

PRAŠKASTE MATERIJU U RADNOM OKRUŽENJU PEKARE**PARTICULATE MATTER IN INDOOR AIR OF A BAKERY**Caca Crnjak, Dragan Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE NA RADU**

Kratak sadržaj –U radu je prikazano merenje i analiza vazduha u pekari u Novom Sadu na četiri lokacije u okviru proizvodnog procesa tj. u prostorijama proizvodnje, na prodajnom mestu, skladištu gotovih proizvoda i napolju. Merenje je izvršeno senzorskim analizatorima kvaliteta vazduha u trajanju od 14.05.2020. do 31.05.2020., a rezultati su očitavani na svaka dva minuta. Parametri koji su mereni su temperatura, vlažnost vazduha, pritisak i suspendovane čestice iz kategorija: PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_{10} . Dobijeni rezultati ukazuju na veoma česta prekoracenja preporučenih graničnih vrednosti, što iziskuje unapređenje proizvodnog procesa u cilju minimizacije emisija praškastih materija i korišćenje sredstava lične zaštite u cilju prevencije razvoja profesionalnih inhalacionih oboljenja.

Ključne reči: PM čestice; zagađenje vazduha; zaštita na radu.

Abstract – This paper presents the air pollution measurement and analysis in a bakery in Novi Sad at four locations within the production process, in the production premises, at the point of sale, warehouse of finished products, and outside. The measurement was performed with air quality sensor analyzers for the period from 14.05.2020. to 31.05.2020, and the results were read every two minutes. The parameters measured were temperature, humidity, pressure, and suspended particles from the categories: PM_1 , $PM_{2.5}$, and PM_{10} . The obtained results indicate very frequent exceeding of the recommended limit values, which requires improvement of the production process to minimize particulate matter emissions and the use of personal protective equipment to prevent the development of occupational inhalation diseases.

Keywords: Particulate Matter, Air Pollution, Safety at Work.

1. UVOD

Zagađenje vazduha je u savremenom društvu prepoznato kao jedan od dominantnih faktora rizika po zdravlje ljudi. Urbanizacija, kao i rapidan rast broja motornih vozila po glavi stanovnika prouzrokovali su pogoršanje stanja kvaliteta vazduha. Smatra se da kvalitet vazduha u urbanim sredinama ima veći uticaj na zdravlje stanovništva nego ostali faktori životne sredine.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Adamović, vanr.prof.

Zagađivači ambijentnog vazduha predstavljaju jedan od najznačajnijih uzroka zdravstvenih problema uopšte [1]. Respirabilne čestice zbog svog negativnog dejstva na ljudsko zdravlje, skreću veliku pažnju stručnjaka, regulatornih tela i najšire javnosti. Zakonska regulativa Evropske Unije već dugi niz godina, a od 2010. godine i srpska regulativa propisuju monitoring dve frakcije čestica prisutnih u vazduhu, manjih od $2,5 \mu m$ takozvanih finih čestica $PM_{2,5}$ i manjih od $10 \mu m$ aerodinamičkog prečnika, PM_{10} , u čiji sastav ulaze pored finih čestica i grube čestice koje su iz opsega od $2,5-10 \mu m$.

1.1. PM čestice

Suspendovane čestice potiču iz različitih stacionarnih i pokretnih izvora i mogu se direktno emitovati iz različitih izvora (primarne emisije) ili formirati u atmosferi (sekundarne emisije) transformacijom gasovitih emisija [2]. PM čestice obuhvataju fino usitnjene čvrste materije poput prašine, letećeg pepela, čađi, dima, aerosola, isparenja, magle i kondenzovanih para koje se mogu suspendovati u vazduhu na duži vremenski period. Izvori PM čestica mogu biti prirodni i antropogeni. Pod prirodnim izvorima podrazumevaju se čestice nastale od zemlje, prašine, vulkanskih erupcija, vegetacije i razaranja stena. Pored prirodnih izvora, najznačajniji izvori suspendovanih čestica su antropogenog porekla, kao što je proces sagorevanja. Što su čestice sitnije, lakše će se raspršiti i dublje mogu prodrati u respiratorni sistem, što nanosi veću štetu. PM_{10} , čiji je prečnik manji od 10 mikrona, ulaze u respiratorni trakt i povezane su sa zdravstvenim rizicima poput bronhitisa, astme i infekcija gornjih disajnih puteva. Praškaste materije iz kategorije PM_{10} pogoršavaju simptome postojećih bolesti. $PM_{2,5}$ su znatno finije, prodiru dublje u respiratorni trakt i krvotok, što uzrokuje kardiovaskularne probleme.

1.2. Efekti na zdravlje

Mnogobrojni su efekti na zdravlje ljudi koji nastaju kao posledica izlaganja suspendovanim česticama. Brojne studije pokazale su povezanost između izloženosti praškastim materijama i povećanog prijema u bolnice, kao i smrti od bolesti srca i pluća. Uprkos opsežnim epidemiološkim istraživanjima, trenutno nema dokaza o pragu ispod kojeg izloženost česticama ne izaziva nikakve zdravstvene posledice. Efekti na zdravlje mogu se javiti i nakon kratkotrajnog i dugotrajnog izlaganja praškastim materijama [3]. Smatra se da kratkotrajna i dugotrajna izloženost imaju različite mehanizme dejstva. Čini se da kratkotrajna izloženost pogoršava već postojeće bolesti, dok dugotrajna izloženost najverovatnije uzrokuje bolest i povećava brzinu progresije.

1.3. Standardi kvaliteta za PM čestice

Standarde kvaliteta vazduha za zaštitu zdravlja utvrđuju tela kao što su Svetska zdravstvena organizacija (WHO-engl. World Health Organization) i EU. Standardi kvaliteta ambijentalnog vazduha definišu maksimalnu količinu zagađujućih supstanci koje mogu biti prisutne u vazduhu na otvorenom bez štete po ljudsko zdravlje. Evropska unija i Svetska Zdravstvena organizacija propisale su prosečne dnevne granične vrednosti za PM čestice koje iznose:

- EU – PM₁₀ čestice 40 µg/m³; PM_{2,5} čestice 25 µg/m³
- WHO – PM₁₀ čestice 20 µg/m³; PM_{2,5} čestice 10 µg/m³

2. MATERIJAL I METODE

Merenje je izvršeno u pekari u Novom Sadu sa senzorskim uređajem za određivanje koncentracionih nivoa suspendovanih čestica, sa odzivom podešenim na svaka dva minuta na četiri lokacije u pekari, a to su: prodajno mesto, skladište gotovih proizvoda, u prostorijama proizvodnje i napolju. U okviru merenja su praćeni mikroklimatski parametri radnog prostora: temperatura, relativna vlažnost vazduha i pritisak. Pored navedenih parametara praćeni su i koncentracioni nivoi tri frakcije praškastih materija: PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀.

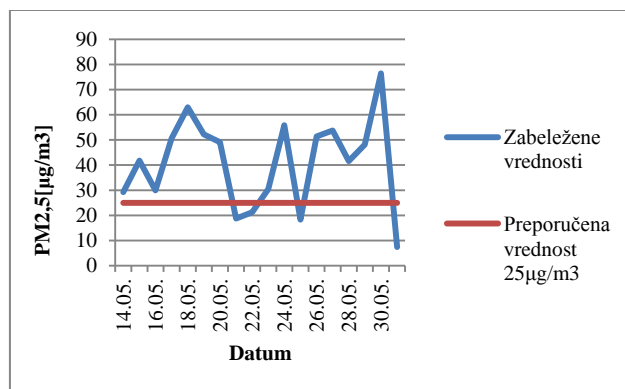
Nakon sprovedenih merenja, dobijeni podaci su obrađeni statistički, izračunavanjem osnovnih parametara deskriptivne statistike u programu Microsoft Excel 2010. Dobijeni su podaci o srednjim dnevnim vrednostima sa standardnom devijacijom, modusom, medijanom i opsegom detektovanih parametara. Rezultati su prezentovani grafičkim putem kako bi se jasno uočili trendovi promena temperature i vlažnosti vazduha, zatim poređenja dobijenih prosečnih dnevnih vrednosti koncentracionih nivoa praškastih materija iz kategorija PM_{2,5} i PM₁₀ sa preporučenim vrednostima, kao i variranje koncentracionih nivoa PM čestica tokom celog perioda merenja na svim mernim mestima.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Rezultati merenja na prodajnom mestu

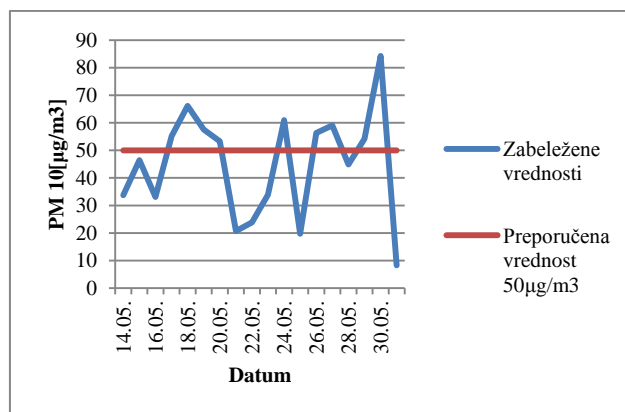
Zabeležena temperatura kreće se u opsegu od 21,35°C do 25,09°C. U poređenju sa Pravilnikom o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu, ako uzemo u obzir da je temperatura napolju iznad 15°C, a vrsta rada srednji fizički rad, zabeležena temperatura ulazi u opseg dozvoljenih vrednosti pod kojim podrazumevamo temperaturu ne veću od 28°C. Zabeležena vlažnost vazduha se kreće u opsegu od 21% do 59%. U poređenju sa Pravilnikom o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu primećujemo da ove vrednosti ulaze u opseg preporučenih vrednosti od 60% do 73%. Zabeležena vrednost pritiska se kreće u rasponu od 999,9 hPa do 1022,61 hPa, a PM₁ od 0 µg/m³ do 367 µg/m³ što je u velikom broju slučajeva daleko iznad dozvoljenih vrednosti. Zabeležena vrednost PM_{2,5} kreće se u rasponu od 0 µg/m³ do 753 µg/m³ što ukazuje na česta odstupanja od preporučene vrednosti pod kojom podrazumevamo 25 µg/m³, kao i PM₁₀ čestice čije se koncentracije se kreću u opsegu od 0 µg/m³ do 857 µg/m³ gde takođe primećujemo

odstupanja od dozvoljene vrednosti od 50 µg/m³. Na slici 1 je prikazano je poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM_{2,5} sa preporučenom vrednošću od 25 µg/m³. Odstupanje od preporučenih vrednosti je vrlo vidljivo i znatno što predstavlja velik rizik za zaposlene na tom radnom mestu.



Slika 1. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM_{2,5} na prodajnom mestu sa preporučenom vrednošću

Na slici 2 prikazano je poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM₁₀ sa preporučenom vrednošću od 50 µg/m³. Sa slike vidimo da je devet dana zabeležena vrednost bila iznad preporučene, a devet dana ispod preporučene vrednosti.



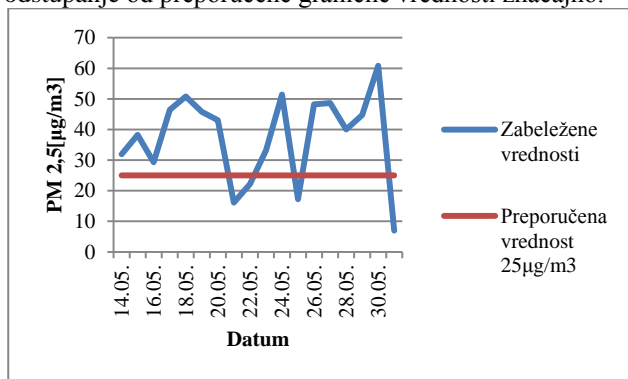
Slika 2. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM₁₀ na prodajnom mestu sa preporučenom vrednošću

3.2. Rezultati merenja u skladištu kod gotovih proizvoda

Najmanja detektovana vrednost temperature u skladištu kod gotovih proizvoda je 22°C, a najveća 25,62°C. U poređenu sa Pravilnikom o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu ove vrednosti se podudaraju sa dozvoljenim, tj. preporučenim vrednostima, pod kojom podrazumevamo da je temperatura manja ili jednaka sa 28°C. Zabeležena vrednost vlažnosti vazduha se kreće u opsegu od 22% do 57%. Primećujemo da su ove vrednosti u skladu sa preporučenim vrednostima. Zabeležena vrednost pritiska kreće se u opsegu od 1001,31 hPa do 1022,9 hPa, a PM₁ od 0 µg/m³ do 273,6 µg/m³. Ove vrednosti su u nekim trenucima mnogo veće od preporučenih vrednosti. Zabeležena vrednost PM_{2,5} kreće se u rasponu od 0 µg/m³ do 522,87 µg/m³. Najviša

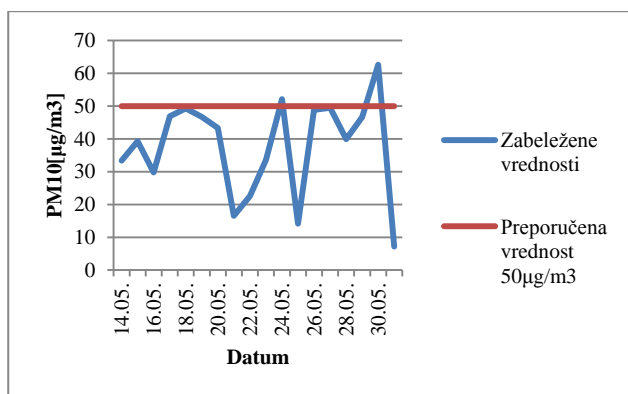
detektovana vrednost koncentracije je daleko iznad preporučene vrednosti koja iznosi $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentracije čestica iz kategorije PM_{10} se kreću u rasponu od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $527,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ što je takođe u velikom broju slučajeva iznad preporučene vrednosti od $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Na slici 3 prikazano je poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti $\text{PM}_{2,5}$ sa preporučenom vrednošću od $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sa slike 3 zaključujemo da je u većini dana odstupanje od preporučene granične vrednosti značajno.



Slika 3. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti $\text{PM}_{2,5}$ u skladištu gotovih proizvoda sa preporučenom vrednošću

Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti čestica iz kategorije PM_{10} sa preporučenom vrednošću od $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ prikazano je na slici 4. Zaključujemo da su na ovom mernom mestu u najvećem broju dana zabeležene vrednosti u skladu sa preporučenim vrednostima.

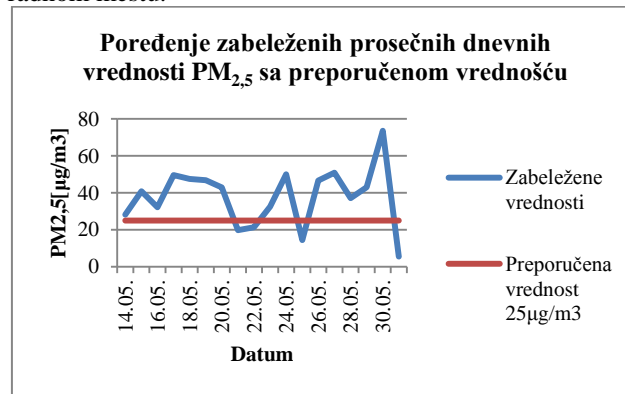


Slika 4. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM_{10} u skladištu gotovih proizvoda sa preporučenom vrednošću

3.3. Rezultati merenja u prostorijama proizvodnje

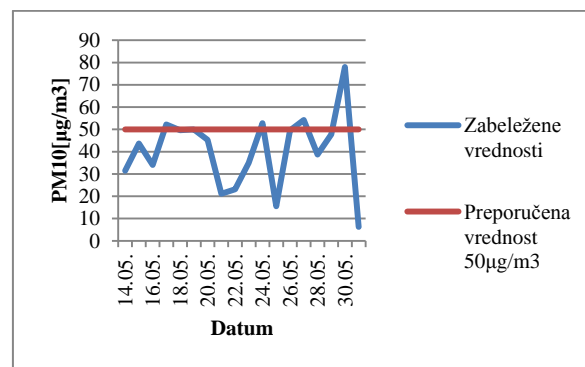
Zabeležene vrednosti temperature u prostorijama proizvodnje kreću se u rasponu od $21,72^\circ\text{C}$ do $25,88^\circ\text{C}$ što u poređenju sa Pravilnikom o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu ulazi u opseg preporučenih vrednosti. Zabeležena vlažnost vazduha kreće se u opsegu od 22% do 59%. Iz Pravilnika o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu zaključujemo da ove vrednosti pripadaju opsegu preporučenih vrednosti. Zabeležena vrednost pritiska je od $999,88 \text{ hPa}$ do $1021,9 \text{ hPa}$. Opseg detektovanih koncentracija čestica iz kategorije PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} obuhvata intervale od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $383 \mu\text{g}/\text{m}^3$, od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $770 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $802 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respektivno. Vrednosti čestica različitih frakcija su u određenim

momentima daleko iznad dozvoljenih vrednosti, u slučaju $\text{PM}_{2,5}$ čak 30 puta veće od dozvoljene, tj. preporučene vrednosti. Slika 5 sadrži prikaz zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti $\text{PM}_{2,5}$ detektovanih u proizvodnom pogonu u poređenju sa preporučenom vrednošću od $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uočeno je znatno odstupanje od preporučene vrednosti, što predstavlja velik rizik za zaposlene na tom radnom mestu.



Slika 5. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti $\text{PM}_{2,5}$ u procesu proizvodnje sa preporučenom vrednošću

Na slici 6 prikazano je poređenje prosečnih dnevnih vrednosti PM_{10} sa preporučenom vrednošću od $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sa slike zaključujemo da veći broj merenja ulazi u opseg dozvoljenih vrednosti, sa odstupanjem tokom četiri dana.

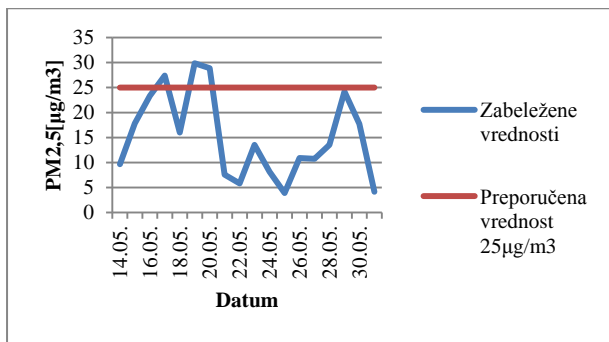


Slika 6. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM_{10} u procesu proizvodnje sa preporučenom vrednošću

3.4. Rezultati merenja napolju

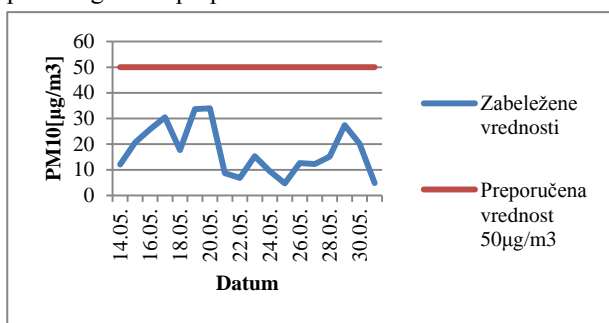
Zabeležene vrednosti temperature se kreću u rasponu od $10,83^\circ\text{C}$ do $27,22^\circ\text{C}$. Zabeležena vrednost vlažnosti vazduha se kreće u opsegu od 13% do 81%. Zabeležena vrednost pritiska kreće se u opsegu od $998,12 \text{ hPa}$ do $1040,51 \text{ hPa}$, a PM_1 od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $279,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ove vrednosti su u nekim momentima mnogo veće od preporučenih vrednosti. Zabeležena vrednost $\text{PM}_{2,5}$ kreće se u rasponu od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $592,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ što je često iznad preporučene vrednosti koja iznosi $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentracije čestica PM_{10} se kreću u rasponu od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $738 \mu\text{g}/\text{m}^3$ što je takođe izvan preporučene vrednosti od $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti $\text{PM}_{2,5}$ sa preporučenom vrednošću prikazano je na slici 7. U većem broju slučajeva ove vrednosti su ispod preporučene vrednosti, sa malim odstupanjima tokom tri dana.



Slika 7. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM_{2,5} napolju sa preporučenom vrednošću

Slika 8 prikazuje poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM₁₀ sa preporučenom vrednošću koja iznosi 50 µg/m³. Za razliku od prethodnih merenja, zabeležene vrednosti PM₁₀ čestica u ovom slučaju ne prelaze granice preporučenih vrednosti.



Slika 8. Poređenje zabeleženih prosečnih dnevnih vrednosti PM₁₀ napolju, sa preporučenom vrednošću

4. ZAKLJUČAK

I pored smanjenog obima proizvodnje tokom perioda pandemije virusa COVID 19 zabeležena su značajna odstupanja koncentracionih nivoa praškastih materija iz svih praćenih kategorija u poređenju sa preporučenim dnevnim vrednostima na svim mernim mestima u okviru proizvodnog procesa, uključujući i kontrolnu tačku koja je postavljena van pekare, kako bi se ispitalo eventualni uticaj kontaminacije spoljnog vazduha na kvalitet vazduha unutar radnog prostora.

Koncentracioni nivoi praškastih materija iz kategorije PM_{2,5} u najvećem broju slučajeva prevazilaze preporučenu dnevnu vrednost od 25 µg/m³, pri čemu je najveća prosečna vrednost detektovana od 76,51 µg/m³ (SD=151,48) na prodajnom mestu.

U poređenju sa praškastim materijama iz kategorije PM_{2,5}, suspendovane čestice iz kategorije PM₁₀, u nešto manjem broju slučajeva prevazilaze preporučenu vrednost od 50 µg/m³, mada je i za čestice PM₁₀ prekoračenje preporučene prosečne dnevne vrednosti gotovo uobičajena situacija u radnim prostorijama pekare. Najviša prosečna dnevna vrednost čestica iz kategorije od 84,24 µg/m³ (SD=165,24) PM₁₀ je zabeležena takođe na prodajnom mestu.

U skladu sa rezultatima koji ukazuju na konstantno povišene koncentracije praškastih materija, koje veoma često prevazilaze preporučene vrednosti od strane međunarodnih stručnih organizacija, može se doneti generalni zaključak o visokoj tendenciji zaposlenih

radnika ka razvoju profesionalnih respiratornih oboljenja. Posebno zabrinjavaju visoki koncentracioni nivoi čestica iz kategorija PM₁ i PM_{2,5}, koje izazivaju veći upalni odgovor nego veće čestice.

Najpovoljnija mera zaštite bi bilo uklanjanje i zamena potencijalno štetnih proizvoda onima koji smanjuju ili eliminišu rizik. Treba promeniti navike i praksu zaposlenih, kao na primer korišćenje granuliranih sastojaka umesto praškastih, smanjenje trajanja ili intenziteta izlaganja potencijalno štetnim materijama. U procesu proizvodnje dodavati vodu pre brašna i mesiti manjom brzinom, držati radno mesto uvek čistim. Korišćenje mešalice sa izduvnim sistemom i pričvršćenim poklopcem su takođe efikasna rešenja za smanjenje izloženosti alergenima. Prirodna ili mehanička ventilacija znatno smanjuje nivo, kao i direktno i indirektno izlaganje štetnim supstancama. Ukoliko ne može da se kontroliše emisija čestica preporučuje se upotreba maske za lice sa filterom N95 [4].

Dalja istraživanja u ovoj oblasti će biti usmerena ka unapređenju proizvodnog procesa u cilju smanjenja koncentracionih nivoa praškastih materija, na osnovu usvojenih primera dobre prakse u ovoj oblasti.

5. LITERATURA

- [1] Zhang, H., Wang, Shuxiao, Hao, J., Wang, X., Wang, Shulan, Chai, F., Li, M., 2016. Air pollution and control action in Beijing. J. Clean. Prod. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.092
- [2] Kelly, F.J., Fussell, J.C., 2012. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. Atmos. Environ. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.06.039
- [3] Bae, S., Hong, Y.C., 2018. Health effects of particulate matter. J. Korean Med. Assoc. doi:10.5124/jkma.2018.61.12.749
- [4] <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-F-532.pdf> (24.03.2021)

Kratka biografija:



Caca Crnjak rođena je u Vrbasu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Inženjerstvo zaštite na radu odbranila je 2021.god. kontakt: crnjakcaca@gmail.com



Dragan Adamović, vanredni profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Osnovne studije je završio na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu 2003. godine, a od 2005. je zaposlen na Fakultetu tehničkih nauka.