

BEZBIJEDNOST I ZDRAVLJE NA RADU U PROCESIMA ZAVARIVANJA**SAFETY AND HEALTH AT WORK IN WELDING PROCESSES**Paulina Despotović, Dragan Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE NA RADU**

Kratak sadržaj – Zavarivanje je osnovni proizvodni proces koji se koristi u postupcima spajanja materijala u različitim industrijama. Poznavanje različitih tehnologija zavarivanja, od elektrolučnog do laserskog zavarivanja, omogućava izbor najpogodnije tehnike. Procesi zavarivanja mogu doprineti zagađenju vazduha kroz emisiju praškastih materija, uključujući suspendovane čestice iz kategorija PM_{10} i $PM_{2.5}$. Primjenom efikasnih ventilacionih sistema, kontrola izduvnih gasova i mehanizama za filtriranje, oslobađanje ovih praškastih supstanci se može svesti na minimum. U radu je istaknuta važnost upotrebe lične zaštitne opreme (LZO) kao ključne zaštite u okruženju zavarivača. Pravilan izbor i upotreba LZO može da umani rizike povezane sa procesima zavarivanja i doprineti opštem blagostanju radnika.

Ključne reči: Tehnologija zavarivanja, PM_{10} , $PM_{2.5}$, BZNR pri zavarivanju

Abstract – Welding is a basic production process used in various industries, knowledge of various welding technologies, from electric arc to laser welding, enables the selection of the most suitable technique. Welding processes can contribute to air pollution through the emission of particulate matter, including PM_{10} and $PM_{2.5}$. By implementing efficient ventilation systems, exhaust gas controls and filtering mechanisms, the release of these dusty substances can be minimized. The paper highlights the importance of personal protective equipment (PPE) as a key protection in the welding environment. Proper selection and use of PPE can reduce the risks associated with welding processes and contribute to the general well-being of workers.

Keywords: Welding technology, PM_{10} , $PM_{2.5}$, safety and health at work during welding

1. UVOD

Suspendovane čestice, posebno one prečnika manjeg od $2,5 \mu m$ ($PM_{2.5}$) su u fokusu naučne javnosti zbog štetnih efekata koje prouzrokuju, zbog čega su predmet posebnog interesovanja stručnjaka koji se bave kvalitetom vazduha. Ove čestice su toliko sitne da mogu lako da prodru u respiratorni sistem i uđu u krvotok predstavljajući potencijalni rizik po ljudsko zdravlje. $PM_{2.5}$ čestice mogu voditi poreklo iz prirodnih i antropogenih izvora.

NAPOMENA:

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

Prirodni izvori uključuju prašinu vulkanskih emisija i polen, dok antropogeni izvori prvenstveno uključuju industrijske emisije, izduvne emisije motornih vozila i proizvodnju električne energije [1].

Kada se udahnu, ove sitne čestice mogu prodrati duboko u respiratorni sistem i dospeti do samih alveola u plućima. Ovo može dovesti do respiratornih problema kao što su otežano disanje, pojavom i pogoršanjem simptoma astme i alergija. Produžena izloženost visokim koncentracionim nivoima $PM_{2.5}$ povezana je sa kardiovaskularnim oboljenjima, plućnim poremećajima, pa čak i preranom smrću [2,3]. Da bi ublažile uticaje zagađenja česticama iz kategorije $PM_{2.5}$, vlade i agencije za zaštitu životne sredine širom svijeta primjenile su različite mjere. To uključuje postavljanje standarda kvaliteta vazduha koji regulišu industrijske emisije, promovisanje čistijih goriva, primena standarda o emisiji izduvnih gasova motornih vozila i promovisanje obnovljivih izvora energije.

$PM_{2.5}$ čestice nastale tokom procesa zavarivanja predstavljaju značajan rizik po zdravlje kako zavarivača, tako i pojedinaca prisutnih u neposrednoj blizini. Ove čestice su dovoljno male da zaobiđu prirodne odbrambene mehanizme tijela i prodru duboko u respiratorni sistem, izazivajući razne zdravstvene probleme. Jedna od primarnih briga od štetnog uticaja čestica $PM_{2.5}$ je potencijal za akutne respiratorne simptome. Udisanje $PM_{2.5}$ može dovesti do iritacije respiratornog trakta, izazivajući simptome kao što su kašalj, piskanje i kratak dah. Produžena izloženost može da pogorša postojeća respiratorna stanja kao što su astma i bronhitis.

Štaviše, $PM_{2.5}$ čestice sadrže toksične supstance poput teških metala, kao što su kadmijum, nikl i olovo. Ove supstance mogu izazvati sistemske zdravstvene probleme kada se apsorbuju u krvotok. Oni su povezani sa kardiovaskularnim problemima, uključujući povećan rizik od srčanog udara, moždanog udara, pa čak i raka pluća [4].

Zagađenje vazduha u procesu zavarivanja predstavlja značajnu zabrinutost zbog potencijalnih opasnosti po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Produžena ili ponovljena izloženost može dovesti do ozbiljnijih zdravstvenih problema, uključujući respiratorne probleme poput bronhitisa, pneumonije i profesionalne astme. Brojne studije su takođe povezale dugotrajno izlaganje isparenjima iz procesa zavarivanja sa povećanim rizikom od raka pluća i drugih respiratornih bolesti [1].

Za rešavanje problema zagađenja vazduha u procesima zavarivanja primenjuju se različite mjere kontrole. Sistemi lokalne izduvne ventilacije se obično koriste za hvatanje i uklanjanje dima nastalog u procesu zavarivanja na samom izvoru. Ovi sistemi se sastoje od hauba ili krakova postavljenih u blizini područja zavarivanja koji

omogućavaju da se isparenja izvuku pre nego što se rasprše u okolni vazduh.

Drugi pristup smanjenju zagađenja vazduha pri zavarivanju jeste primena odgovarajućih tehnika i praksi u procesu zavarivanja. Ovo uključuje korišćenje šipki ili žica za zavarivanje sa nižim emisijama koje obezbeđuju adekvatno snabdevanje zaštitnog gasa i optimizuju parametre zavarivanja kako bi se minimiziralo stvaranje isparenja. Dodatno, zavarivačima treba obezbediti ličnu zaštitnu opremu kao što su respiratorna zaštita i zaštitna odijela kako bi se ublažila izloženost radnika štetnim isparenjima. Na taj način se negativni uticaj zagađenja vazduha pri zavarivanju može svesti na minimum, štiteći i radnike i životnu sredinu [5].

Vrste opreme za zaštitu organa za disanje:

- **Respiratori**

Respiratori su vitalne komponente opreme za zaštitu disajnih organa. Oni pružaju fizičku barijeru između respiratornog sistema zavarivača i opasnog okruženja. Postoje dve glavne vrste respiratora koje koriste zavarivači: respiratori za prečišćavanje vazduha i respiratori za dovod vazduha.

Respiratori za prečišćavanje vazduha: Ovi respiratori koriste filtere za uklanjanje štetnih čestica i gasova iz vazduha pre nego što stignu do pluća zavarivača. Oni su klasifikovani u tri kategorije: respiratori za čestice, respiratori za gas/paru i kombinovani respiratori.

Respiratori sa dovodnim vazduhom: isporučuju čist vazduh koji može da putuje od udaljenog izvora do zavarivača preko crijeva. Ovaj tip respiratora pruža viši nivo zaštite jer eliminiše potrebu za filtriranjem okolnog vazduha. Respiratori sa dovodom vazduha su posebno korisni u okruženjima sa visokim koncentracijama zagađujućih supstanci [6].

- **Kacige za zavarivanje**

Kacige za zavarivanje su još jedan važan dio opreme za zaštitu disajnih organa za zavarivače. Pružaju zaštitu za oči, lice i respiratorni sistem. Savremeni šlemovi za zavarivanje opremljeni su sistemom za zaštitu disajnih organa koji obezbeđuje konstantan dovod čistog vazduha unutar šlema, stvarajući pozitivan pritisak kako bi se sprečio ulazak zagađujućih supstanci.

2. POSTUPAK EKSPERIMENTALNE ANALIZE

Određivanja koncentracionih nivoa suspendovanih čestica iz kategorije PM_{2,5} sprovedena su korišćenjem srednje zapreminskog uzorkivača vazduha Baghirra, Czech Republic.

Uređaj se sastoji iz tri osnovna dijela:

- Separacione glave, koja odstranjuje čestice veće od 10 µm.
- Duraluminijumskog držača filtera, prečnika 47 mm
- Tijela uzorkivača koje sadrži elektronsku kontrolu čitavog sistema uzorkivača uključujući mjerenja

pritiska, temperature, zapreminskog protoka, pritiska usisavanja, termoregulacionu kontrolu. Sve elektronske kontrole su podesive korišćenjem touch-screen ekrana.

Prije samog procesa uzorkovanja Whatman-ov filter Ø47 suši se do konstantne mase. Nakon toga filter se mjeri na analitičkoj vagi i postavlja u držač filtera aktivnog uzorkivača vazduha. Tokom postupka uzorkovanja, vazduh radnog okruženja se provlači kroz uzorkivač, inicirano radom pumpe aktivnog uzorkivača na kom je podešen odgovarajući protok. Nakon završenog perioda uzorkovanja, uzima se filter iz uzorkivača i pod istim uslovima, kao i prije procesa uzorkovanja, suši do konstantne mase. Osušen filter se mjeri na analitičkoj vagi. Na osnovu razlike mase filtra nakon i pre postupka uzorkovanja se utvrđuje masa suspendovanih čestica koje su se zadržale na filtru. Aktivni uzorkivač, tokom rada mjeri zapreminu vazduha koja je protekla kroz uzorkivač tokom perioda uzorkovanja koja se očitava na displeju uređaja.

Masena koncentracija, odabrane kategorije suspendovanih čestica, određuje se korišćenjem izraza:

$$c = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1)$$

Gdje je:

- C - masena koncentracija suspendovanih čestica (µg/m³)
- m₂ - masa filtra nakon završenog procesa uzorkovanja (µg)
- m₁ - masa filtra pre uzorkovanja (µg)
- V - zapremina vazduha koja je protekla kroz uzorkivač tokom procesa uzorkovanja (m³)

2.1. Eksperimentalni dio

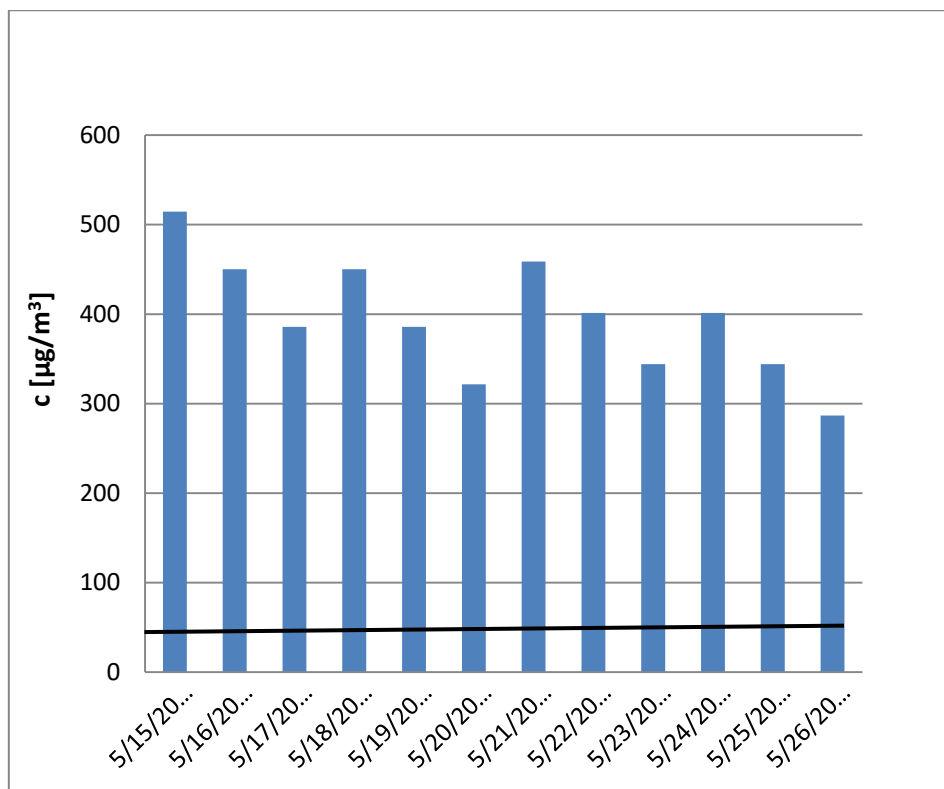
Eksperimentalni dio ovog master rada je sproveden u proizvodnom procesu zavarivačkog preduzeća u kom je korištena TIG zavarivačka tehnika, kao dominantna operacija u proizvodnom procesu. Eksperimentalna mjerenja su sprovedena u dvanaestodnevnom periodu od 15 do 26. maja 2023. godine.

Određivanja koncentracionih nivoa suspendovanih čestica iz kategorije PM_{2,5} su sprovedena tokom osmočasovnog radnog vremena postavljenjem aktivnog uzorkivača vazduha na visinu ekvivalentu zoni disanja zaposlenih radnika, negde oko 1,5 m od površine poda. Protok vazduha pumpe aktivnog uzorkivača je podešen na 15 l/min.

3. REZULTATI

Rezultati sprovedenih eksperimentalnih ispitivanja su prikazani na slici broj 1:

Rezultati pokazuju da su tokom merne kampanje koncentracije suspendovanih čestica bile u opsegu od 286,69 do 514,46 µg/m³. To ukazuje da su koncentracioni nivoi izmereni u procesu zavarivanja često i do 20 puta veći u odnosu na propisanu vrijednost koncentracije čestica iz kategorije PM_{2,5} od 25 µg/m³.



Slika 1. Koncentracioni nivoi suspendovanih čestica iz kategorije $\text{PM}_{2.5}$

S obzirom na visoke vrijednosti koncentracija koncentracija inhalabilnih čestica iz kategorije $\text{PM}_{2.5}$ u okruženju kontaminiranom teškim metalima, možemo zaključiti da su radnici uposleni u procesu zavarivanja izloženi izuzetno visokom stepenu rizika, kada su u pitanju hemijske štetnosti.

Činjenica koju treba napomenuti je da u domaćem i međunarodnom zakonodavstvu ne postoje definisane granične vrednosti koncentracija suspendovanih čestica za radno okruženje. Stoga je važan zaključak, koji impliciraju rezultati ovog rada, isticanje potrebe za definisanjem graničnih vrijednosti suspendovanih čestica za radna okruženja različitih proizvodnih procesa.

4. DISKUSIJA

U okviru studije ispitan je štetan uticaj zavarivanja na zagađenje vazduha, posebno se fokusirajući na emisiju čestica iz kategorije $\text{PM}_{2.5}$. Istraživanje se odnosilo na negativne efekte zavarivanja kako na zavarivače, tako i na druge radnike u blizini, naglašavajući važnost rešavanja profesionalnih opasnosti povezanih sa procesima zavarivanja. Sveobuhvatno istraživanje zdravstvenih efekata zavarivanja otkrilo je potencijalne rizike i zabrinutosti za pojedince uključene u poslove zavarivanja.

Nalazi podvlače potrebu za efikasnim mjerama bezbjednosti i zdravlja na radnim mjestima zavarivanja. U okviru istraživanja su sprovedena eksperimentalna merenja čiji rezultati ukazuju da su tokom merne kampanje koncentracije suspendovanih čestica iz kategorije $\text{PM}_{2.5}$ bile u opsegu od 286,69 do 514,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Što ukazuje da su koncentracioni nivoi izmereni u procesu zavarivanja često i do 20 puta veći u odnosu na propisanu vrijednost koncentracije čestica iz kategorije $\text{PM}_{2.5}$ od 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. S obzirom na visoke vrijednosti koncentracija inhalabilnih

čestica iz kategorije $\text{PM}_{2.5}$ u okruženju kontaminiranom teškim metalima, možemo zaključiti da su radnici uposleni u procesu zavarivanja izloženi izuzetno visokom stepenu rizika, kada su u pitanju hemijske štetnosti. Činjenica koju treba napomenuti je da u domaćem i međunarodnom zakonodavstvu ne postoje definisane granične vrednosti koncentracija suspendovanih čestica za radno okruženje. Stoga je važan zaključak, koji impliciraju rezultati ovog rada, isticanje potrebe za definisanjem graničnih vrijednosti suspendovanih čestica za radna okruženja različitih proizvodnih procesa.

U ranoj fazi, ključno je uspostaviti i pridržavati se dozvoljenih granica za praškaste materije kako bi se osigurala sigurnost i dobrobit pojedinaca uključenih u procese zavarivanja. Ove dozvoljene granice služe kao smjernice i pragovi koji pomažu u ublažavanju potencijalnih zdravstvenih opasnosti povezanih sa izlaganjem praškastim supstancama. Dozvoljene granice praškastih materija se obično definišu na osnovu opsežnog istraživanja, naučnih studija i regulatornih standarda. Ove granice uzimaju u obzir različite faktore kao što su veličina čestica, sastav, toksičnost i trajanje izlaganja. Dizajnirani su da spreče ili minimiziraju štetne posljedice po zdravlje i održavaju bezbjedno radno okruženje.

Uspostavljanjem dozvoljenih granica, poslodavci i regulatorna tijela mogu postaviti smjernice za kontrolu i upravljanje izloženosti praškastim supstancama, kao što su PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$. Ove granice često određuju maksimalnu koncentraciju ili nivo izloženosti ovih supstanci sa kojima se pojedinci mogu bezbjedno susresti tokom svojih radnih aktivnosti. Usklađenost sa dozvoljenim granicama se obično postiže kombinacijom inženjerskih kontrola, administrativnih mjera i upotrebe lične zaštitne opreme (LZO). Inženjerske kontrole uključuju primjenu ventilaci-

onih sistema, lokalnih izduvniha sistema i drugih mehanizama za kontrolu oslobađanja i disperzije praškastih supstanci na radnom mjestu.

Administrativne mijere mogu uključivati primjenu radnih praksi, kao što je ograničavanje vremena izlaganja ili obezbjeđivanje redovnih pauza, kako bi se akumulacija izloženosti svela na minimum. Pridržavajući se i poštujući vrijednosti dozvoljenih granica za praškaste materijale u ranoj fazi, poslodavci mogu stvoriti bezbjednije radno okruženje, zaštititi zdravlje svojih zaposlenih i proaktivno se baviti potencijalnim rizicima povezanim sa procesima zavarivanja.

5. ZAKLJUČAK

Aspekt bezbednosti i zdravlja na radu u zavarivanju bio je centralni fokus ovog istraživanja. Studija je istakla važnost lične zaštitne opreme (LZO) kao ključne zaštite u okruženju zavarivača. Pravilan izbor i upotreba LZO može da umanjiti rizike povezane sa procesima zavarivanja i doprinese opštem blagostanju radnika.

Ovaj rad je pružio dragoceni uvid u opšti koncept bezbednosti i zdravlja na radu u procesu zavarivanja, uticaj emisija na zdravlje zavarivača i neposredan uticaj štetnih emisija na okruženje. Istraživanje je naglasilo važnost davanja prioriteta zdravlju i bezbjednosti na radu u zavarivanju kroz usvajanje odgovarajuće LZO i sprovođenje efikasnih mera za minimiziranje zagađenja vazduha i ublažavanje povezanih rizika. Ova otkrića doprinose skupu znanja u oblasti zavarivanja i pružaju osnovu za dalja istraživanja i praktične primene u obezbjeđivanju dobrobiti pojedinaca uključenih u aktivnosti zavarivanja.

6. LITERATURA

- [1] Feng S, Gao D, Liao F, Zhou F, Wang X. The health effects of ambient PM2.5 and potential mechanisms. *Ecotoxicol Environ Saf* 2016. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.01.030.
- [2] Schraufnagel DE. The health effects of ultrafine particles. *Exp Mol Med* 2020. doi:10.1038/s12276-020-0403-3.
- [3] Fang SC, Cavallari JM, Eisen EA, Chen JC, Mittleman MA, Christiani DC. Vascular function, inflammation, and variations in cardiac autonomic responses to particulate matter among welders. *Am J Epidemiol* 2009. doi:10.1093/aje/kwn405.
- [4] Chuang HC, Su TY, Chuang KJ, Hsiao TC, Lin HL, Hsu YT, et al. Pulmonary exposure to metal fume particulate matter cause sleep disturbances in shipyard welders. *Environ Pollut* 2018. doi:10.1016/j.envpol.2017.09.082.
- [5] Golbabaee F, Khadem M. Air Pollution in Welding Processes — Assessment and Control Methods. *Curr. Air Qual. Issues*, 2015. doi:10.5772/59793.
- [6] Chen HL, Chung SH, Jhuo ML. Efficiency of different respiratory protective devices for removal of particulate and gaseous reactive oxygen species from welding fumes. *Arch Environ Occup Heal* 2013. doi:10.1080/19338244.2011.650799.

Kratka biografija:



Paulina Despotović rođena je u Bijeljini 1999. god. Diplomski rad iz oblasti Inženjerstva zaštite na radu odbrani 2022. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Završna godina master studija Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, smijer Inženjerstvo zaštite na radu.

Kontakt:

paulinadespotovic@gmail.com



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