

ISPITIVANJE KVALITETA UNUTRAŠNJEG VAZDUHA

Dr Snežana Aksentijević¹, Milica Božić², Marina Tubić³, Ivana Glišić⁴, Jasmina Obradović⁵

¹Visoka škola strukovnih studija, Užice, Srbija, snezana.aksentijevic@vpts.edu.rs

²Visoka škola strukovnih studija, Užice, Srbija, jankovicmilica28@yahoo.com

³Visoka škola strukovnih studija, Užice, Srbija, marinatubic@yahoo.com

⁴Visoka škola strukovnih studija, Užice, Srbija, glisic.ivana23@gmail.com

⁵Visoka škola strukovnih studija, Užice, Srbija, obradovicjasmina1993@gmail.com

Sažetak: Kvalitet vazduha zatvorenog prostora poprima sve veći značaj s obzirom da većina stanovnika provodi više od 90 % svog vremena u zatvorenom prostoru. Kvalitet unutrašnjeg vazduha je značajan uticajni parametar na zdravlje ljudi, jer mnogi biološki i nebiološki agensi zagađuju vazduh stana, kancelarije i druge zatvorene sredine gde ljudi borave. Na kvalitet unutrašnjeg vazduha u školama utiču građevinski materijal, zagađenje spoljašnjeg vazduha, način ventilacije u prostorijama, veliki broj studenata, kao i njihiva aktivnost. Za procenu kvaliteta unutrašnjeg vazduha, sprovedena su merenja na tri merna mesta, u pet vremenskih intervala u toku jedne radne nedelje. U radu su analizirane koncentracije formaldehida, ugljenmonoksida, broj čestica u šest različitih veličina i mikroklimatske parametri: temperatura, vlažnost vazduha.

Ključne reči: kvalitet vazduha unutrašnjeg prostora, čestice, formaldehid, ugljenmonoksid

1. UVOD

Svaka životna sredina u zavorenom prostoru je jedinstvena i kvalitet vazduha se značajno razlikuje od prostorije do prostorije. Računa se da 15% zagađenja vazduha zatvorene sredine potiče od ljudi koji nastanjuju zgradu, a ostatak čine drugi izvori [1]. Zagađenje unutrašnjeg vazduha u školama može da nastane usledne nedovoljne i neadekvatne ventilacije, korišćenjem različitih proizvoda za čišćenje, usled emitovanja različitih hemijskih jedinjenja iz građevinskih materijala i dekorativnih materijala nameštaja, kao i aktivnostima korisnika zgrade (pušenje, proizvodi za čišćenje, boje, lepkovi i drugi proizvodi široke potrošnje, nakupljanje vlage i CO₂). Od ostalih spoljnih faktora koji u značajnoj meri doprinose zagađenju izdvajaju se saobraćaj i industrijsko zagađenje, kao i tip zemljišta na kome je škola izgrađena. Parametri kvaliteta unutrašnjeg vazduha, kao što su nivo zagađujućih materija, vlaga ili temperatura direktno utiču na zdravlje i radne kapacitete studenata, kao i na udobnost boravka nastavnika i osoblja u školama. U mnogim studijama je pokazana direktna zavisnost između lošeg kvaliteta unutrašnjeg vazduha i zdravstvenih problema onih koji borave u takvim sredinama. Cilj ovog rad je da odredi i pokaže nivo kvaliteta unutrašnjeg vazduha u školi, okarakteriše unutrašnje zagađenje vazduha i uporedi koncentraciju glavnih zagađivača sa preporučenim vrednostima.

2. ZAGAĐENJE UNUTRAŠNJEG VAZDUHA

2.1. Čestice

Veličina, hemijski sastav, kao i atmosferski vek trajanja čestica zavisi od procesa kojim se formiraju. Osnovne komponente čestičnih materija su sulfati, nitrati, amonijak, natrijum-hlorid, ugljenik, mineralna prašina i voda. Čestične materije se u vazduhu pojavljuju u različitim oblicima i veličinama polazeći od prečnika veličine od nekoliko stotina do nekoliko mikrona [2]. Čestica u vazduhu nastaju uz pomoć dva mehanizma:

- čestice se emituju ili
- nastaju u atmosferi fizičkim i hemijskim transformacijama zagađujućih supstanci u obliku para i gasova.

Glavni izvori atmosferskih čestica su sagorevanje fosilnih goriva (pepeo, čađ), industrijski procesi, transport, deflacija i fotohemijske reakcije. Prašina nastala deflacijom i čestice koje nastaju kao rezultata industrijskih procesa su većih dimenzija ($> 1 \mu\text{m}$). Čestice vezane za sagorevanje i fotohemijske reakcije su obično manjih veličina ($< 1 \mu\text{m}$) [2].

Čestice koje lebde u vazduhu predstavljaju složene smeše organskih i neorganskih jedinjenja obično podeljenih u dve grupe:

1) čestice čiji je prečnik $\geq 10 \mu\text{m}$ (prašina)

2) čestice čiji je prečnik $\leq 10 \mu\text{m}$ (aerosoli)

Čestice u atmosferi nisu ni u fizičkom ni u hemijskoj pogledu homogene. S toga je važno znati kolika je njihova količina i koje su njihove fizičke osobine i hemijski sastav. Mada je rizik od izloženosti i zdravstvenih efekata veći što su čestice manje, granične vrednosti za frakcije čestica manje od 2.5 mikrona ne postoje. Regulativa koja se odnosi na zagađenost vazduha u zatvorenom prostoru pre svega se odnosi na radnu sredinu.

Ustanovljeno da čišćenje može da prouzrokuje ponovnu resuspenziju ovih čestica sa tepiha i nameštaja [4]. Tako 99% čestica suspendovanih u vazduhu koje se, udahnu eliminišu se iz organizma momentalno tokom izdaha, jer se uglavnom zadrže u gornjim delovima disajnih organa. Preostalih 1% čestica se zadržava u organizmu, dolaze do dušnika i dalje sve do pluća. Česticama koje su opasne po disajne organe čoveka smatraju se one koje su manje od $10 \mu\text{m}$. Ove čestice imaju tendenciju i da se u deponuju u alveolama. Ukoliko dospeju do pluća čestice usporavaju razmenu kiseonika i ugljen dioksida, skraćujući dah. To dovodi do većeg naprezanja srca, koje u uslovima povećanog napora kako bi kompezovao smanjeni unos kiseonika. Obično, ljudi koji su najosetljiviji na ovakve otežane uslova oboljevaju od respiratornih bolesti kao što su enfizem, bronhitis, astma i srčani problemi. Čestice kao i materije u vidu tečnosti i gasova koje se unose zajedno sa česticama na kojima se adsorbuju, ako se udahnu, a otrovne su, mogu doprineti i oštećenju organa kao, na primer, bubrega i jetre [6].

2.2. Ugljen monoksid

Globalna emisija CO najviše potiče iz prirodnih izvora. Glavni izvor emisije je oksidacija CH_4 u atmosferi, a od antropogenih izvora glavni izvor emisije CO je saobraćaj.

Saobraćaj predstavlja glavni antropogeni izvor emisije CO, ne samo usled nepotpunog sagorevanja goriva, već usled disocijacije CO_2 na visokim temperaturama (iznad $710 \text{ }^\circ\text{C}$), na kojima je CO stabilniji od CO_2 . Smatra se da zemljište na različite načine, pre svega zahvaljujući dejstvu bakterija iz tla, apsorbuje CO iz vazduhu u količini koja prelazi polovinu emitovane mase CO u atmosferu iz antropogenih izvora ($1.4 \times 10^8 \text{ t}$ godišnje).

Pretpostavlja se da se druga polovina CO iz vazduha, tokom dnevne svetlosti, ukloni iz atmosfere reakcijom sa hidroksilnim radikalom ($-\text{OH}$), pri čemu, uz prisustvo svetlosti ($h\nu$) nastali CO_2 uz oslobađanje vodonik radikala ($-\text{H}$). Pored svega navedenog više se emituje CO u atmosferu, nego što se iz atmosfere eliminiše CO, tako da se ostvaruje uvećavanje globalnog sadržaja CO u atmosferi od 0.8–1.4% godišnje [5].

Zbog jake citotoksičnosti za živa bića, CO spada u grupu hemijskih zagušljivaca i najvećih zagađivača vazduha. Njegov toksični efekat nastaje veoma brzo čak i pri izuzetno malim koncentracijama. Tako je izlaganje koncentracijama ugljen-monoksida od 100 i više ppm praćeno simptomima i znacima akutnog ili hroničnog trovanja, sa mogućim teškim posledicama po ljudsko zdravlje. Smrtna doza CO za ljude iznosi 1.000-2.000 ppm (0,1-0,2 %) pri udisanju gasa u trajanju od 30 minuta. Kod visokih koncentracija ugljen-monoksida u udahnutom vazduhu smrt može nastati u vremenu udisanja od 1-2 minuta.

2.3 Formaldehid

Jedan od najznačajnijih zagađujućih supstanci vazduha zatvorenog prostora je formaldehid [1]. Koncentracija formaldehida (HCHO) zavisi od prisustva primarnih izvora emisije kao što su građevinski materijali (iverica, ploče srednje gustine, šperploča) ili kao komponenta plastičnih smola koje se nalaze u mnogim sintetičkim materijalima (tepiši, tkanine, pena). Koncentracija formaldehida zavisi od temperature i vlage unutrašnjeg vazduha, a unutrašnje koncentracije su obično mnogo više od spoljašnjih. Formaldehid je uobičajeni zagađivač koji se javlja u školama i može biti emitovan iz nameštaja, tavanice, drvenih polica i ormana [4]. Ekspozicija ljudi većim koncentracijama uzrokuje iritaciju očiju, grla, mučninu i otežano disanje.

3. MERNI MESTA ISPITIVANJA

Merenje broja čestica šest veličina ($0,3 \mu\text{m}$; $0,5 \mu\text{m}$; $1 \mu\text{m}$; $2,5 \mu\text{m}$; $5 \mu\text{m}$; $10 \mu\text{m}$), temperature, vlažnosti vazduha, koncentracije formaldehida i ugljenmonoksida izvršeno je na Visokoj školi strukovnih studija u Užicu sa mernim instrumentom PC 220. Na slici 1 su prikazani merna mesta - holovi u školi kroz koje na sva tri sprata prolaze student sa predavanja iz svih učionica koje se nalaze na posmatranim spratovima i u kojima je predviđeno da mogu da sede, čitaju i provode slobodno vreme. Pet merenja na tri merna mesta, obavljeno je na pauzama

predavanja u vremenu od 10 do 14 sati, kada je po rasporedu u školi prisutan najveći broj studenata u svim učionicama.



I Merno mesto

II merno mesto

III merno mesto

Slika 1. Plan prostorija u Visokoj školi strukovnih studija

4. REZULTATI MERENJA

U tabelama od 1 do 10 prikazani su rezultati srednjeg broja čestica šest veličina, srednje vrednosti temperature i vlažnosti vazduha na sva tri merna mesta u toku jedne radne sedmice kada su urađena merenja.

Tabela 1. Srednja vrednost broja čestica prvog dana merenja

Veličina čestica	Broj čestica I merno mesto	Broj čestica II merno mesto	Broj čestica II merno mesto
0,3 μm	69505	85615	78733
0,5 μm	21945	23852	21612
1,0 μm	2024	2859	3204
2,5 μm	350	363	337
5,0 μm	70	54	53
10 μm	21	15	17

Tabela 2. Srednje vrednosti temperature i vlažnosti vazduha na ispitivanim mernim mestima prvog dana merenja

I merno mesto				II merno mesto				III merno mesto			
AT	21,8 °C	RH	31,1%	AT	20,9 °C	RH	30,2%	AT	20,8 °C	RH	31,5%
DP	5,5 °C	WB	13,7 °C	DP	4, °C 8	WB	13,7 °C	DP	5,2 °C	WB	13,7 °C

Tabela 3. Srednja vrednost broja čestica drugog dana merenja

Veličina čestica	Broj čestica I merno mesto	Broj čestica II merno mesto	Broj čestica II merno mesto
0,3 μm	107090	73776	55975
0,5 μm	27947	23488	14223
1,0 μm	2828	2558	1554
2,5 μm	325	305	174
5,0 μm	47	45	24
10 μm	16	14	10

Tabela 4. Srednje vrednosti temeprature i vlažnosti vazduha na ispitivanim mernim mestima drugog dana merenja

I merno mesto				II merno mesto				III merno mesto			
AT	21,2 °C	RH	30,5%	AT	20,1 °C	RH	30,5%	AT	20,1 °C	RH	32%
DP	5,2 °C	WB	13,9 °C	DP	4,5 °C	WB	13,9 °C	DP	4,7 °C	WB	13,2 °C

Tabela 5. Srednja vrednost broja čestica trećeg dana merenja

Veličina čestica	Broj čestica I merno mesto	Broj čestica II merno mesto	Broj čestica II merno mesto
0,3 µm	100337	99187	62714
0,5 µm	26365	25780	16348
1,0 µm	2856	2830	1779
2,5 µm	316	321	222
5,0 µm	39	46	42
10 µm	14	17	13

Tabela 6. Srednje vrednosti temeprature i vlažnosti vazduha na ispitivanim mernim mestima trećeg dana merenja

I merno mesto				II merno mesto				III merno mesto			
AT	21,6 °C	RH	25,7%	AT	20,3 °C	RH	26,2%	AT	20,2 °C	RH	27,8%
DP	3,6 °C	WB	13,8 °C	DP	2,7 °C	WB	13 °C	DP	3,2 °C	WB	13 °C

Tabela 7. Srednja vrednost broja čestica četvrtog dana merenja

Veličina čestica	Broj čestica I merno mesto	Broj čestica II merno mesto	Broj čestica II merno mesto
0,3 µm	87298	86731	68469
0,5 µm	23440	23522	18433
1,0 µm	2733	2560	2167
2,5 µm	338	345	281
5,0 µm	63	60	53
10 µm	22	18	19

Tabela 8. Srednje vrednosti temeprature i valažnosti vazduha na ispitivanim mernim mestima četvrtog dana merenja

I merno mesto				II merno mesto				III merno mesto			
AT	21,7 °C	RH	20,74	AT	20,1 °C	RH	21,5%	AT	19,9 °C	RH	22,7%
DP	1,2 °C	WB	14,1 °C	DP	0,4 °C	WB	12,5 °C	DP	0,8 °C	WB	12,4 °C

Tabela 9. Srednja vrednost broja čestica petog dana merenja

Veličina čestica	Broj čestica I merno mesto	Broj čestica II merno mesto	Broj čestica II merno mesto
0,3 µm	56678	56639	51955
0,5 µm	15096	15053	13525
1,0 µm	1703	1825	1589
2,5 µm	236	245	208
5,0 µm	44	43	35
10 µm	15	14	12

Tabela 10. Srednje vrednosti temeprature i vlažnosti vazduha na ispitivanim mernim mestima petog dana merenja

I merno mesto				II merno mesto				III merno mesto			
AT	21 °C	RH	23,2%	AT	20 °C	RH	25%	AT	19,9 °C	RH	25,5%
DP	1,9 °C	WB	13,3 °C	DP	1,9 °C	WB	12,7 °C	DP	2,1 °C	WB	12,6 °C

Izmerene vrednosti koncentracije formaldehida i ugljen monoksida u svim merenjima su 0 ppm, osim prvog dana merenja na I mernom mestu kada je vrednost koncentracije formaldehida bila 0,02 ppm. Prisustvo formaldehida prvog dana merenja uočeno je kada je veći broj studenata na I mernom mestu čekali u holu škole početa nastave, ali na nivo koji nije prelazio propisane vrednosti.

Najmanji broj čestica izmeren je na III mernom mestu svih dana merenja. Slika 1. - plan prostorija u školi, pokazuje da se na III mernom mestu nalaze dve učionice, za razliku od I mesta merenja (gde je izmeren najviši broj čestica) u kome se nalazi 14 učionica i laboratorija i time veći broj studenata koji prolazi kroz prostor hola. Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da broj čestica na ispitivanim mestima nije prelazio dozvoljene granice, osim merenja koja su obavljena prvog i drugog dana na I mernom mestu. Uočeno je da se broj čestica svi veličina povećava na svim mernim mestima, kako su se aktivnosti u školi menjale i povećavao broj studenata.

5. ZAKLJUČAK

Čestice manje od 10 mikrometara predstavlja smešu dima, čađi, prašine i kiseline, uz teške metale poput olova, kadmijuma, nikla i arsena, a nastaje kao posledica kombinovanog uticaja grejanja, saobraćaja i industrije. Kad udisanjem stigne u pluća, čestice deponuju se u najdubljim delovima tog organa. Vrlo bitan uticaj na ljudsko zdravlje imaju čestice čiji je prečnik $\leq 2,5 \mu\text{m}$. Ove čestice mogu da izazovu negativne efekte po zdravlju i pri kratkim izlaganjima, na primer samo jedan dan, a pogotovu pri dugim izlaganjima – godinu i više dana. Rezultati su pokazali da kvalitet vazduha ispitivanog unutrašnjeg prostora zadovoljavajući i nisu prelazile propisane vrednosti. Obzirom da loš kvalitet vazduha unutrašnjeg prostora može da dovede do neugodnosti, iritacije i drugih kratkoročnih i dugoročnih zdravstvenih problema, da pogorša postojeće zdravstvene probleme, uključujući astmu i alergije, da dovede do širenja infektivnih bolesti koje se prenose vazduhom, da umanjí produktivnost nastavnika, osoblja i studenata, potrebno je kontinuirano pratiti njegov kvalitet.

LITERATURA

- [1] Đarmati, A. Š., Zagađenje i zaštita vazduha, Institut Polietnika, Beograd, 2007.
- [2] Aalto P. et al, 2005. Aerosol Particle Number Concentration Measurements in Five European Cities Using TSI-3022 Condensation Particle Counter over Three-Year Period during Health Effects of Air Pollution of Susceptible Subpopulations, *J. Air&Waste Manage. Assoc.* 57:1064-1076
- [3] Vermont Department of Environmental Conservation, Air pollution Control Division, Fine Particles: The Microscopic Menace, *Air Matters.* 2(2) (1997) 1-8.
- [4] Jovanović, M. P.,: Istraživanje unutrašnjeg zagađenja vazduha u učionicama osnovnih škola, *TERMOTEHNIKA*, 2013, XXXIX, 1-2, 75-83
- [5] Milovanović, M., Uticaj ambijentalnih parametara na propagaciju akcidentno emitovanih aerozagađenja, Beograd, 2002.
- [6] www.chem.bg.ac.rs/~grzetic/predavanja/Osnovi%20hemije%20atmosfere%20i%20zagadjivaci%20vazduha/SUSPENDOVANE%20I%20RESPIRABILNE%20CESTICE%20U%20URBANIM%20SREDINAMA.pdf