti benzena na mjernom mjestu MM4 u periodu mjerena bile iznad propisane granične vrijednosti od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na godišnjem nivou.

U narednoj tabeli prikazani su statistički podaci rezultata mjerena lebdećih čestica PM₁₀.

Tabela 12. Statistički pokazatelji rezultata mjerena PM₁₀ na mjernom mjestu MM4

POKAZATELJ	Period mjerena: 30.03.22. - 04.04.22.
Minimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	55
Maksimalna srednja dnevna vrijednost ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	164
Srednje dnevne vrijednosti koncentracija benzena	
Datum uzorka	Koncentracija PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
30.03.2022	164
31.03.2022	105
01.04.2022	55
02.04.2022	67
03.04.2022	115

U narednoj tabeli dati su rezultati analize PAH-ova u 24-satnim uzorcima lebdećih čestica PM₁₀.

Tabela 13. Rezultati analize PAH - ova u 24 satnim uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ na MM4

Komponenta	Simbol	Datum uzorka				
		30.03.2022.	31.03.2022.	01.04.2022.	02.04.2022.	03.04.2022.
Naftalen (ng/m ³)	Nap	0,54	0,38	0,11	0,23	1,17
Acenaftilen (ng/m ³)	Ane	0,37	0,39	0,48	0,83	1,66
Acenaften (ng/m ³)	Anl	0,28	0,08	0,08	0,13	0,27
Fluoren (ng/m ³)	Fln	0,36	0,45	0,71	1,03	2,67
Fenantren (ng/m ³)	Phen	1,78	3,00	11,02	27,99	59,68
Antracen (ng/m ³)	Ant	0,30	0,54	2,14	8,57	23,18
Fluoranten (ng/m ³)	Flt	3,58	2,57	13,31	52,39	145,93
Pyren (ng/m ³)	Pyr	3,21	2,13	8,59	42,63	128,63
Benzo[a]antracen (ng/m ³)	BaA	2,86	1,74	3,02	40,99	218,82
Krizen (ng/m ³)	Chry	3,50	2,23	3,65	29,49	102,22
Benzo[b]fluoranten (ng/m ³)	BbF	3,90	3,28	5,21	50,96	84,00
Benzo[k]fluoranten (ng/m ³)	BkF	1,84	1,13	1,61	11,40	30,74
Benzo[a]piren (ng/m ³)	BaP	2,15	1,38	2,22	30,46	58,64
Indeno[1,2,3-cd]piren (ng/m ³)	InP	1,89	1,22	1,83	21,45	46,27
Dibenzo[a,h]antracen (ng/m ³)	DahA	0,19	0,10	0,17	2,02	4,13
Benzo[g,h,i]perilen (ng/m ³)	BghiP	2,30	1,60	2,17	23,96	51,22

Od svih policikličkih aromatskih ugljikovodika prikazanih u prethodnoj tabeli standardi kvaliteta zraka na godišnjem nivou propisani su samo za benzo[a]piren. Iz tabele je vidljivo da je sadržaj benzo(a)pirena u uzorcima lebdećih čestica PM₁₀ bio iznad ciljne vrijednost od 1,0 ng/m³, koja je propisana sa ciljem zaštite zdravlja ljudi, u svim uzorcima na mjernom mjestu MM4.

6. ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA

U tabelama prethodnog poglavlja date su masene koncentracije benzene u ambijentalnom zraku te rezultati analize PAH u 24-satnim uzorcima lebdećih čestica PM10. Mjerjenje je izvršeno na 4 mjerna mjesta u neposrednoj blizini pogona Koksara u trajanju po 5 dana u periodu od 07.03.2022. do 04.04.2022. godine.

Srednja satna masena koncentracija benzene u periodu mjerjenja iznosila je 88,74 µg/m³. Maksimalna satna vrijednost registrovana je na mjernom mjestu MM3 i iznosila je 1278,87 µg/m³. Minimalna satna vrijednost registrovana na mjernom mjestu MM4 i iznosila je 1,288 µg/m³.

Srednja vrijednost masenih koncentracija BaP u uzorcima lebdećih čestica u periodu mjerjenja iznosi 11,98 ng/m³. Maksimalna satna vrijednost registrovana je na mjernom mjestu MM4 i iznosila je 58,64 ng/m³. Minimalna satna vrijednost iznosila registrovana je na mjernom mjestu MM4 i iznosila je 1,38 ng/m³.

Kakvo je zapravo stvarno stanje kvaliteta zraka u Zenici kada je u pitanju ovaj polutant, nije lahko dati odgovor. Smatramo da je potrebno uraditi mnogo više mjerjenja na mjernim mjestima izvan kruga kompanije u dužem vremenskom periodu (najmanje jednu godinu) i pri tome sagledati i prisustvo organskih ugljovodonika volatilnih organskih jedinjenja čije je prisustvo utvrđeno na lokaciji koksare, pa tek onda stvarati zaključke o stanju kvaliteta zraka s obzirom na VOC i PAH.

PRILOZI

1. Rješenje br. 05-02-23-320/17 od 24.10.2017. godine o Listi nositelja za izradu Studije o utjecaju na okoliš;
2. Izvještaji broj: 21-09-2806-2815 od 11.04.2022 i 21-09-3019-3028 od 20.04.2022 o rezultatima analize PAH u 24-satnim uzorcima lebdećih čestica PM10;
3. Potvrda o umjeravanju vase - No: 078/20 od 29.05.2020. godine (Masa vase);
4. Uvjerenje o etaloniranju - br. П-22/049 (Uređaj Mla za mjerenje protoka);
5. Potvrda o umjeravanju - br. 221/2021 (Analizator C₆H₆).