

Kvaliteta zraka u zonama Republike Hrvatske

Baričić, Antonia

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:340038>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-09**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Antonia Baričić

KVALITETA ZRAKA U ZONAMA REPUBLIKE HRVATSKE

Diplomski rad

Rijeka, 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Antonia Baričić

KVALITETA ZRAKA U ZONAMA REPUBLIKE HRVATSKE

Diplomski rad

Rijeka. 2019.

Mentor rada: Izv.prof.dr.sc Aleksandar Bulog, dipl.san.ing.

Diplomski rad obranjen je dana _____ u/na _____, pred povjerenstvom u sastavu:

1. _____

2. _____

3. _____

Rad ima 54 stranice, 23 slike , 12 tablica, 18 literaturnih navoda.

Sažetak

Zrak je osnovna potreba čovječanstva, te sve češća zagađenja i snižavanja kvalitete zraka direktno utječu i na kvalitetu življenja. Jedni od osnovnih onečišćivača zraka su ujedno i lebdeće čestice. One su sastavni dio mnogih onečišćujućih tvari, te se dijele s obzirom na promjer. Veliki značaj imaju i za sami ekosustav, narušavajući prvenstveno čovjeka, a zatim vegetaciju i životinjski svijet.

U ovom radu promatrana je kvaliteta zraka s obzirom na zone Republike Hrvatske. Promatrani su rezultati automatskih mjernih postaja. Uzete su tri zone, iz različitih krajeva Republike Hrvatske, zona Dalmacije, Rijeke i Osijeka. Promatrane su koncentracije PM_{10} čestica u razdoblju od tri kalendarske godine, 2015. , 2016. i 2017. godina.

Praćene su maksimalne, srednje vrijednosti, broj podataka unutar granica, broj dana prekida mjerenja, pokrivenost te broj prekoračenja propisane granične vrijednosti.

Uočeno je kako je koncentracija onečišćujućih čestica veća na kopnu nego li je na priobalju.

Ključne riječi : zrak, onečišćenje, PM_{10} , zone, granične vrijednosti

Summary

Air is the basic necessity of mankind, and more frequent pollution and lowering of air quality also directly affect the quality of life. One of the basic air pollutants is also floating particles. They are an integral part of many pollutants, and are divided by diameter. They also have great significance for the ecosystem itself, primarily destroying man, then vegetation and the animal world.

This paper looked at the quality of air with regard to the zone of the Republic of Croatia. The results of automatic measuring stations were observed. There are three zones from different parts of the Republic of Croatia, the area of Dalmatia, Rijeka and Osijek. The concentrations of PM₁₀ particles were observed during the three calendar years, 2015, 2016 and 2017.

The maximum, mean values, the number of data within the limits, the number of interruption times, the coverage and the exceedance of the prescribed limit value were monitored. It was noted that the concentration of pollutant particles is on the land but on the coast.

Key words: air, pollution, PM₁₀, zone, boundary value

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Onečišćenje zraka..... | 2 |
| 1.1.1. Širenje onečišćenja zrakom | 3 |
| 1.1.2. Izloženost ljudi onečišćenom zraku | 4 |
| 1.1.3. Učinci onečišćenog zraka..... | 4 |
| 1.2. Lebdeće čestice | 7 |
| 1.3. Utjecaj lebdećih čestica na zdravlje ljudi | 8 |
| 1.4. PM ₁₀ čestice..... | 10 |
| 1.5. Nadzor nad onečišćenjem zraka..... | 11 |
| 1.6. Zakonska regulativa..... | 12 |
| 1.7. Kvaliteta zraka | 14 |
| 1.8. Mreža praćenja kvalitete zraka..... | 15 |
| 1.8.1. Državna mreža za trajno praćenje..... | 15 |
| 1.8.2. Lokalna mreža za praćenje | 17 |
| 1.8.3. Mjerna postaja RIJEKA – 2 | 20 |
| 1.8.4. Mjerna postaja Polača (Ravni kotari)..... | 22 |
| 1.8.5. Mjerna postaja OSIJEK – 1 | 23 |
| 2. CILJ ISTRAŽIVANJA | 25 |
| 3. MATERIJALI I METODE..... | 26 |
| 3.1. GRIMM EDM 180 | 26 |
| 3.2. Thermo Anderson ESM FH 62 I – R..... | 29 |
| 3.3. Test ekvivalencije..... | 32 |
| 3.3.1. Primjer testa ekvivalencije | 32 |
| Metoda proračuna..... | 33 |
| Rezultati studije..... | 34 |
| 4. REZULTATI | 37 |
| 4.1. Polača (Ravni kotari) | 37 |
| 4.2. Rijeka – 2 | 40 |
| 4.3. Osijek-1 | 43 |

| | |
|---------------------|----|
| 5. RASPRAVA..... | 48 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 52 |
| 7. LITERATURA | 53 |

1. UVOD

Jedna od esencijalnih potreba čovječnstva je potreba za zrakom. Zrak kao takav svakom bi čovjeku trebao pružiti adekvatnu i ujedno kvalitetnu opskrbu organizma.

Atmosferski zrak mehanička je smjesa dušika, kisika, ugljičnog dioksida i plemenitih plinova, kao što su argon, neon, ksenon, te helij. Na morskoj razini zrak prosječno sadržava oko 78 % dušika, oko 21 % kisika, 0,93 % argona te oko 0,03 % CO₂.

Čovjeku je zrak neophodan za život, a atmosfera, plinoviti omotač oko Zemlje, omogućuje život na zemlji. Atmosfera je nastala oslobađanjem plinova s površine Zemlje te ima bitna svojstva i višestruku funkciju. Štiti nas od raznih vrsta štetnih utjecaja iz svemira, prije svega od zračenja I prejake sunčane topline. Atmosfera omogućuje i prijenos sunčane energije, uvjetuje kretanja zračnih slojeva (nastanak vjetra), isparavanja vode s tla i njezino kruženje u prirodi, što uz ostalo omogućuje vrlo bogat i raznovrstan život u vodi. Atmosfera kao složen sustav sadržava plinove, pare, čestice i aerosole. Obično se prema temperature i visini rasprostiranja, dijeli na troposferu, koja se prostire od praktički površine Zemlje do 10 – 12 km (iznad ekvatora i do 15 km) udaljenosti, stratosferu, koja se nalazi između 12 – 13 km od Zemlje pa do približno 50 km, mezosferu između 50 i 100 km, termosferu od 100 do približno 500 km od Zemlje te ekosferu koja doseže 1 000 km udaljenosti.

Temperatura atmosfere nije konstantna, već ovisi o apsorpciji sunčane temperature i zračenja te o različitim mehanizmima transporta energije između površine Zemlje (tlo u voda) i atmosfere, a u odnosu je i s nadmorskom visinom, zemljopisnom širinom, godišnjim dobom, količinom oblaka i nizom drugih faktora.

Dnevno čovjek udahne od 10 do 20 tisuća litara zraka (10 – 20 kg). Količina ovisi o tjelesnoj konstituciji i aktivnosti. Usporedimo li to s prosječnim dnevnim konzumiranim količinama hrane (do 1,5 kg) i vode (do 2 kg), vidimo da promjene kvalitete zraka mogu imati (i imaju) značajan utjecaj na čovjekovo zdravlje. Posebno je to naglašeno kod djece. Primjerice, trogodišnje dijete u mirovanju udahne dvostruko više zraka u odnosu na masu, uspoređujući to s odraslim čovjekom.

Osim toga, pluća djeteta rastu i razvijaju se pa su u slučaju prisutnosti onečišćenog zraka posljedice dugotrajnije i teže, ponekad i ireverzibilne. Raspoložive količine zraka po osobi procjenjuju se na oko 2,5 milijuna tona, što u usporedbi s dnevnom potrošnjom od 10 do 20 kg daje lažan osjećaj sigurnosti o postojanju velikih rezervi te o tome da se štetne tvari mogu bez posljedica otpuštati u zrak. Nažalost, iskustvo je pokazalo da je onečišćenje zraka jedan od najvećih problema u svim zemljama, neovisno o stupnju razvoja, tim više što ono ne poznaje državne granice, a onečišćenja mogu doseći vrlo velike udaljenosti (stotine i tisuće kilometara) od izvora. (1)

Stoga je mnogo ljudi izloženo onečišćenom zraku, kako pojedini dijelovi svijeta tako i sama Republika Hrvatska unutar svojih zona.

1.1. Onečišćenje zraka

Pojam *onečišćenog zraka* uključuje prisustvo tvari u sastavu zraka koje mu u prirodnom obliku nisu svojstvene. Kada govorimo o samom onečišćenju zraka ,i obliku u kakavom se on pojavljuje, govorimo o aerosolima i lebdećim česticama, ovisno o kemijskom sastavu i veličini četica na koje nailazimo. ,

Ukoliko su čestice veće od 10 μm ,tada ih nalazimo u obliku prašine , veličine između 1 i 10 μm u obliku aerosol, a čestice manje od 1 μm u obliku dimova.

Ovisno o koncentracijama u kojima se pojavljuju, uzrokuju razna oštećenja, kako okoliša te biljnog i životinjskog svijeta, tako prvenstveno kod čovjeka, prostora u kojem on boravi te predmeta koje svakodnevno upotrebljava te mu na taj način znatno smanjuje kvalitetu življenja i njegovu esencijalnu potrebu pretvara u svojevrstan problem.

Upravo čovjek sam je najveći uzrok onečišćenja zraka. Onečišćeni zrak posljedica je nekolicine svakodnevnih stvari. Prvenstveno upotreba fosilnih goriva za proizvodnju električne energije narušava kvalitetu zraka, a zatim industrijske djelatnosti, promet , sagorijevanje ložišta, rudarstvo te kuhanje i pušenje.

Na popisu onečišćivača zraka nalaze se i razne anorganske i organske tvari, a posljedice za čovjeka i njegova dobra ovise o njihovim svojstvima, koncentraciji u zraku i vremenu izloženosti (dužini ekspozicije).

Prema svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO) , najčešće štetne tvari u vanjskom zraku dijelimo u tri veće skupine :

1. Kemijski kontaminanti
2. Fizikalno kemijski kontaminanti
3. Biološki kontaminanti

Kada govorimo o kemijskim kontaminantima ,najveći dio pozornosti odlazi upravo na takozvane *klasične onečišćivače zraka* (sumporni dioksid, dušikovi oksidi, ozon i drugi fotokemijski oksidansi), ostatak skupine čine druge anorganske štetne tvari (metali i nemetali ; kadmij, arsen, azbest, olovo) , te organske štetne tvari (CO, benzene, PAH, BTEX, lakohlapljive organske tvari, formaldehid, stiren).

U skupini fizikalno kemijskih kontaminanata nalaze se dim i prašina – respirabilni prag, radon I njegovi raspadni produkti kratkoga vremena poluraspada , cigaretni dim.

Biološki kontaminanti su mikroorganizmi (bakterije, virusi, gljive) , alergeni te cvjetni prah.

1.1.1. Širenje onečišćenja zrakom

U početku je onečišćenje zraka najčešće lokalni problem okolice izvora onečišćenja.

Tako i ostane ako je (su) izvor (i) onečišćenja zraka jednokratni, kratke i/ili povremene aktivnosti. Ako se radi o kontinuiranom i/ili trajnom izvoru onečišćenja zraka ,dolazi do prenošenja onečišćenog zraka na veće ili manje udaljenosti i na taj način onečišćeni zrak postaje globalan problem.

Kada onečišćenje jednom dođe u zrak može se širiti različitim putevima (zrakom, vodom, biološkim organizmima, hranom), a ovisi o mnogim faktorima : meteorološkim uvjetima (brzini,

smjeru vjetra i stabilnosti atmosfere) , visini emisijskog izvora, lokalnim, ali i regionalnim zemljopisnim karakteristikama te vrsti izvora. (1)

1.1.2. Izloženost ljudi onečišćenom zraku

Najčešći način je izravno udisanjem čovjeka, ali i preko kože te uporabom kontaminirane vode i hrane. Onečišćenje zraka nije jednakomjerno pa su i na malim udaljenostima moguće velike razlike u količini unosa štetnih tvari. Osim toga, unos ovisi i o vrsti aktivnosti uzimajući u obzir način života. Nisu svi stanovnici jednako osjetljivi na onečišćenje zraka, već su primjerice uvjetovani životnom dobi, trudnoćom, prehranom, genetskim karakteristikama i općim zdravljem.

Učinci na zdravlje i okoliš događaju se i daleko od izvora onečišćenja, u smislu vremena, ali i udaljenosti. (1)

1.1.3. Učinci onečišćenog zraka

Dokazano je kako u područjima onečišćenoga zraka ljudi više obolijevaju, kraće i nekvalitetnije žive i mlađi umiru, odnosno povišen je morbiditet od akutnih bolesti (osobito, ali ne i isključivo, od bolesti dišnog sustava). Češća su kronična stanja (prije svega od respiratornih bolesti), ali su i učestalije atake pogoršanja i recidiva kod već razvijenih kroničnih stanja u uvjetima trajno onečišćene atmosfere. Na kraju, i opći mortalitete, u većoj ili manjoj mjeri, viši je u odnosu na područja bez zagađenog zraka.

Učinke na zdravlje dijelimo na akutne i kronične posljedice onečišćenog zraka te na reverzibilne i ireverzibilne. Reverzibilne su posljedice : akutni respiratorni simptomi u djece i odraslih , napadi astme djece i odraslih, smanjena respiratorna funkcija (smanjen ventilacijski kapacitet), iritacija očne i nosne sluznice, glavobolje, bolesti srca i krvnih žila. Ireverzibilne su posljedice : ireverzibilne promjene plućnog parenhima, pojava malignih bolesti i skraćenje životnog vijeka.

Oblik i opseg zdravstvenih promjena ovise o stupnju i vrsti onečišćenja. Najčešće su prisutne smetnje gornjih dišnih puteva, poput nadražaja sluznice, kašlja i plićeg disanja, potom iritacije očne i nosne sluznice i osjećaja umora. Bolesnicima s astmom i sličnim kroničnim plućnim bolestima, nerijetko se pogorša osnovna dijagnoza ako su izloženi onečišćenom zraku. Praktički, sve bolesti gornjih i donjih dišnih puteva češće su i pogoršavaju se kada je onečišćen zrak. Znaci od strane srca i krvnih žila također se pojavljuju, a osobito kada je zrak onečišćen ugljičnim monoksidom, jer tada dolazi do smetnji u prijenosu kisika. Nadražaj sluznica gornjih i donjih dišnih puteva, kao i očne sluznice znak su visokoga stupnja onečišćenja unutarnjeg zraka. Zbog razlika u stupnju onečišćenja prepoznati ih je mnogo teže. Iritacija očne sluznice najčešće je povezana s visokim koncentracijama čestica prašine i fotokemijskog smoga. Pojava malignih bolesti povezanih s onečišćenim zrakom posljedica je i profesionalne izloženosti, primjerice kod proizvodnje azbesta, rada u rudnicima i topionicama.

Osim štetnog utjecaja na zdravlje ljudi, onečišćen zrak utječe i na okoliš. Osobito je negativan utjecaj onečišćenoga zraka na biljke i životinje te na ubrzano propadanje zgrada i ostalih čovjekovih dobara.

Biljke, što se posebno uočava na kulturama koje čovjek rabi za hranu i druge namjene (šćerna repa, rajčica, zob), sporije rastu, imaju manji prinos, oslabljenu strukturu stabljike i lišća, gube zelenu boju (kloroza) i brže propadaju (nekroza). Osim toga, prisutne štetne tvari u zraku dospijevaju u zemlju i vodu te uzrokuju njihovo onečišćenje. Neke se biljke, zahvaljujući njihovoj osjetljivosti na pojedina onečišćenja, upotrebljavaju kao indikatorski organizmi stupnja onečišćenja.

Životinje su također vrlo osjetljive na atmosfersko onečišćenje, što je i potkrijepljeno primjerima njihovog masovnog pobolijevanja i ugibanja pri akutnom i naglo pogoršanju atmosferskih prilika. Osim toga, kod domaćih životinja primijećen je usporen rast te, primjerice manji broj potomaka, manji prinos jaja i mlijeka.

Raznolika su i proširena djelovanja onečišćenoga zraka na ljudska dobra i na kvalitetu njihova života. Ne ulazeći u pojedinosti onečišćenje zraka sigurno ima znatan, ako ne i presudan učinak i na turizam, promet, na ubrzano propadanje zgrada. Onečišćenje zraka glavni je razlog vremenskog ograničenja uporabe mostova, vijadukata i sličnih konstrukcija

zbog potrebe intenzivnijeg održavanja putem pranja, čišćenja i potrebe za primjenom kemijske zaštite (primjerice, učestalijim bojanjem ili primjenom drugih protektivnih premaza), ali i zbog izravnoga kemijskoga štetnoga, počesto ireverzibilnog reagiranja s materijalima.

U zadnje vrijeme govori se globalnim klimatskim promjenama koje su blisko povezane s onečišćenjem zraka. (1)

Tablica 1. prikazuje kako onečišćeni zraj utječe na djecu i odrasle, simptome bolesti, udio bolesnika i godišnji broj slučajeva .

Tablica 1. . Utjecaj zagađenog zraka na populaciju djece i odraslih

Izvor: WHO European Center for Environment and Health

| SIMPTOM BOLESTI VEZAN UZ ZAGAĐENJE ZRAKA | UDIO BOLESNIKA VEZAN UZ ZAGAĐENJE ZRAKA | GODIŠNJI BROJ SLUČAJEVA |
|--|---|-------------------------|
| Kašalj i iritacija očne sluznice (djeca) | 0,4 - 0,6 % | 2,6 – 4 miliona |
| Bolest donjih respiratornih puteva (djeca) | 7 – 10 % | 4 – 6 miliona |
| Bolest donjih respiratornih puteva (djeca)- potrebno liječenje | 0,2 – 0,4 % | 90 – 200 tisuća |
| Smanjenje plućne funkcije za više od 5% | 19 % | 14 miliona |
| Incidencija kronične obstruktivne plućne bolesti (KOPB) | 3 – 7 % | 18 – 42 tisuće |
| Hospitalizacija zbog plućne bolesti | 0,2 – 0,4 % | 4 – 8 tisuća |

1.2. Lebdeće čestice

Lebdeće čestice su uobičajeni pokazatelji onečišćenja zraka. Utječu na ljude više nego bilo koji drugi zagađivač sastavljen od složene mješavine čvrstih i tekućih čestica organskih i anorganskih tvari suspendiranih u zraku

U zraku nalazimo mnogo lebdećih čestica različitih veličina i svojstava. Veće čestice brzo padaju na tlo, najčešće blizu mjesta nastanka. Ljudi koji su njima izloženi imaju poteškoće radi iritacije očiju, nosne sluznice i gornjih dišnih puteva. Čestice manje od 10 mikrona (PM_{10}) nazivamo inhalabilnim lebdećim česticama i dopijevaju do krajnjih dijelova plućnog parenhima i lako prodiru u krvni optok. To se posebno odnosi na čestice manje od 2,5 mikrona ($PM_{2,5}$).

Različit je doprinos pojedinih spojeva i djelatnosti čovjeka na onečišćenje zraka. Razlikuje se i ovisno o zemljopisnoj širini i dužini, kao i o regionalnim zemljopisnim karakteristikama, razvijenosti zemlje, ukupnim meteorološkim (brzina, smjer vjetrova i stabilnost atmosfere) i temperaturnim uvjetima, vrsti izvora onečišćenja (točkasti, linijski, raspršeni), visini emisijskog izvora (prometni prizemni, nasuprot visokih industrijskih dimnjaka) itd. (1)

Lebdeće čestice se pojavljuju u različitim promjerima. Ukoliko govorimo o česticama promjera 10 mikrometara, što je otprilike kako debljina ljudske dlake, govorimo o izrazito malim česticama koje zbog svoje sitnoće lako prodiru u pluća i mogu uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme.

Neke od takvih tvari su crni ugljen, morska sol, prašina i zgusnute čestice određenih kemikalija.

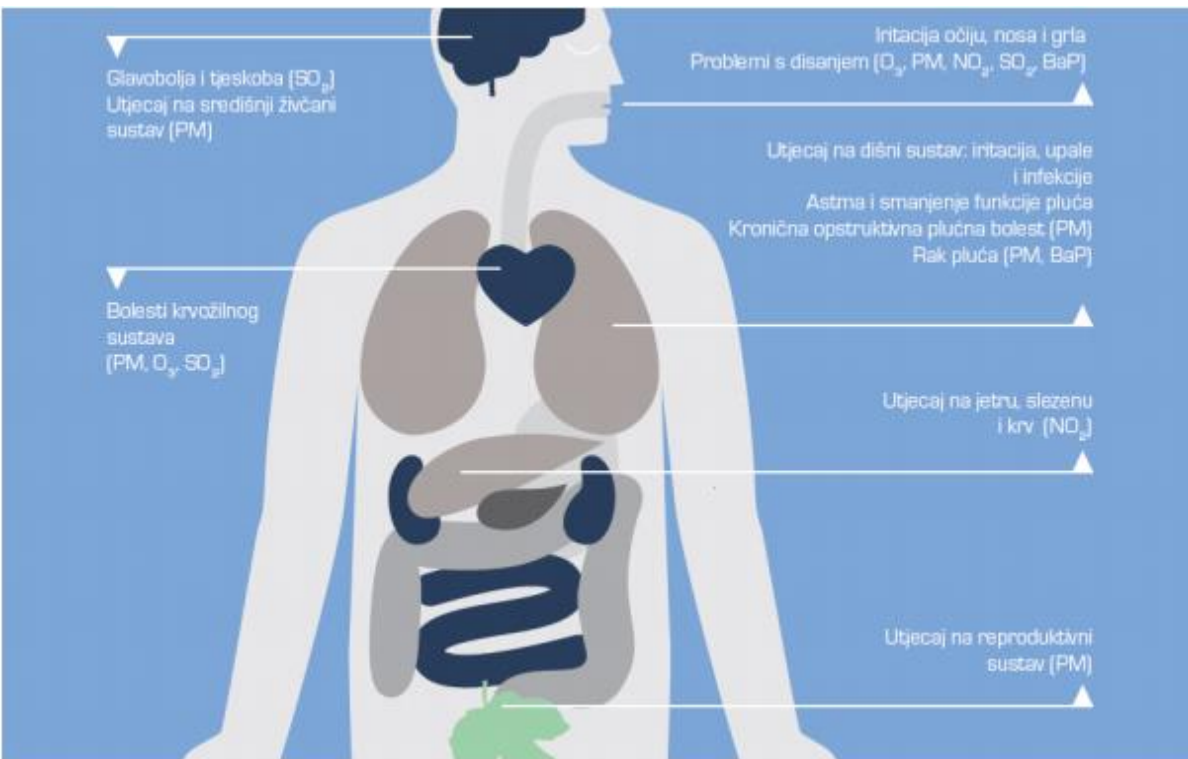
Izvori emisija lebdećih čestica s kojima se susrećemo su oni prirodni (poput šumskih požara, prašina, vulkani itd.) i oni umjetni kao što su kruta i fosilna goriva, građevinski radovi, automobile, industrija i mnogi drugi.

1.3. Utjecaj lebdećih čestica na zdravlje ljudi

Postoji bliska veza između izlaganja visokim koncentracijama malih čestica (PM_{10}) i ($PM_{2,5}$) i povećane smrtnosti ili pobola. Nasuprot tome, kada se smanje koncentracije malih i finih čestica, povezana smrtnost će se također smanjiti - pretpostavljajući da drugi faktori ostaju isti. To omogućuje kreatorima politika da projiciraju poboljšanja zdravlja stanovništva koja se mogu očekivati ako se smanji onečišćenje zraka česticama. (2)

Onečišćenje malim česticama utječe na zdravlje čak i pri vrlo niskim koncentracijama - doista nije utvrđen prag ispod kojeg se ne uočava šteta za zdravlje.

Lebdeće čestice najvećeg utjecaja imaju na respiratorni sustav i izazivanje respiratornih bolesti. Uzmemo li za primjer čestice $PM_{2,5}$, imaju male promjere, ali velike površine i stoga mogu nositi razne toksične tvari, prolazeći kroz filtraciju nosnih dlačica, dosežući kraj respiratornog trakta s protokom zraka i tamo se nakupljaju difuzijom, oštećujući druge dijelove tijela kroz izmjenu zraka u plućima. Štoviše, odrasli koji su izloženi drugim visokim razinama zagađenja okolnog zraka, na primjer PM_{10} i grubim česticama, također su pokazali povećanu prevalenciju respiratornih bolesti. (3)



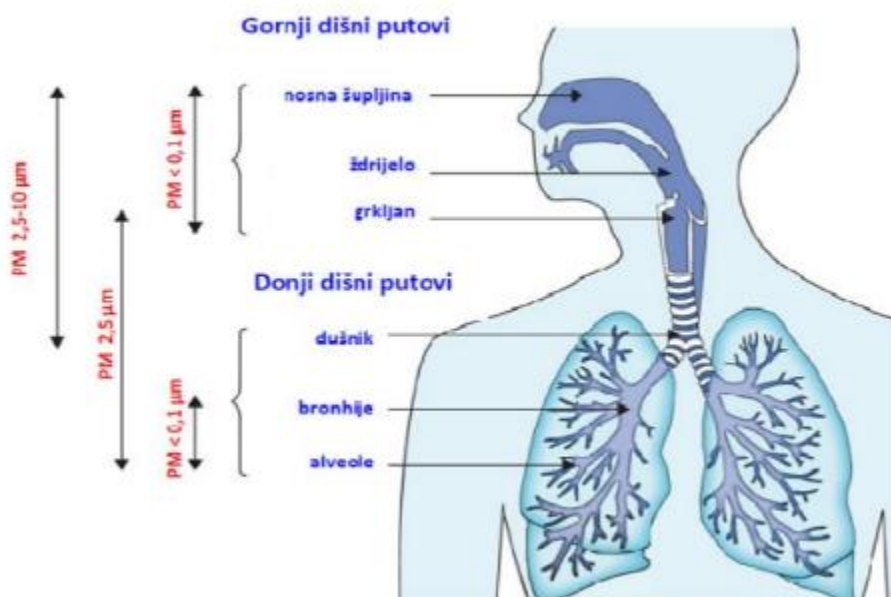
Slika 1. Utjecaj lebdećih čestica i drugih zagađivača na zdravlje čovjeka

Izvor : Praćenje kvalitete zraka na području Republike Hrvatske

<http://iszz.azo.hr/iskz1/godizvrpt.htm?pid=0&t=0>

1.4. PM₁₀ čestice

PM₁₀ je čestična komponenta onečišćenja zraka koja može ući u pluća, taložiti se u dišnim putevima i prodrijeti do periferije pluća. Postoje dobri epidemiološki dokazi da se simptomi astme mogu pogoršati povećanjem PM₁₀, ali sada manje dokaza da PM₁₀ povećava vjerojatnost inicijalne senzibilizacije i indukcije bolesti, iako ovo pitanje zahtijeva daljnje istraživanje. Premda je PM₁₀ složena mješavina tvari, toksikološke studije su identificirale brojne komponente koje bi mogle učiniti dozu PM₁₀ djelotvornom u povećanju upale i izazivanju oksidativnog stresa. Jasno razumijevanje efektivne doze PM₁₀ koja može potaknuti ili pogoršati napade astme je neophodno prije nego što se može provesti odgovarajuća procjena rizika. To će pružiti prijeko potreban savjet usmjeren na upravljanje rizikom za sve veći broj astmatičara koji su potencijalno izloženi. Dobro osmišljene toksikološke studije pružit će bolje razumijevanje sastojaka i koncentracija koje PM₁₀ čine opasnim za astmatičare. (4)



Slika 2. Raspoređivanje čestica prema krupnoći u dišni putevima

Izvor : T. Sofilić, Zdravlje i okoliš, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2015.

1.5. Nadzor nad onečišćenjem zraka

Usprkos svom uloženom trudu čovječanstva i nastojanjima da se kvaliteta zraka poboljša, te pokušajima da se pronađe valjani način koji bi pomogao pri povećanju kvalitete zraka, rezultati su iz godine u godinu i dalje poražavajući. Najveći problem predstavljaju upravo industrije.

Problem onečišćenog zraka na nekom području ne predstavlja problem samo za središte u kojem se takav zrak pojavio već za puno veći teritorij. Zrak kao takav ne poznaje granice i nemoguće mu je ograničiti kretanje, tada on više ne predstavlja državni, nacionalni problem već postaje globalni.

Posljedice nemogućnosti postizanja promjene koja prijete čovječanstvu su nebrojive.

Upravo to je razlog zbog kojeg je kontrola i nadzor nad zrakom sve češća opcija i jedina koju mi kao čovječanstvo možemo poduzeti kako bi još uvijek imali šansu sačuvati preostali dio zraka koji je *uporabljiv*.

Tablici 2. prikazuje granične i ciljne vrijednosti za pojedine onečišćujuće tvari.

Tablica 2. Granične i ciljne vrijednosti

| Onečišćujuća tvar | Vrijeme usrednjavanja | Granična vrijednost (GV) | Učestalost dozvoljenih prekoračenja |
|-------------------------------------|--|--------------------------|---|
| Sumporov dioksid (SO ₂) | 1 sat | 350 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 24 puta tijekom kalendarske godine |
| | 24 sata | 125 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 3 puta tijekom kalendarske godine |
| Dušikov dioksid (NO ₂) | 1 sat | 200 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 18 puta tijekom kalendarske godine |
| | kalendarska godina | 40 µg/m ³ | - |
| Ugljikov monoksid (CO) | maksimalna dnevna osmosatna srednja vrijednost | 10 mg/m ³ | - |
| PM _{2.5} | 24 sata | 50 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 35 puta tijekom kalendarske godine |
| | kalendarska godina | 40 µg/m ³ | - |
| Benzen | kalendarska godina | 5 µg/m ³ | - |
| Olovo (Pb) u PM ₁₀ | kalendarska godina | 0,5 µg/m ³ | - |
| Ukupna plinovita živa (Hg) | kalendarska godina | 1 µg/m ³ | - |

1.6. Zakonska regulativa

Zakonom o zaštiti zraka (Narodne novine br. 130/11, 47/14 i 61/17) te Pravilnikom o praćenju kvalitete zraka (Narodne novine br. 79/17) , u Republici Hrvatskoj je propisano da se mjerenje onečišćujućih tvari u zraku obavlja u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka. Državni hidrometeorološki zavod upravlja radom državne mreže , a njega nadzire Ministarstvo zaštite okoliša i energetike dok su lokalne mreže u nadležnosti županija i gradova.

Također, sami onečišćivači su u blizini svojih izvora onečišćivača dužni pratiti kvalitetu zraka , što im je naloženo rješenjem o prihvatljivosti zahvata na okoliš ili rješenjem o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša , tj. okolišnom okolišnom dozvolom.

Prema rješenju o prihvatljivosti zahvata za okoliš ili rješenju o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša, pravne osobe, za svaku kalendarsku godinu dužni su izraditi izvješća o praćenju kvalitete zraka. Za sva stalna mjerna mjesta za praćenje kvalitete zraka državne mreže, izvješća o praćenju kvalitete zraka za svaku kalendarsku godinu izrađuju referentni laboratoriji. Zakonska obaveza DHMZ-a za državnu mrežu te obaveza nadležnog upravnog tijela jedinica za lokalnu mrežu je da i validirane podatke o kvaliteti zraka i navedena izvješća dostave u Hrvatsku agenciju za okoliš i prirodu) ,za proteklu kalendarsku godinu, do 30. travnja tekuće godine.

Izrada Godišnjeg izvješća o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske spada pod obavezu Agencije.

U pojedinoj zoni ili aglomeraciji određuje se kvaliteta zraka za svaku onečišćujuću tvar i to na godišnjoj razini , odnosno jednom godišnje za proteklu godinu.

Zahtjevima Direktive 2008/50/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o kvaliteti zraka i čistijem zraku za Europu i Direktive 2004/107/EZ Europskog parlamenta i Vijeća koja se odnosi na arsen, kadmij, živu, nikal i policikličke aromatske ugljikovodike u zraku, moraju udovoljavati sve države članice Europske unije. Spomenutim Direktivama zahtjeva se države članice ocijene kvalitetu zraka u svojoj zemlji i na godišnjoj razini prijave ocjenu onečišćenosti (sukladnosti s okolišnim ciljevima).

Od 2014. godine Republika Hrvatska dostavlja svoju ocjenu onečišćenosti zona i aglomeracija u EEA/EK, putem e – izvješćivanja (tzv. e – reporting – process z izvješćivanje i a podataka razvijen od EEA/EK). (5)

1.7. Kvaliteta zraka

Sve veći javnozdravstveni problem postaje upravo zagađenje zraka s obzirom na stalni negativni utjecaj na zdravlje stanovništva, a posebice urbane populacije. Još u prvoj polovici 20. stoljeća uočeni su negativni učinci zagađenog zraka i deklarirani kao problem, nakon nekoliko ozbiljnih zagađenja.

Zagađenje zraka u velikim gradovima postaje sve veći problem. Trenutno najzagađeniji gradovi se nalaze upravo u zemljama koje su u rastu i razvoju, poput Kine, Pakistana i Indije. Zajednička prednost, a u ovom kontekstu i problem, je ta što takve zemlje bilježe stalni ekonomski i industrijski razvoj i sve veću gustoću naseljenosti. U takvim gradovima neizbježni izvori zagađenja su prvenstveno promet, trgovina i industrija.

U Hrvatskoj postoje lokalne mreže za praćenje kakvoće zraka, koje imaju 50 – godišnju tradiciju praćenja onečišćujućih tvari, koje su organizirane diljem zemlje. (6)

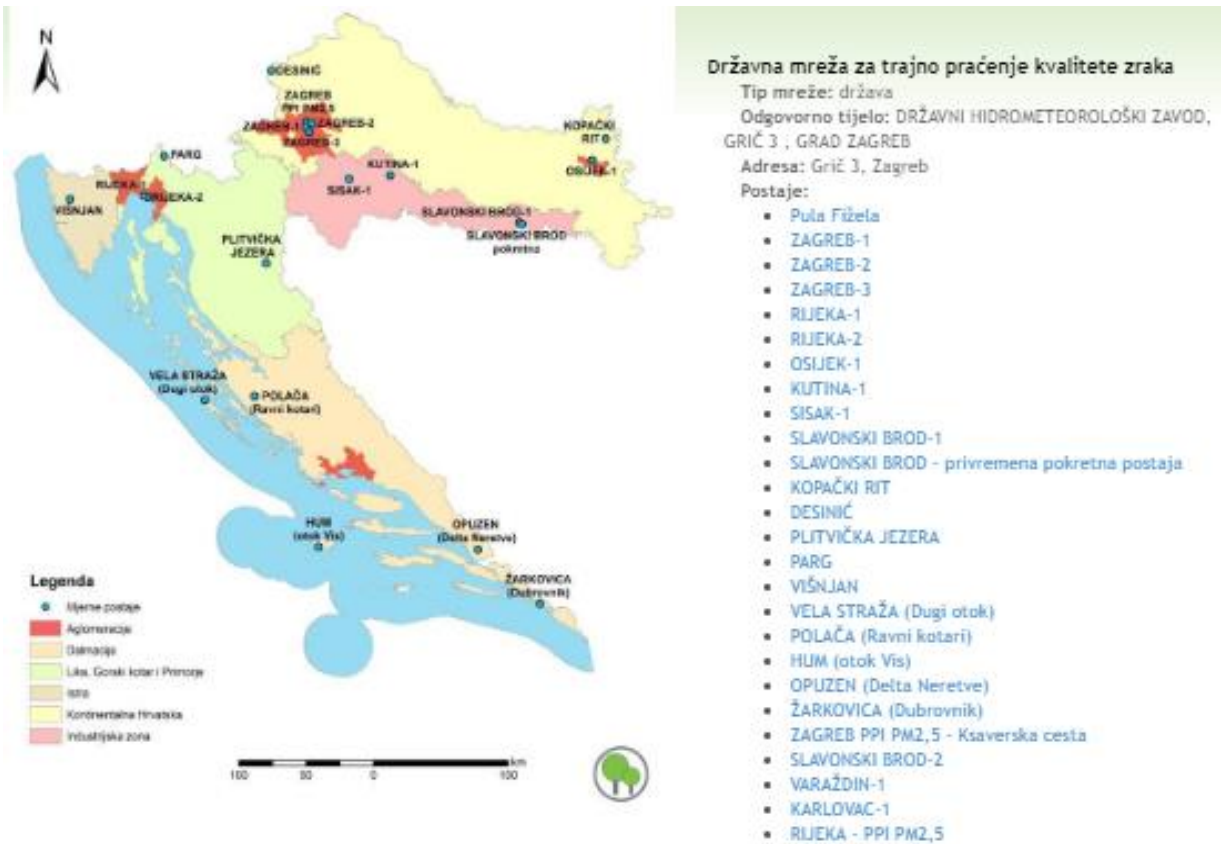
1.8. Mreža praćenja kvalitete zraka

Na razini države postoji razvijeni sustav praćenja kvalitete zraka, što na državnoj što na lokalnoj razini. Jedan takav sustav sastavljen je od državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka, jedinica lokalne i regionalne samouprave te mjerne postaje onečišćivača. Zahvaljujući prikupljenim podacima na navedenim postajama, procjenjuje se kvaliteta zraka te se predlažu mjere za sprječavanje ili smanjivanje uočenih onečišćenja.

1.8.1. Državna mreža za trajno praćenje

Državna mreža za trajno praćenje kvalitete zraka trenutno obuhvaća 22 uspostavljene postaje koje prate kvalitetu zraka, a u planu je uspostava i dodatnih pet mjernih postaja u Zagrebu, Splitu, Osijeku i Omišlju (otok Krk). 11 postaja smješteno je u naseljima i industrijskim područjima - dvije u Slavonskom Brodu, tri u gradu Zagrebu po jedna u Kutini, Osijeku, Rijeci, Sisku, Varaždinu i Karlovcu, a 11 postaja smješteno je u ruralnim i zaštićenim područjima: Polača – Ravni kotari, Kopački rit, Desinić, Bilogora, Parg, Plitvička jezera, Vela straža, Višnjan, Opuzen, Hum i Žarkovica.

Rezultati mjerenja kvalitete zraka sa svih mjernih postaja uspostavljenih na području Republike Hrvatske kontinuirano se dostavljaju u bazu „Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj“ i objavljuju svakog sata na stranicama Hrvatske agencije za okoliš i prirodu te su u svakom trenutku dostupni. (7)

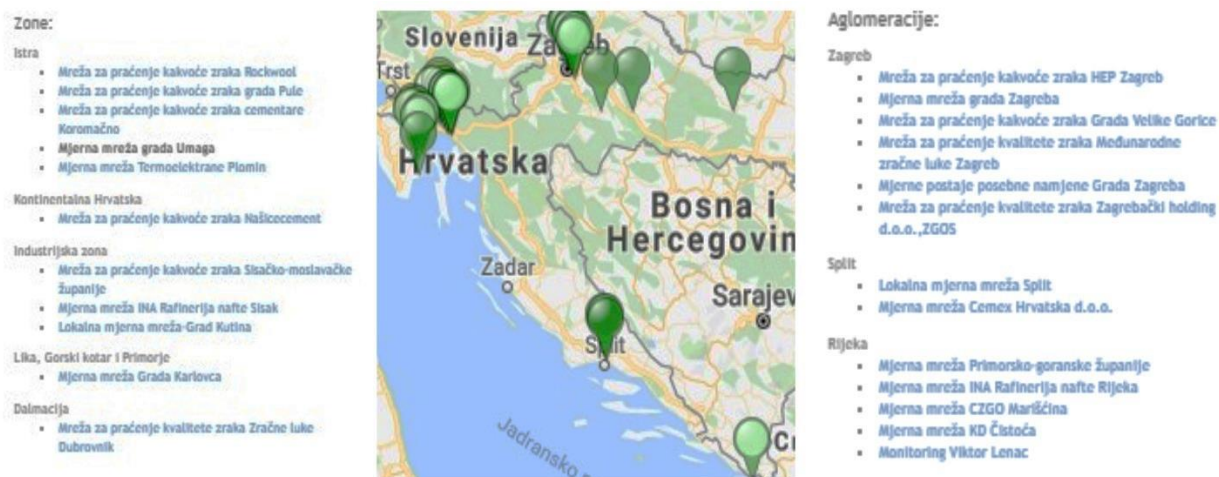


Slika 3. Državna mreža za stalno praćenje

Izvor : <http://iszz.azo.hr/iskzl/mreza.html?t=1>

1.8.2. Lokalna mreža za praćenje

Lokalna mreža za praćenje kvalitete zraka na području Republike Hrvatske broji oko 48 mjernih stanca, raspoređenih po aglomeracijama i zonama.



Slika 4. Lokalna mreža za praćenje kvalitete zraka

Izvor : <http://iszz.azo.hr/iskzl/mreza.html?t=0>

“Uredbom o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske”, određena je podjela podjela teritorija Republike Hrvatske na zone i aglomeracije.

Republika Hrvatska klasificirana je u pet zona i četiri aglomeracije s obzirom na razine onečišćenosti zraka.

Određene su zone :

- Zona HR 1 uljučuje:
 - Zagrebačk županiju (izuzimajući aglomeraciju HR ZG)
 - Vukovarsko-srijemsku županiju

Varaždinsku županiju

Požeško-slavonsku županiju

Međimursku županiju

Krapinsko-zagorsku županiju

Koprivničko-križevačku županiju

Osječko-baranjsku županij (izuzev aglomeracije HR OS)

Bjelovarsko-bilogorsku županiju

- Zona HR 2 uključuje :

Sisačko-moslavačku županiju

Brodsko-posavsku županiju

- Zona HR 3 uključuje:

Primorsko-goransku županiju (izuzevši aglomeraciju HR RI)

Ličko-senjsku županiju

Karlovačku županiju

- Zona HR 4 uključuje:

Istarsku županiju

- Zona HR 5 uključuje :

Zadarsku županiju

Splitsko-dalmatinska županija (izuzimajući aglomeraciju HR ST),

Šibensko-kninska županija

Dubrovačko-neretvanska županija

Navdenom Uredbom su određene i aglomeracije Republike Hrvatske :

- Aglomeracija HR RI : Rijeka, Bakar, Kastav, Kraljevica, Opatija, Općina Viškovo, Općina Čavle, Općina Jelenje, Općina Kostrena, Općina Klana, Općina Matulji, Općina Lovran, Općina Omišalj
- Aglomeracija HR ZG : Zagreb, Dugo Selo, Samobor, Sveta Nedjelja, Velika Gorica, Zaprešić
- Aglomeracija HR OS : Osijek
- Aglomeracija HR ST : Split, Kaštela, Solin, Trogir, Općina Klis, Općina Podstrana, Općina Seget (8)

1.8.3. Mjerna postaja RIJEKA – 2

Mjerna postaja se nalazi na adresi *Sušak, Ulica Franje Belulovića, 51 000 Rijeka*.

Postaja je sa mjerenjima započela 01.03.2006. te kao dio državne mreže za praćenje ,stručna institucija koja odgovara za njen rad je *Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3 , Grad Zagreb*.

Pripada zoni Rijeka.



Slika 5. Mjerna postaja RIJEKA – 2

Izvor : DHM

Mjerna postaja je osposobljena za mjerenje nekoliko onečišćujućih tvari. Mjerenja se vrše ili automatskim analizatorima ili aktivnim skupljanje. Tako na navedenoj postaji možemo pronaći podatke za koncentracije nekolicine onečišćivača. Neki od najvažnijih su prvenstveno PM_{10} i $PM_{2.5}$ čestice te koncentracije tvari u česticama, poput Cl^- in $PM_{2.5}$, NO_3^- in $PM_{2.5}$, Na u $PM_{2.5}$, te još nekolicina njih. Zatim mjere se razne koncentracije plinova, neke od njih su SO_2 , NO_2 , NO_x izraženi kao NO_2 . (9)

1.8.4. Mjerna postaja Polača (Ravni kotari)

Postaja je također dio državne mreže, te sukladno tome je ista institucija kao i za ranije navedenu postaju, odgovorna za nju.

Sama postaja se nalazi u mjestu Polača. Polača je jedna seoska sredina ravno-kotarskog područja koja pripada prostoru sjeverno- dalmatinske regije ,a nalazi se u zaleđu Jadranskog mora.

Sama površina općine iznosi 28 km², većinski dio čine poljoprivredne površine-

Prema popisu iz 2011. općina je imala 1.468 stanovnika, a u naselju Polača živjelo je 1.057 stanovnika. (10)

Postaja je krenula malo kasnije s radom,aktivna je od 01.01.2013. godine, te pripada zoni Dalmacija.



Slika 6. Mjerna postaja Polača (Ravni kotari)

Izvor : DHMZ

Za razliku od ranije navedene postaje, postaja u Polači mjeri samo tri parametra kvalitete zraka, sva tri su mjerena automatskim analizatorima. tako da s navedene postaje dobivamo rezultate za O₃, PM₁₀ i PM_{2,5} čestice.

1.8.5. Mjerna postaja OSIJEK – 1

Još jedna u nizu postaja državne mreže, s istim obavezama odgovornosti.

Postaja pripada zoni Osijek, te je sa svojim radom započela 12.01.2004. godine.



Slika 7. Mjerna postaja Osijek – 1

Izvor : DHMZ

Kao i kod postaje Polača, podatci s postaje Osijek-1 , dobiveni su pomoću automatskog analizatora. Svakodnevno su bilježene koncentracije SO₂, NO₂, NO_x izraženi kao NO₂, O₃, CO, C₆H₆ i PM₁₀ čestica. (9).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilja istraživanja je, uspoređujući koncentracije lebdećih čestica iz različitih dijelova Republike Hrvatske, podići svijest ljudi na razinu na kojoj treba biti, ukazati na probleme svakidašnjice na koje ne obraćamo pozornost i ne dajemo im na važnosti, a upravo oni bi nam trebali biti prioritetni. Ne razmišljajući o zraku, pogotovo onom u kojem je prisutno onečišćenje, kao o potencijalnoj opasnosti za zdravlje ljudi, iz dana u dan mordibilitet i obolijevanja će biti u konstantnom rastu.

Uspoređujući zone Rijeka, Dalmacija i Osijek i njihove rezultate mjerenja onečišćujućih tvari, dobiti ćemo sliku o okružju u kojem obitavamo i o *šteti* koju iz dana u dan činimo.

3. MATERIJALI I METODE

U radu su praćeni parametri kvalitete zraka, uspoređujući zone Republike Hrvatske, te rezultate

automatskih mjernih postaja, za područje grada Rijeka, Osijeka te Polače (Ravni kotari).

Predmet istraživanja su onečišćujuće čestice PM_{10} , na gore navedenom području, u razdoblju od 3 godine kalendarske godine 2015. , 2016, i 2017. (od 1. siječnja do 31. prosinca navedenih godina).

Mjerenja kvalitete zraka na mjernim postajama su obavljena automatskim analizatorima u sastavu kojih je i određivanje frakcije lebdećih čestica, kako PM_{10} čestica tako i $PM_{2,5}$ čestica.

U zoni Dalmacija ,postaja Polača (Ravni kotari) mjerenja su provedena automatskim analizatorom GRIMM MODEL EDM 180, a u zonama Rijeka i Osijek mjerenja su provedena automatskim analizatorom Thermo Anderson ESM FH 62 I – R, radi na principu beta atenuacije.

Međutim, mjerenje lebdećih čestica automatskim analizatorima nije referentna metoda mjerenja te zbog toga sami rezultati zahtijevaju usporedbu sa standardnom gravimetrijskom metodom i po potrebi korekciju, odnosno potrebno je provesti test ekvivalencije na izvornim rezultatima postaje.

3.1. GRIMM EDM 180



Slika 8. Automatski analizator GRIMM EDM 180

Izvor: https://www.google.com/search?q=grimm+edm+180&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjNvtj58YvjAhVGzqYKHScbBbEQ_AUIECgB&biw=1685&bih=752#imgrc=VUCb6KMMoGPMxM:

GRIMM EDM 180 je vodeći automatizirani mjerni sustav (AMS) za mjerenje koncentracije čestica (PM_{10} , $PM_{2,5}$) u okolnom zraku. Ovaj sustav nudi izvanredne znaajke kao što su istovremena mjerenja PM u 31-nom kanalu veličine čestica, rezolucije od $0,1 \mu m / m^3$ i izotermni ulaz s integriranom sušilicom Nafion.

Analizator radi tiho, zahtjeva malo održavanja i može se ovjeriti na licu mjesta pomoću pribora za testiranje na terenu zajedno sa softverom za dijagnostiku sustava. EDM 180 je optimalno rješenje za pouzdana praćenje stanja okoliša, npr. automatizirana mjerenja PM u ekološkim mrežama, epidemiološkim studijama, praćenju urbanog i ruralnom PM-a.

EDM 180 je u službi državnih mreža i instituta u preko 30 zemalja.

Uređaj posjeduje nekoliko certifikata i odobrenja: US-EPA, UK-MCERTS, CN-CMA. To je jedan potpuno automatizirani sustav praćenja s daljinskim pristupom, iznimno energetski učinkovit, niskog održavanja, nema potrošnog materijala, nema gubitka poluhlapljivih spojeva. Nema radioaktivnog izvora, neosjetljiv na vibracije (primjenjiv i u vozilima). Samoprovjera svih optičkih i pneumatskih komponenti za visoke standarde kvalitete, ispiranje zraka za zaštitu lasera i detektora u optičkoj čeliji.

Izvršna statistika brojanja i reproduktivnost pri niskoj i visokoj koncentraciji prašine.

Posjeduje senzore za temperaturu i relativnu vlažnost. Analizator mjeri PM_{10} , $PM_{2,5}$ i PM_1 , raspona veličine $0.25 - 32 \mu m$.

Broje čestica koje mjeri je $0 - 3\,000\,000$ čestica / litri, sa obnovljivošću $> 97\%$ ukupnog mjernog raspona.

Radi na principu mjerenja ortogonalnog raspršenja svjetlosti, detekcija volumena aerodinamički fokusirana, bez greške granične zone. Optički mjeri masu prašine u realnom vremenu, ali istovremeno i veličinu čestica kao i njihovo raspršenje zračenja na česticama. U uzorku zraka se čestice osvijetle izvorom svjetlosti koja dolazi iz lasera te se na zrcalu otkriva raspršeno zračenje,

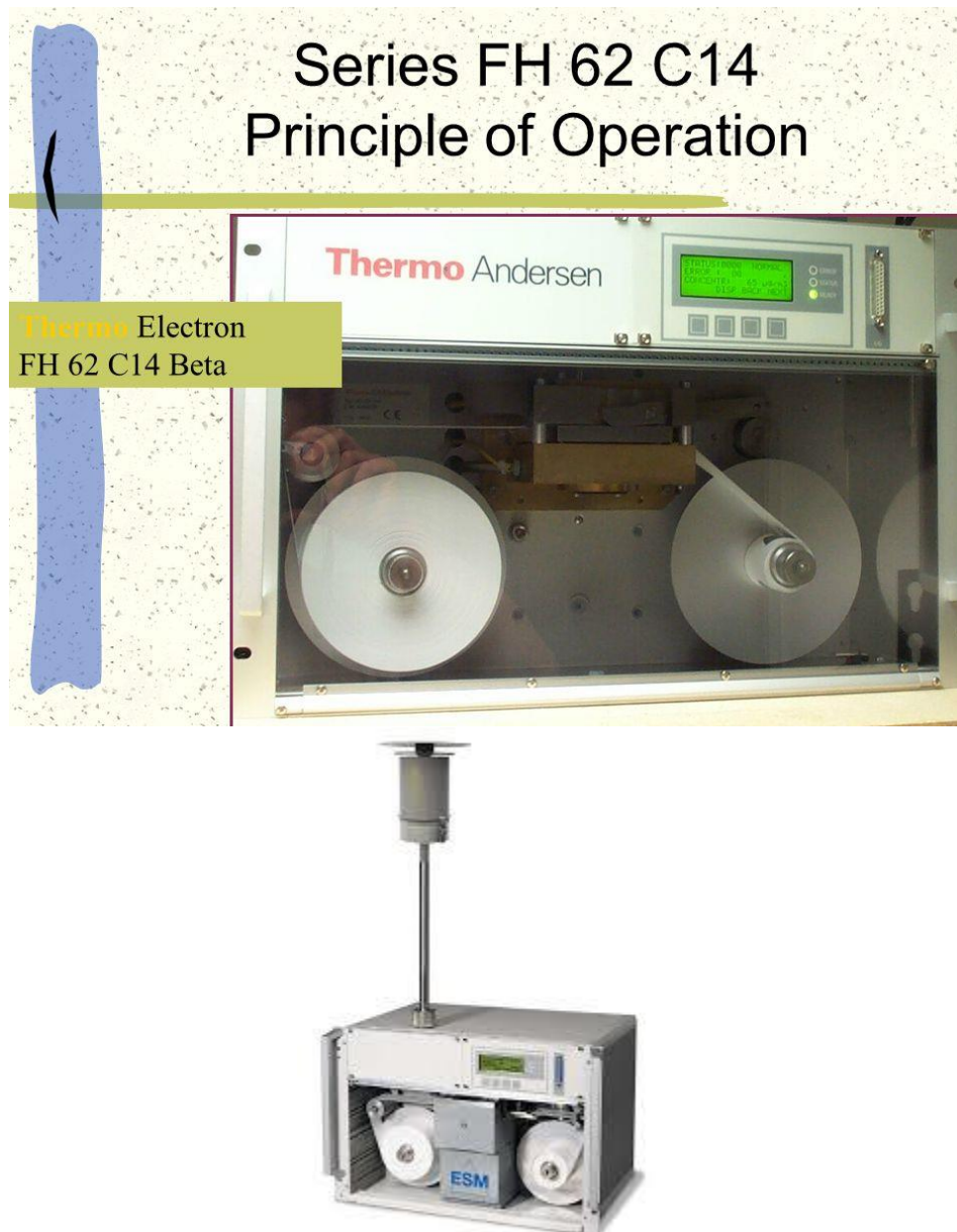
a ono se nalazi pod kutom od 90° u odnosu na laserski snop. Svaki se signal koji se odbija na zrcalu skuplja u diodi odakle odlazi u analizator visine signala te se ondje razvrstava prema veličini. Ponavljanjem ovog procesa svakih šest sekundi se proračunava razdioba masa čestica različitih veličina.

Radni uvjeti su mu od -20 do $+50$ °C (-4 – 122 °F), bez kondenzacije, 1013 hPa \pm 120 hPa.

Za mjerne uređaje na visokim temperaturama s niskim tlakom okoline, volume uzorka treba podesiti pomoću mjerača protoka. (11)

3.2. Thermo Anderson ESM FH 62 I – R

Instrument za praćenje čestica FH 62 IR (TSP, PM₁₀), za kontinuirano praćenje imisije.

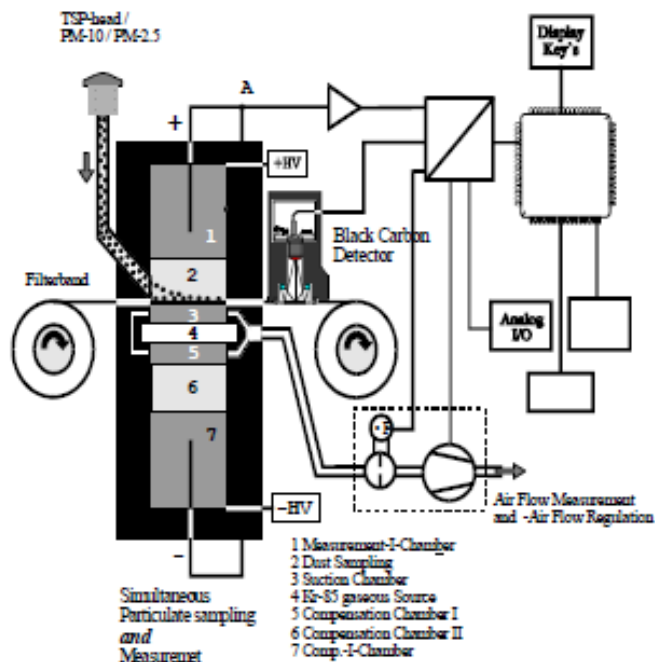


Slika 9 . Thermo Anderson ESM FH 62 I – R

Izvor : <https://present5.com/introduction-to-thermo-electron-instruments-robort-kinsella-sky/>

Tip FH 62 je jedini radiometrijski instrument za mjerenje, promatranje i prikazivanje nakupljenih masa čestica istovremeno tijekom sakupljanja prašine. Ovaj način rada dopušta mjerenje u stvarnom vremenu prašina na filtru i on-line mjerenje.

Analizator koristi radiometrijski princip beta – prigušenje, koristeći kompenzaciju s dva snopa metoda. Zbog toga je postignuta vrlo visoka stabilnost mjerenja, jer se za svako mjerenje određuje referentna vrijednost u zasebnom mjerenju.



Slika 10. Thermo ESM Andersen, princip rada

Izvor : <https://www.scribd.com/document/53844702/ESM-Andersen-Brochure>

Referentni odjeljak je međusobno povezan fizički sa mjernim dijelom, sa jednakim učinkom iz okolne temperature i tlaka fluktuacije u oba sustava, a čisti dio trake filtra pomiče se u mjerni položaj (2).

Kroz sustav uzoraka se provuče okolni zrak , a čestice prašine se odlažu na filter.

Ukoliko se uzorkovanje provodi na mjestu, tada se koristi princip pojedinačnog filtera. Ostaje jedno područje filtra produženo razdoblje u "komori za" prikupljanje i mjerenje čestica "(2) dok nije postignuto puno opterećenje (1500 g) ili ako jedan od parametara promjene filtra je prošao (broj dana, unaprijed odabrano vrijeme uzorka, niski tlak, protok zraka, maksimum masa). Sljedeći korak je pomicanje punog filtera i dolazak novog filtera u mjernom položaju (automatska promjena filtera). Tada se započinje novi ciklus. Između izvora (4) i ionizacijske komore (1) nalazi se i komora za skupljanje čestica i mjerenje (2) .

U ovom procesu različite debljine i / ili različiti uvjeti okoline se kompenziraju. Nakon svakog mijenjanja filtera napravi se automatsko podešavanje nule.

Na području 2, kad se analizira filter, poveća se broj čestica.

Za izračunavanje koncentracije prašine u struji zraka, brzina protoka zraka se točno mjeri sondom. Korištenjem otvora za selekciju veličine (PM-10, ciklon, PM-2.5), brzina protoka mora biti konstantna. Stoga je ili vakuumska pumpa regulirana s RPM ili je predviđen proporcionalni ventil. Ukoliko se koristi grijana cijev za uzorkovanje, spriječi se utjecaj vanjskih faktora u cijevi za uzorkovanje, poput vlažnosti zraka ili sama kondenzacija vode. Ovaj mogući utjecaj važno je razmotriti samo pri visokoj vlažnosti zraka ljeti ili za vrijeme maglovitih dana. (12)

3.3 Test ekvivalencije

S obzirom da su mjerenja kvalitete zraka provedena na mjernim postajama, provedena automatskim analizatorima, prema hrvatskim propisima za kategorizaciju kvalitete zraka nužno je utvrditi stupanj ekvivalencije rezultata određivanja masene koncentracije PM_{10} izmjerenih navedenim analizatorima sa masenim koncentracijama određenim referentnom standardnom gravimetrijskom metodom sukladno normi HRN EN 12341:2014, a prema standardima Europske komisije (EK) .

Postojeća mjerenja automatskim analizatorima pogodna su zbog mogućnosti prikaza satnih koncentracija na internetskim stranicama. Međutim s obzirom da metoda kojom su provedena mjerenja nije referentna metoda, obavezno je za referentni laboratorij da provede test ekvivalencije nad dobivenim podacima. Navedeni test se probodi od strane Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada, smještenog u Zagrebu. Dužnost navedenog instituta je provedba testa i to najmanje jednom u pet godina, da bi se adekvatno odredila kvaliteta zraka na promatranom području. Provođenje testa ekvivalencije, odnosno takozvano korigiranje rezultata, obavezno je zbog raznih faktora koji imaju utjecaja na same rezultate. Neki od tih faktora su i same temperature u mjernom uređaju, njegov dizajn, a zatim i osobine lebdećih čestica koje se analiziraju, njihov karakteristični sastav, promjer te i samo područje na kojem se nalaze.

3.3.1. Primjer testa ekvivalencije

- Test ekvivalencije za ne – referentnu metode mjerenja frakcije lebdećih čestica PM_{10} na mjernoj postaji Rijeka – 2

Određivanje ekvivalencije te posljedično korekcija izmjerenih rezultata na pojedinom mjernom mjestu su nužni s obzirom na objektivne faktore poput sastava i oblika lebdećih čestica karakterističnog za to mjesto te zbog utjecaja dizajna ulaznog dijela uređaja, povišene radne temperature u uređaju što uzrokuje gubitak hlapivih komponenti već sakupljenih čestica, kao i s obzirom na subjektivne faktore, prvenstveno načina i učestalosti održavanja mjernog uređaja.

Rezultati ekvivalencije omogućuju sezonske korekcije mjernih rezultata te korekcije statističkih parametara za kategorizaciju kvalitete zraka (srednju godišnju vrijednost dnevnih masenih koncentracija i broj prekoračenja dnevne granične vrijednosti u iznosu od 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ tijekom jednogodišnjeg razdoblja).

U studiji su obrađeni rezultati mjerenja za četiri razdoblja tijekom 2014. odnosno 2015. godine, određeni na postaji 'Rijeka-2' .

Ne-referentnom metodom autanacije β -zračenja pomoću automatskog analizatora Thermo Andersen FH-61 IR, određivane su masene koncentracije PM_{10} čestica, a sami dnevni uzorci su sakupljeni pomoću sakupljača Sven Leckel SEQ 47/50-CD, što je u skladu sa zahtjevima normirane gravimetrijske metode.

Kako su gravimetrijskim metodama uzorci sakupljeni od podneva do podneva te se tako dobivaju 24-satni prosjeci koncentracija, moguć je proračun ekvivalencije rezultata mjerenja samo za 24-satna i duža razdoblja. U tu su svrhu 1-satni rezultati dobiveni automatskim analizatorom usrednjavani na 24-satna razdoblja, također od podneva do podneva.

Metoda proračuna

S obzirom na to da pri realnim uvjetima rada uvijek postoje mjerne nesigurnosti, kako ispitivanog ($U_y > 0$), tako i referentnog uređaja ($U_x > 0$), te da je za očekivati da su one približno istog reda veličine ($U_x > U_y/3$) nužno je pri proračunu ekvivalencije rezultata koristiti ortogonalnu regresiju (reduced major axis method).

Pri određivanju relativne proširene mjerne nesigurnosti, za frakciju PM_{10} korištena je srednja dnevna granična vrijednost od 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Definicija sezona :

SEZONA / TRAJANJE

Proljeće / 09. svibnja 2015. – 20. lipnja 2015

Ljeto / 16. srpnja 2014. – 24. kolovoza 2014.

Jesen / 07. studenog 2014. – 21. prosinca 2014.

Zima / 22. prosinca 2014. – 28. siječnja 2015.

Pri proračunima zadane su sljedeće postavke tabličnog računara:

Granice pouzdanosti: 99%

Uporabljene jedinice koncentracija: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Granična vrijednost: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Maksimalna dozvoljena proširena nesigurnost na graničnoj vrijednosti: 25%

Rezultati proračuna su ocijenjeni usporedbom iznosa proširene relativne mjerne nesigurnosti s maksimalno dozvoljenom vrijednošću, te svrstani u dvije kategorije prikazane zelenom i crvenom bojom zbog preglednosti:

1. Zadovoljava (zeleno)

2. Ne zadovoljava (crveno)

Studijom je provedena korekcija nagiba regresijskog pravca i korekcija odsječka pravca na ordinati čime se za korekciju rezultata određenih ne-referentnom metodom trebaju koristiti **korekcijske funkcije** (pravci).

Također, studijom su određene **korekcijske funkcije za svaku sezonu**, dok se godišnja korekcijska funkcija nije izvodila zbog obuhvata podataka. Godišnja korekcija se provodi u slučaju kada su dostupni podaci za cjelokupno godišnje razdoblje od 365 dana.

Rezultati studije

Tablica 3. Usporedba izvornih i sezonski korigiranih podataka određenih referentnim SEQ47/50 sakupljačem i automatskim analizatorom za PM10 frakciju tijekom 2014. – 2015. godine.

| Izvorni podaci | Korigirani podaci | Korekcijska funkcija |
|--|------------------------------------|------------------------|
| Proljeće ; N = 39 ; R ² = 0,705 | | |
| $y = 0,580x + 2,090$ U = 76,3 % | $y = 1,101x - 1,738$ U = 26,3 % | $y_1 = 1,724y - 3,602$ |
| Ljeto ; N = 33 ; R ² = 0,438 | | |
| $y = 0,775x + 2,364$ U = 38,5 % | $y = 1,137x - 2,057$ U = 36,6 % | $y_1 = 1,291y - 3,052$ |
| Jesen ; N = 45 ; R ² = 0,797 | | |
| $y = 0,908x - 1,949$ U = 30,8 % | $y = 1,012x - 0,182$ U = 22,7 % | $y_1 = 1,101y + 2,146$ |
| Zima ; N = 38 ; R ² = 0,901 | | |
| $y = 0,791x - 1,289$ U = 47,9 % | $y = 1,012 - 0,178$ U = 14,9 % | $y_1 = 1,265y + 1,631$ |

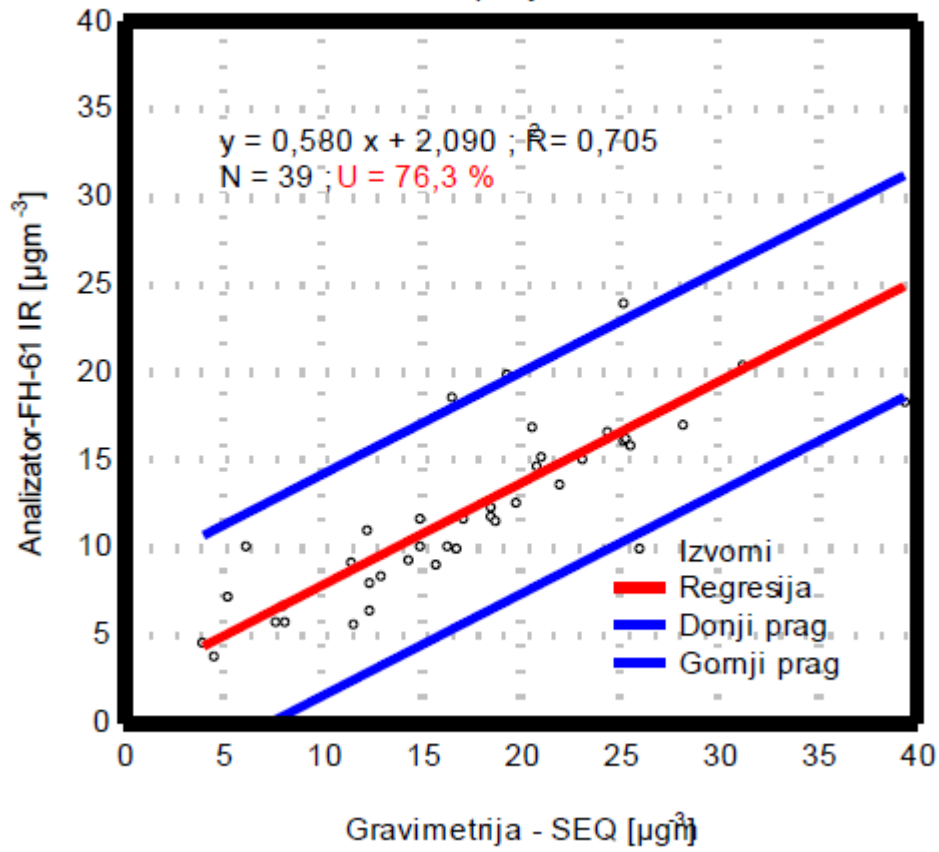
Korekcijske funkcije razlikuju se po sezonama.

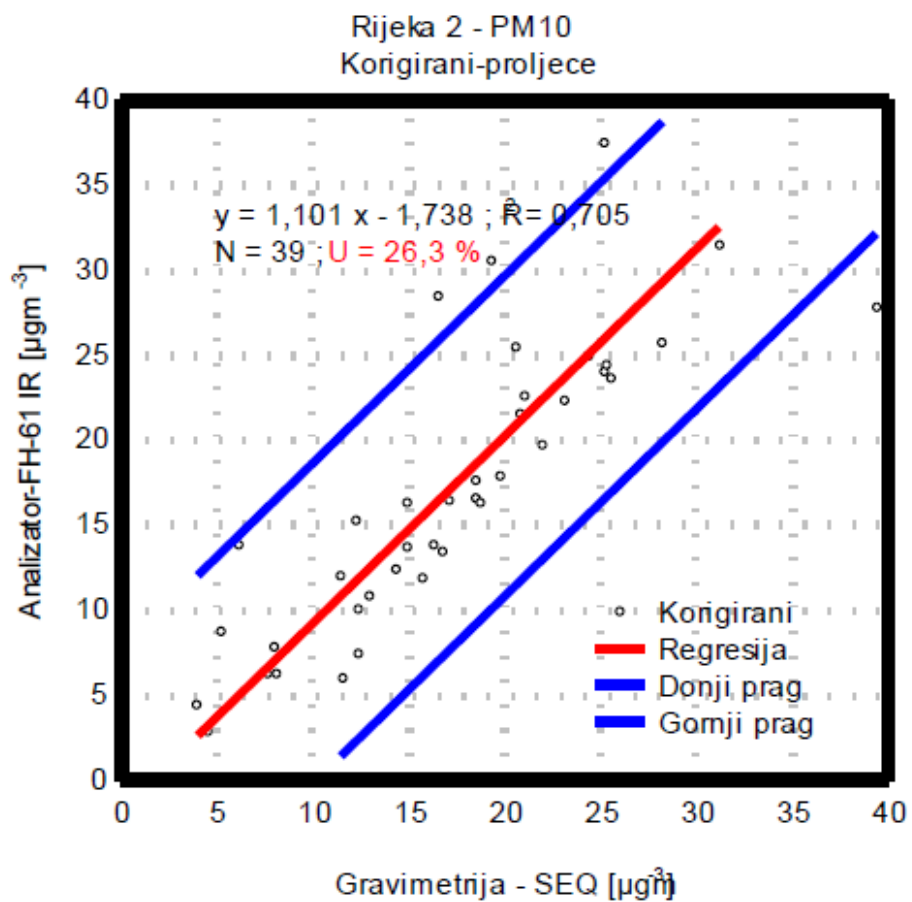
Koeficijenti smjera regresijskog pravca značajno su niži od broja 1, posebno tijekom proljeća, što ukazuje na činjenicu da su koncentracije određene ne-referentnom značajno niže od koncentracija određene referentnom gravimetrijskom metodom.

Korigirani rezultati zadovoljavaju zahtjeve za relativnom proširenom mjernom nesigurnošću nižom od 25 % samo tijekom hladnog dijela godine (jesen i zima) kada je zabilježeno i najmanje raspršenje rezultata.

Na osnovi dobivenih rezultata i dosadašnjih iskustava nužno je provoditi **sezonsku korekciju rezultata** određenih automatskim analizatorom lebdećih čestica. Preporuka je koristiti korekcijske funkcije unazad par godina i do temeljitog servisa automatskog analizatora ili promjene radioaktivnog izvora. (13)

Rijeka 2 - PM10
Izvomi-proljeće



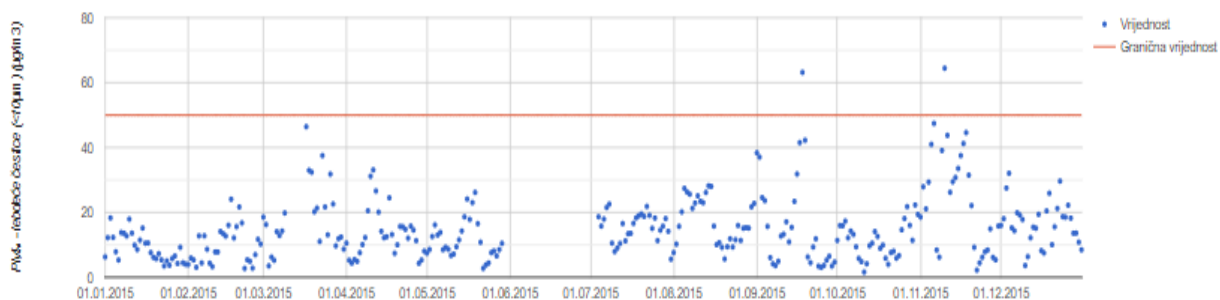


Slika 11. Rezultati ortogonalne regresije izvornih i korigiranih PM10 podataka određenih automatskim analizatorom FH-61 IR s podacima određenih referentnim SEQ 47/50 sakupljačem tijekom proljeća 2015.

Izvor : Studija provedena od strane Instituta za medicinska istraživanja i medicine rada ,Zagreb

4. REZULTATI

1.1. Polača (Ravni kotari)



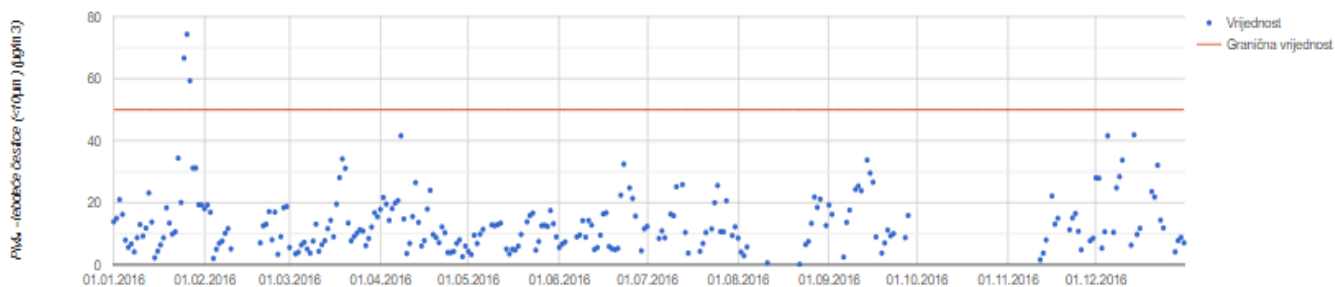
Slika 12. Polača (Ravni kotari) , rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju : 01.01.2015. – 31.12.2015.

Tablica 4. Polača (Ravni kotari), prekoračenja i vrijednosti, razdoblje : 01.01.2015. – 31.12.2015.

| | |
|---|----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 2 |
| Broj podataka unutar granica | 321 |
| Srednja vrijednost | 14,8582 |
| Maksimalna vrijednost | 64,452 |

Najduži prekid : 35

Pokrivenost : 88,49%



Slika 13. Polača (Ravni kotari) , rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju : 01.01.2016. – 31. 12.2016.

Tablica 5. Polača (Ravni kotari), prekoračenja i vrijednosti , razdoblje : 01.01.2016. – 31. 12.2016.

| | |
|---|----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 3 |
| Broj podataka unutar granica | 248 |
| Srednja vrijednost | 13,4889 |
| Maksimalna vrijednost | 74,323 |

Najduži prekid : 44

Pokrivenost : 68,58 %



Slika 14 . Polača (Ravni kotari) , rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju : 01.01.2017. – 31.12.2017.

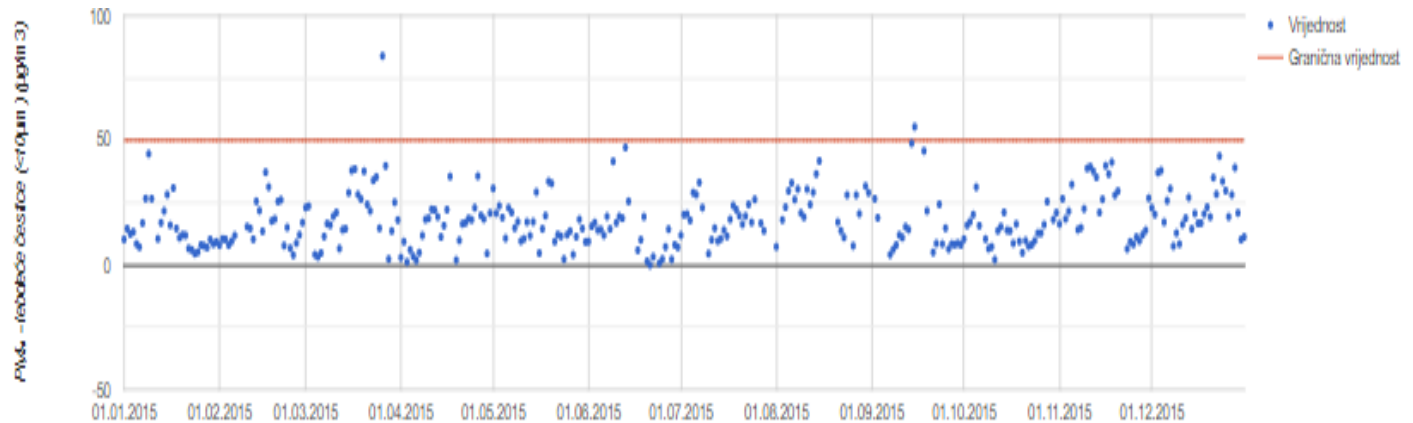
Tablica 6. Polača (Ravni kotari), prekoračenja i vrijednosti, razdoblje : 01.01.2017. – 31.12.2017.

| | |
|---|----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 0 |
| Broj podataka unutar granica | 224 |
| Srednja vrijednost | 11,9982 |
| Maksimalna vrijednost | 50,031 |

Najduži prekid : 31

Pokrivenost : 61,37 %

1.2. Rijeka – 2



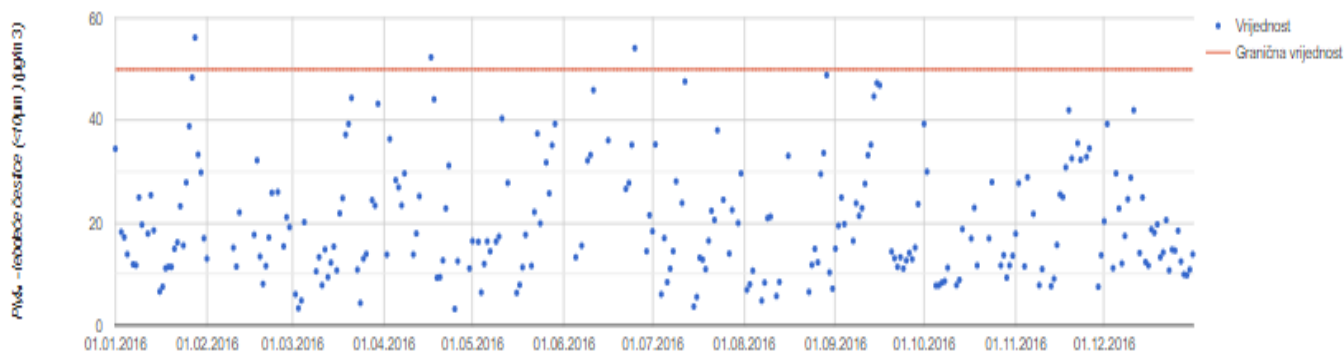
Slika 15. Rijeka – 2, , rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju : 01.01.2015. – 31.12.2015.

Tablica 7. Rijeka – 2 , prekoračenja i vrijednosti , razdoblje : 01.01.2015. – 31.12.2015.

| | |
|---|----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 2 |
| Broj podataka unutar granica | 329 |
| Srednja vrijednost | 18,0194 |
| Maksimalna vrijednost | 83,877 |

Najduži prekid : 5

Pokrivenost : 90,68 %



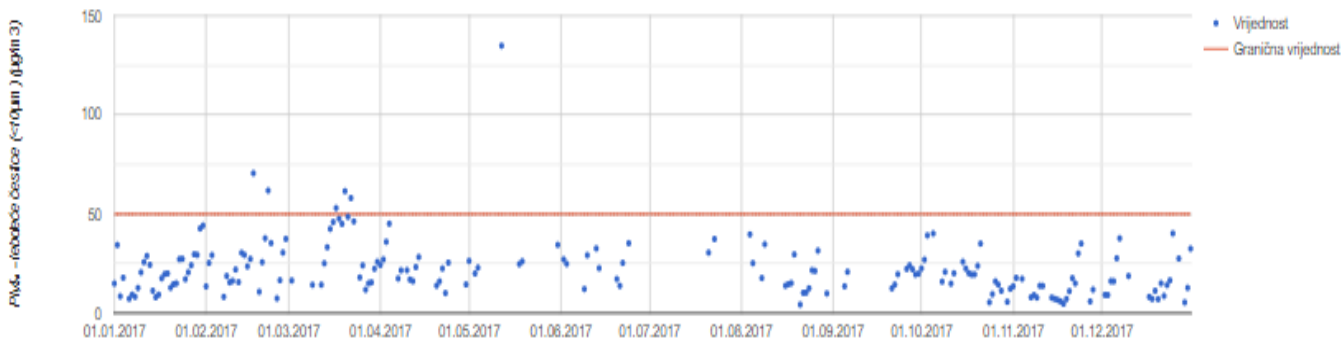
Slika 16. Rijeka – 2, , rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice , u razdoblju : 01.01.2016. – 31.01.2016.

Tablica 8. Rijeka – 2 , prekoračenja i vrijednosti, razdoblje : 01.01.2016. – 31.01.2016.

| | |
|---|----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 3 |
| Broj podataka unutar granica | 253 |
| Srednja vrijednost | 20,041 |
| Maksimalna vrijednost | 56,22 |

Najduži prekid : 8

Pokrivenost : 69,95 %



Slika 17. Rijeka – 2 , rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju : 01.01.2017. – 31.12.2017.

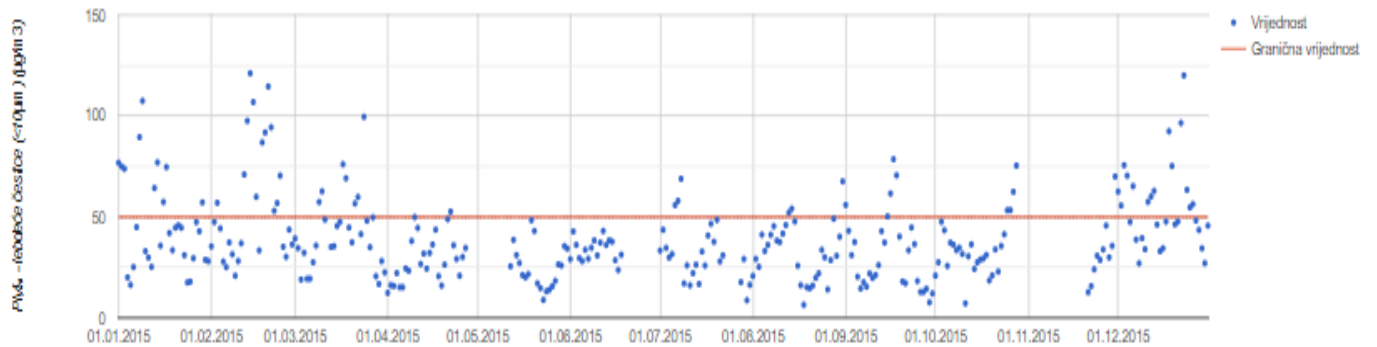
Tablica 9. Rijeka – 2 , prekoračenja i vrijednosti, razdoblje : 01.01.2017. – 31.12.2017.

| | |
|---|----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 6 |
| Broj podataka unutar granica | 193 |
| Srednja vrijednost | 22,2208 |
| Maksimalna vrijednost | 134,871 |

Najduži prekid : 26

Pokrivenost : 54,52 %

4.3. Osijek-1



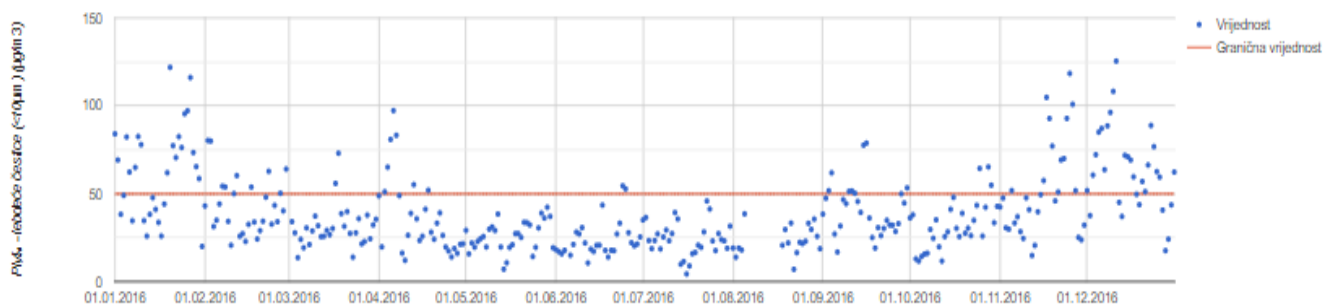
Slika 18. Osijek -1 rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju : 01.01.2015. – 31.12.2015.

Tablica 10. Osijek 1 – prekoračenja i vrijednosti, razdoblje : 01.01.2015. – 31.12.2015.

| | |
|---|-----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 61 |
| Broj podataka unutar granica | 249 |
| Srednja vrijednost | 38,7191 |
| Maksimalna vrijednost | 121,171 |

Najduži prekid : 23

Pokrivenost : 84, 93 %



Slika 19. Osijek -1 rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju: 01.01.2016. – 31.12.2016.

Tablica 11. Osijek 1 – prekoračenja i vrijednosti, razdoblje : 01.01.2016. – 31.12.2016.

| | |
|---|-----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 82 |
| Broj podataka unutar granica | 270 |
| Srednja vrijednost | 38,87 |
| Maksimalna vrijednost | 125,518 |

Najduži prekid : 12

Pokrivenost : 96, 17%



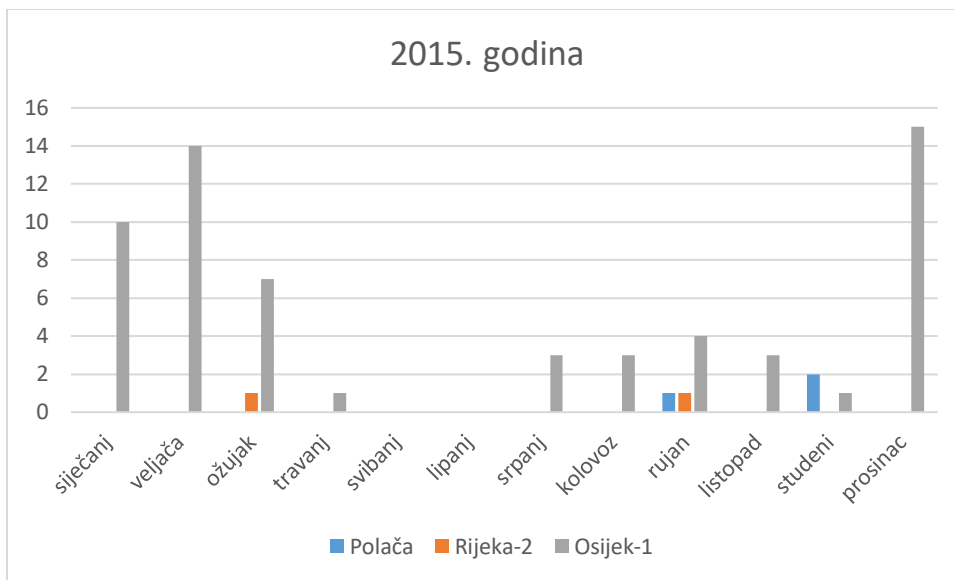
Slika 20. Osijek -1 rezultati automatske mjerne postaje za PM10 onečišćujuće čestice u razdoblju : 01.01.2017. – 31.12.2017.

Tablica 12. Osijek 1 – prekoračenja i vrijednosti, razdoblje : 01.01.2017. – 31.12.2017.

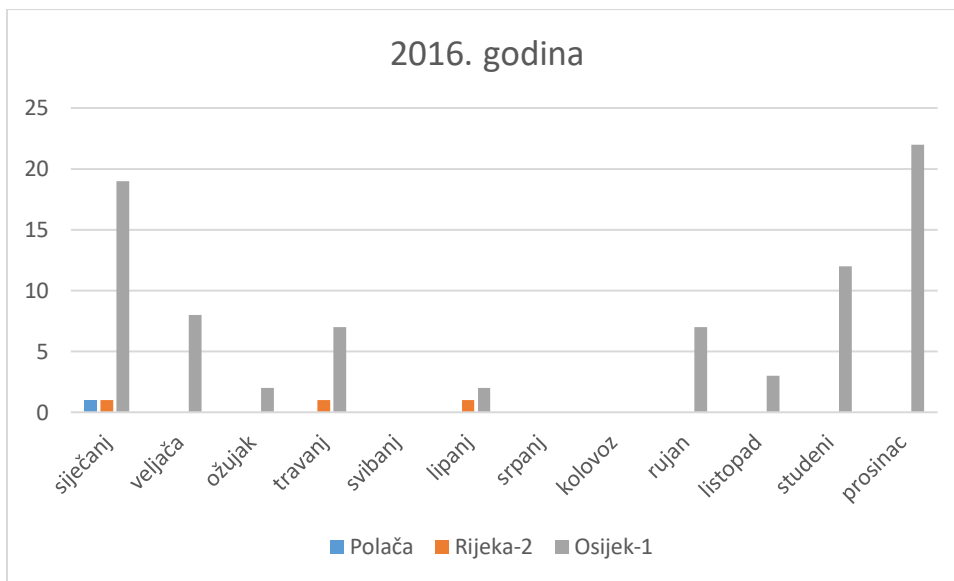
| | |
|---|-----------|
| Broj prekoračenja granične vrijednosti | 46 |
| Broj podataka unutar granica | 306 |
| Srednja vrijednost | 32,3566 |
| Maksimalna vrijednost | 163,511 |

Najduži prekid : 6

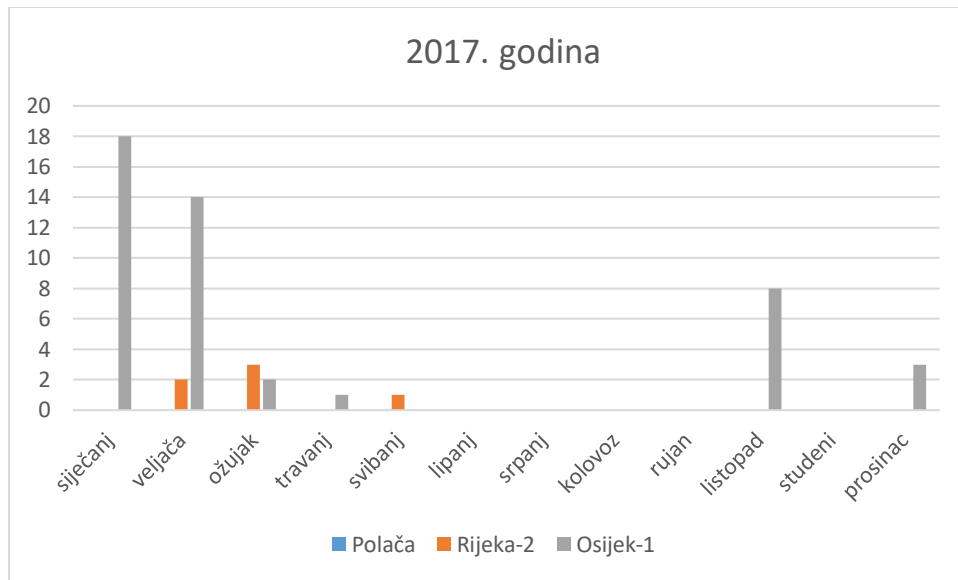
Pokrivenost : 96,44 %



Slika 21. Grafički prikaz broja dana sa dnevnom konc. $PM_{10} > 50 \mu g/m^3$ za 2015. godinu za mjerene postaje Polača, Rijeka -2 i Osijek – 1



Slika 22. . Grafički prikaz broja dana sa dnevnom konc. $PM_{10} > 50 \mu g/m^3$ za 2016. godinu za mjerene postaje Polača, Rijeka -2 i Osijek – 1



Slika 23. Grafički prikaz broja dana sa dnevnom konc. $PM_{10} > 50 \mu g/m^3$ za 2017. godinu za mjerene postaje Polača, Rijeka -2 i Osijek – 1

5. RASPRAVA

Ukoliko pričamo o nekom onečišćenju mora, vode i kakvog drugoga resursa svakako pričamo svojevrsnoj *katastrofi* kako za ekosustav, tako za čovjeka na prvom mjestu. No, što ako se radi o onečišćenju zraka?! Zrak kao osnovna čovjekova potreba nema alternative, te ukoliko postoji zagađenje ili kakva opasnost, ne postoji način da se nas ne tiče. Jedino što možemo je prevenirati da do *katastrofe* dođe.

Sve češći problem u kvaliteti življenja predstavlja onečišćeni zrak. Zrak, grubo rečeno smjesa plinova neophodnih za život, iz dana u dan postaje sve zagađeniji. Jedna takva potencijalna opasnost zahtjeva redoviti nadzor. Na sreću, Republika Hrvatska je zakonski obvezna pratiti kakvoću zraka, te je u tome ujedno i uspješna. Posjeduje razvijeni sustav koji funkcionira već dugi niz godina.

Mjerenja kakvoće zraka obično se iskazuju u dnevnim ili godišnjim srednjim koncentracijama čestica PM_{10} po kubičnom metru volumena zraka (m^3). Rutinska mjerenja kakvoće zraka tipično opisuju takve koncentracije PM u mikrogramima po kubičnom metru ($\mu g / m^3$). Kada su dostupni dovoljno osjetljivi alati za mjerenje, također se navode koncentracije finih čestica ($PM_{2,5}$ ili manje). (14)

Lebdeće čestice nastaju najčešće kao produkti izgaranja, isparavanja i kondenzacije. (15) PM_{10} čestice su najučestalije na području gradilišta i blizini autocesta, te njihov utjecaj na ekosustav ovisi prvenstveno o koncentraciji koja se nalazi u zraku, a zatim i o klimatskim uvjetima. (16)

Navedeni rezultati prate koncentracije PM_{10} čestica u različitim dijelovima Republike Hrvatske. Rezultati su preuzeti sa stranica *Hrvatske agencije za okoliš i prirodu*.

Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku NN 117/2012, propisana je razinu granične vrijednosti (GV) za PM_{10} čestice, te ona iznosi $50 \mu g/m^3$ unutar 24 sata. Iznos granične vrijednosti, propisan gore navedenom Uredbom, tijekom kalendarske godine ne smije se prekoračiti više od 35 puta tijekom kalendarske godine. Ukoliko govorimo o razina tolerirane vrijednosti (TV), njena granica iznosi $75 \mu g/m^3$ i također ne smije biti prekoračena više od 35 puta tijekom kalendarske godine. (17)

Na mjernoj postaji Polača (Ravni kotari) , za 2015. godinu zabilježene su 323 dnevne koncentracije čestica. Od ukupnog broja analiziranih dana, samo 2 dana su uočena prekoračenja, za vrijeme rujna i studenog mjeseca navedene godine, maksimalne vrijednosti 64, 452 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Srednja vrijednost za analiziranu kalendarsku godinu 2015. , iznosi 14, 8582 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. U navedenoj godini postaja bilježi najduži prekid mjerenja u iznosu od 35 dana.

Na navedenoj postaji kalendarske godine 2016. prikupljeno je ukupno 251 podataka, od toga su zabilježena tri prekoračenja , s maksimalnom vrijednošću 74, 323 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, te srednje vrijednosti 13, 4889 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prekoračenja GV su zabilježena za vrijeme siječnja navedene godine. Najduži prekid u mjerenju trajao je 44 dana.

Za 2017. godinu nema zabilježenih prekoračenja, u mjesecu siječnju su uočene povišene koncentracije, s maksimalnom vrijednosti 50, 031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, međutim i dalje bez prekoračenja GV. Broj podatak unutar GV iznosi 224, najduži prekid mjerenja iznosi 31 dan. Srednja vrijednost koncentracije čestica u navedenoj kalendarskoj godini iznosi 11, 9982 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Na mjernoj postaji Rijeka – 2 , kalendarske godine 2015. , izmjerena je 331 dnevna koncentracija, od čega su zabilježena 2 prekoračenja GV, jedno u mjesecu ožujku, a drugo prekoračenje u rujnu, te 329 koncentracija unutar granica. Srednja vrijednost za navedenu godinu iznosi 18,0194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a maksimalna izmjerena iznosi 83, 877 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prekid mjerenja u 2015. godini je iznosio svega 5 dana.

U kalendarskoj godini 2016. zabilježeno je 256 koncentracija, od čega je broj podataka unutar granica iznosio 253. Zabilježena su 3 prekoračenja GV, maksimalne vrijednosti 56,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prekoračenja su zabilježena u mjesecu siječnju, travnju i u lipnju. Srednja vrijednost iznosi 20,041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Postaja Rijeka – 2 navedene godine bilježi prekid mjerenja u iznosu od svega 8 dana.

Rezultati automatskog mjerenja za 2017. godinu nešto su viših koncentracija. Osim 193 podataka koji su unutar GV, zabilježeno je i 6 prekoračenja, za vrijeme veljače (2 prekoračenja) , za vrijeme ožujka (3 prekoračenja) i za vrijeme svibnja (1 prekoračenje). Maksimalna zabilježena koncentracija iznosi 134, 871 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (svibanj) , a srednja vrijednost iznosi 22, 2208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Postaja bilježi prekid mjerenja u iznosu od 26 dana.

Na kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske stanje je malo drugačije. Na postaji Osijek – 1 u kalendarskoj godini 2015. zabilježeno je 249 podataka unutar granica, te čak 61 prekoračenje GV, s maksimalnom vrijednošću 121, 171 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Navedena prekoračenja koncentracija vidljiva su u mjesecima : siječanj (10 prekoračenja) , veljača (14 prekoračenja), ožujak (7 prekoračenja), travanj (1 prekoračenje), srpanj (3 prekoračenja),kolovoz (3 prekoračenja) , rujan (4 prekoračenja),listopad (3 prekoračenja), studeni (1 prekoračenje) i prosinac (15 prekoračenja).Srednja vrijednost iznosi 38, 71791 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najduži prekid mjerenja u navedenom razdoblju iznosi 23 dana.

Tijekom kalendarske godine 2016. ,broj podataka unutar granica iznosi 270. Zabilježeno je 82 prekoračenja granične vrijednosti, u mjesecima : siječanj (19 prekoračenja) , veljača (8 prekoračenja), ožujak (2 prekoračenja) , travanj (7 prekoračenja) , lipanj (2 prekoračenja), rujan (7 prekoračenja) , listopad (3 prekoračenja), studeni (12 prekoračenja) i prosinac (22 prekoračenja). Maksimalna koncentracija iznosi 125, 518 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,a srednja vrijednost 38,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Postaja bilježi najduži prekid mjerenja u iznosu od 12 dana.

Kalendarske godine 2017. zabilježeno je 306 podataka unutar granica i 46 prekoračenja GV. Prekoračenja su izmjerena u mjesecima : siječanj (18 prekoračenja), veljača (14 prekoračenja), ožujak (2 prekoračenja), travanj (1 prekoračenje), listopad (8 prekoračenja) i prosinac (3 prekoračenja). Maksimalna vrijednost prekoračenja iznosi 163, 511 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a srednja vrijednost 32, 3566 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Postaja bilježi najduži prekid mjerenja u iznosu od 6 dana.

Promatrajući prikupljene podatke, iz tri različite regije Republike Hrvatske, uočljivo je kako emisija PM_{10} čestica je znatno veća na kopnu nego na priobalju

Ukoliko promatramo rezultate od sve tri stanice i generalno procjenjujemo maksimalne vrijednosti , odnosno vrijednosti prekoračenja, možemo reći kako zona Dalmacija bilježi najniže maksimalne vrijednosti i najmanji broj prekoračenja u promatranom razdoblju,međutim isto tako i ima najduže godišnje prekide mjerenja, što mijenja statističku značajnost podataka.

Zona Rijeka ima manje prekide mjerenja ,i nešto više zabilježene vrijednosti koncentracija. Kalendarske godine 2017. zabilježena je gotovo dvostruka maksimalna vrijednost, u odnosu na prijašnje dvije godine, te dvostruki broj prekoračenja

Mjerna postaja Osijek-1 ,zona Osijek, svojim rezultatima bitno se razlikuje od prijašnje dvije mjerne postaje. Tijekom promatrane tri kalendarske godine, maksimalne vrijednosti prelaze MDK,propisanu ranije navedenom Uredbom,i to za duplu vrijednost prekoračenja. Na mjernoj postaji je također 2017. godine zabilježen porast vrijednosti u odnosu na prijašnja mjerenja.

Kategorije kakvoće zraka propisane su *Zakonom o zaštiti zraka (Narodne novine br. 178/04, 60/08)*. Zrak je podijeljen u tri kategorije kakvoće (prva, druga i treća kategorija kakvoće zraka).

Razlika u pojedinim kategorijama je u prekoračenju graničnih i tolerantnih vrijednosti. Tako da bi zrak bio prve kategorije (čist ili neznatno onečišćeni zrak) , ne smiju biti prekoračene granične vrijednosti za niti jednu onečišćujuću tvar, što za preostale dvije kategorije nije slučaj.

Druga kategorija je umjereno onečišćen zrak, odnosno za jednu ili više tvari prekoračene su granične vrijednosti, ali za niti jednu tvar nisu prekoračene tolerantne vrijednosti.

Treća kategorija kakvoće zraka je prekomjerno onečišćeni zrak, što je već i iz samoga naziva vidljivo kako tu spade zrak koji ima prekoračene tolerantne vrijednosti za jednu ili više tvari.

Danas je snazi nadopunjena i izmjenjena inačica navedenog zakona , te prema njoj postoje dvije kategorije onečišćenja zraka česticama PM₁₀ . S obzirom na nadopunjeni Zakon, imamo prvu kategoriju kvalitete zraka (čist ili neznatno onečišćeni zrak) ,nema prekoračenja graničnih vrijednosti i druga kategorija, uočene su prekoračene granične vrijednosti.

Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (Narodne novine broj 117/12) propisani su kriteriji za ocjenu razine onečišćenosti česticama te su određene granične vrijednosti. Tako je propisano da granična vrijednost srednje godišnje koncentracije PM₁₀ iznosi 40 µg/m³ ,a granična vrijednost dnevnih koncentracija PM₁₀ iznosi 50 µg/m³ te ne smije više od 35 puta godišnje biti prekoračena. (18)

6. ZAKLJUČAK

Pravilnikom o praćenju kvalitete zraka (Narodne novine broj 7/13) za procjenu kvalitete zraka ,određeno je da minimalni obuhvat podataka za praćenje razine lebdećih čestica PM10 iznosi 90%. S obzirom na pokrivenost na postajama nismo u mogućnosti valjano procijeniti kvalitetu zraka za svaku promatranu godinu na pojedinoj stanici.

Uzimajući u obzir navedene propise te sukladno njima, sa sigurnošću možemo zaključiti kako je u zoni Rijeka 2015. godine te u zoni Osijek 2016. i 2017. godine, zrak spadao u II. kategoriju kvalitete zraka – onečišćeni zrak.

Jedna zona kao što je Osijek,koja bilježi velike koncentracije čestica koje ujedno predstavljaju opasnost za živi svijet koji obitava na tom području, ukoliko se suoči sa ovakvim problemom onečišćenog zraka, dužna je poduzeti sve što je u njezinoj moći kako bi se zaštitilo zdravlje ljudi. Tada se izgrađuju akcijski planovi. Njima se za početak odrede potencijalni onečišćivači na području niže kvalitete zraka, odrede se klimatski uvjeti, razdoblje prekoračenja graničnih vrijednosti, te se shodno tome odrede potencijalne mjere koje za cilj imaju smanjenje emisije čestica te poboljšanje kvalitete zraka.

S obzirom na ishod rezultata možemo zaključiti kako je koncentracija PM₁₀ čestica viša na kopnu nego li je na priobalju.

Razlike u rezultatima su objašnjive i samim industrijskim središtima koji se nalaze na promatranim lokalitetima, te je očekivano kako će na jednoj mjernoj postaji kao što je to Polača (Ravni kotari) , koncentracije biti niže nego u zonama poput Rijeke i Osijeka koje su znatno razvijenije i posjeduju industrijske pogone.

Čovjekova najveća zadaća je da se vodi principom održivog razvoja. Da zrak koristi,no da ga što više sačuva u adekvatnom i zdravstveno prihvatljivom stanju te ga takvog predate idućim naraštajima.

7. LITERATURA

1. Puntarić D, Miškulin M, Bošnjir J, i sur. Zdravstvena ekologija, Zagreb, Medicinska naklada, 2012., str. 324. - 332.
2. Kvaliteta zraka i zdravlje
Dostupno na : [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
3. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *J Thorac Dis.* 2016;8(1):E69–E74. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
Dostupno na : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4740125/>
4. Donaldson K, Gilmour MI, MacNee W. Asthma and PM10. *Respir Res.* 2000;1(1):12–15. doi:10.1186/rr5
Dostupno na : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC59535/>
5. Izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2017. godinu
Dostupno na : <http://iszz.azo.hr/iskzl/datoteka?id=81453>
6. Davila S, et al. Real-time dissemination of air quality information using data streams and Web technologies *Arh Hig Rada Toksikol* 2015;66:171-180
Dostupno na : file:///C:/Users/I/Downloads/Article10Archives22015_2633.pdf
7. Kvaliteta zraka ; mjerene postaje
Dostupno na : <https://gov.hr/moja-uprava/stanovanje-i-okolis/briga-o-okolisu/kvaliteta-zraka/488>
8. Uredba o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske NN 1/2014
9. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, podatci o mjernim postajama
Dostupno na : <http://iszz.azo.hr/iskzl/postaja.html?id=159>

10. Podatci o mjestu Polaća
Dostupno na : <https://hr.wikipedia.org/wiki/Pola%C4%8Da>
11. Environmental dust monitor for approved PM measurements EDM 180 TS
Dostupno na : <https://www.grimm-aerosol.com/products-en/environmental-dust-monitoring/approved-pm-monitor/edm180/>
12. Thermo Anderson ESM FH 62 I – R
Dostupnoo na : https://www.instrumentcompaniet.no/files/THERMO_Datablad/FH62IR-english.pdf
13. Institut za medicinska istraživanja i medicine rada Zagreb, *Studija ekvivalencije za ne-referentnu metodu mjerenja frakcije lebdećih čestica PM₁₀ na mjernoj postaji Rijeka-2*
14. Barišić-Jaman , *Analiza mjerenih koncentracija lebdećih čestica (PM_{2,5} i PM₁₀) u zaštićenim područjima Hrvatske* , Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek 2016.
15. <https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Zrak.pdf> , (01.06.2019.)
16. S. Kumar Prajapati, Ecological effect of airborne particulate matter on plants, *Environmental Skeptics and Critics*, 1 (2012), 12 – 22
17. Zakon o zaštiti zraka, NN 130/11, 47/14
Dostupno na : http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_10_117_2521.html
18. Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN broj 117/12)
Dostupno na : https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_08_84_2011.html