

DUNJA SOKOLOVIĆ<sup>1</sup>, WILHELM HÖFLINGER<sup>2</sup>,  
 RADMILA ŠEĆEROV SOKOLOVIĆ<sup>3</sup>, SLOBODAN SOKOLOVIĆ<sup>1</sup>

Originalni naučni rad  
 UDC :614.893.894 :621.90

## Proučavanje SHP aerosola

*Primenom sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP) u procesima metaloprerađivačke industrije dolazi da formiranja SHP aerosola/magle. Hronična izloženost ovom aerosolu može da izazove ozbiljne zdravstvene probleme kod radnika, kao što su astma, lipoidna pneumonija, dermatitis, kancer. U ovom radu ispitivano je strujanje SHP aerosola u cevi koja simulira ventilacione uslove. Ispitivan je aerosol formiran od 6 % emulzije tipa U/V, kao i aerosol vode. Aerosol je formiran pomoću laboratorijskog aerosol generatora. Ispitivano je ponašanje aerosola pri četiri različite brzine vazduha, koje su sve ispod sekundarnog atomiziranja kapi. Osobine formiranog aerosola su ispitivane optičkim spektrometrom. Ovi rezultati pomažu upoznavanju SHP aerosola što doprinosi uspešnijem projektovanju ventilacionih sistema i filtara za prečišćavanje vazduha kontaminiranog ovakvim aerosolom u cilju zaštite radnika i zaštite okoline.*

**Ključne riječi:** SHP sredstva, emulzija, aerosol

### UVOD

Sredstva za hlađenje i podmazivanje, SHP, imaju zadatak da obezbede dobro hlađenje i podmazivanje u zoni kontakta alata i metalne površine koja se obrađuje, a pored toga da omoguće dobro ispiranje strugotine kao i antikoroziivnu zaštitu [1-3]. SHP sredstva su fluidi kompleksnog hemijskog sastava koji sadrže aditive različite prirode, kao što su površinski aktivne materije, PAM, antikoroziivna sredstva, stabilizatori, biocidi, antipenušavci i drugo [4]. Njihovom primenom u operacijama mehaničke obrade metalnih delova obezbeđuje se ekonomičnost procesa obrade metala, tj. visok kvalitet obrade uz minimalno trošenje alata. Međutim, njihov nedostatak je što predstavljaju izrazito opasne materije i zagađivače kako radne tako i životne sredine. Ključni problem je sakupljanje i tretman otpadnih SHP sredstava [5]. Zato je od velikog značaja dobro upravljanje, kako svežim tako i otpadnim SHP sredstvima [6; 7]. Međutim, i pored dobrog upravljanja SHP sredstvima ne eliminišu se svi njihovi negativni uticaji. Primenom SHP sredstava u gotovo svim procesima obrade metala dolazi do generisanja aerosola/magle kojim se kontaminira vazduh radne sredine [8]. Postojanje ovakvog aerosola tj. magle u radnoj atmosferi predstavlja opasnost po zdravlje radnika. Ovakav aerosol može biti iritirajući za kožu, oči, nos i ždrela. Kapljice aerosola sitnije (<10 µm) su opasnije po zdravlje, pošto tada dospevaju dublje u pluća gde se deponuju [9]. Izloženost ovakvom aerosolu poznatom u industriji kao zauljena magla može izazvati astmu, bronhijalna hiperreaktivnost, lipoidnupneumoniju, dermatitis pa čak i rak pluća ili ždrela [10 -12] što je potvrđeno epidemološkim studijama.

Adrese autora: <sup>1</sup>Fakultet tehničkih nauka, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, <sup>2</sup>Institut za Hemijsko inženjerstvo, Tehnički univerzitet u Beču, Getreidemarkt 9, Wien, <sup>3</sup>Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Bul. Cara Lazara 1

Primljeno za publikovanje: 12. 07. 2013.

Prihvaćeno za publikovanje: 18. 09. 2013.

Kako bi se povećala zaštita na radu Agencija za bezbednost i zdravlje na radu, američkog ministarstva za rad - OSHA je prva propisala dozvoljenu granicu izloženosti ovakvoj vrsti aerosola (tj. magli mineralnog ulja) u vazduhu koja iznosi 5 mg/m<sup>3</sup> uprosečeno na 8 časovni period [13]. Da bi se postigao ovaj cilj razvijaju se novi aditivi za SHP sredstva koji bi smanjili njihovu predispoziciju da formiraju aerosol, a da im se pri tome ne menjaju bitno radne osobine [2,14]. Danas se proizvode poluzatvorene i zatvorene mašine alatke kako bi se koncentracija SHP aerosola u radnoj atmosferi spustila na dozvoljenu granicu [15, 16]. Ove mašine imaju lokalni ili centralni ventilacioni sistem sa adekvatnim filtrima koji sprečavaju da se kontaminacija širi u radni prostor, kao i da se sa lokalnog prenese na globalni nivo [17]. Filtracija SHP aerosola je otežana pošto on u svom sastavu pored kapi tečnosti ima i čvrste čestice prašine, kao i sitne ostatake metala [18].

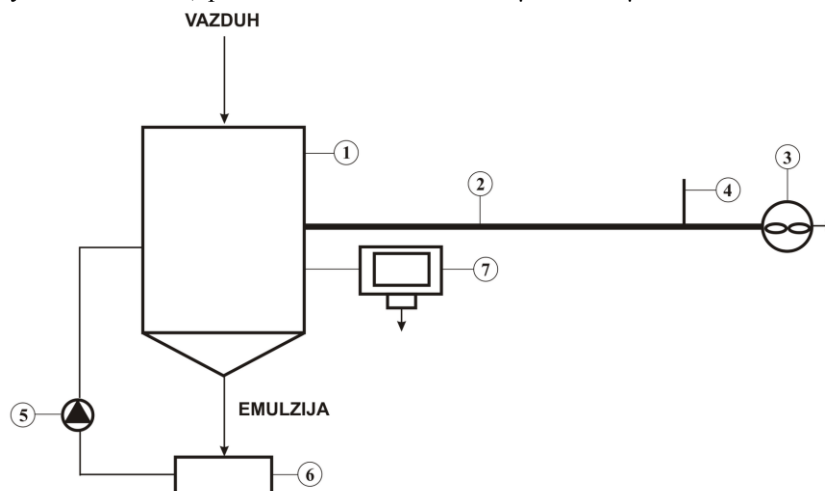
Radi boljeg projektovanja ventilacionih sistema i filtara za prečišćavanje vazduha kontaminiranog SHP aerosolom od velikog je značaja poznavanje njegovog strujanja. Stoga je cilj ovog rada bio ispitati strujanje SHP aerosola u cevi koja simulira ventilacione uslove. Ispitano je i strujanje aerosola formiranog od vode kao referentni nivo.

### EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalni deo ovog rada realizovan je na aparaturi, slika 1, koja je razvijena na Institutu za hemijsko inženjerstvo, grupi za mehaničko procesno inženjerstvo i tehnologiju čistog vazduha, Tehničkog univerziteta u Beču u istraživačkoj grupi profesora Wilhelm Höflingera [19]. Ona se sastoji od otvorene pleksiglas komore unutar koje je smešten aerosol generator, koji rotira oko vertikalane ose. Komora je spojena sa ventilatorom pomoću cevi dužine 8 m i prečnika 16 cm. Brzina vazduha je merena senzorom SS 20.60, proizvođača Schmidt (4). SHP emulzija je dozirana pumpom (5) iz rezervoara (6) koji se nalazi ispod komore, i to kroz okruglu diznu prečnika 3mm, koja je postavljena pod uglom od 45° u odnosu na rotor. Aerosol iz komore je usisivan ventilatorom koji se nalazi na kraju cevi tj.

ventilacionog voda (3), slika 1. Karakterizacija formiranog aerosola je vršena optičkim spektrometrom "Particle Size Analyzer" PCS 2010, proizvođača Palas

(7), kojim može da se odredi koncentracija čestica u rasponu od 1 do  $10^6$  P/cm<sup>3</sup> i veličina čestica u rasponu od 0.2 μm do 50 μm.



Slika 1 - Šema eksperimentalne aparature: aerosol generator – komora sa vertikalnim rotorom (1), ventilaciona cev (2), ventilator (3), merač brzine vazduha (4), pumpa (5), rezervoar (6), optički spektrometar "Particle Size Analyzer" PCS 2010, Palas (7)

Ispitivani SHP aerosol je formiran pomoću aerosol generatora, atomizirajući stabilnu emulziju ulja u vodi, koncentracije 6 %. Za pripremu U/V emulzije korišćeno je komercijalno ulje, čije su osobine na 20°C kao i osobine njene 6 % emulzije prikazane u tabeli 1. Pripremana je sveža emulzija na dan oglada i to sa vodom sobne temperature vodovoda grada Beča. Emulzija je pumpana kroz diznu konstantnim protokom od 560 ml/min. Brzina obrtanja rotora bila konstantna i iznosila je 7500 obr/min.

Tabela 1 - Osobine ulja i njegove 6% vodene emulzije

Osobine	Ulje	Emulzija 6%
Gustina 20 <sup>0</sup> C, kg/m <sup>3</sup>	870	992.21
Viskoznost na 20 <sup>0</sup> , mPa s	6.00	0.18
Molska masa, g/mol	456	-----
Površinski napon na 20 <sup>0</sup> mN/m	32	39

Ispitivano je strujanje SHP aerosola i aerosola vode pri četiri brzine vazduha u ventilacionoj cevi, i to 1, 3, 6 i 8 m/s, (V1, V3, V6, V8). Da bi se uspostavili stacionarni uslovi bilo je potrebno 45 min od startovanja oglada. Kada su stacionarni uslovi postignuti, formiran aerosol je uzorkovan na šest mernih mesta, koja se nalaze na ulazu u cev (ka cevi) i u cevi na 0,5, 2; 4; 6; 8 metara od generatora.

Pri ispitivanju aerosola vode eksperimentalni uslovi su bili identični, jedino što je tada atomizirana voda iz vodovoda grada Beča, a ne SHP emulzija.

Analiza rezultata bazirana je na distribuciji veličine čestica (kapljica) prikazana funkcijom krive raspodele, zatim na masenoj koncentraciji (mg/m<sup>3</sup>) i na broju kapi aerosola (P/cm<sup>3</sup>).

## REZULTATI I DISKUSIJA

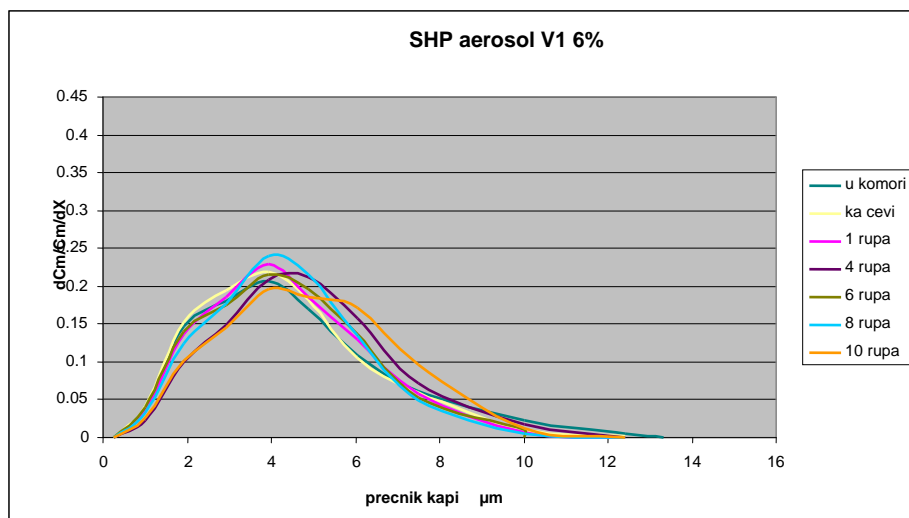
Vrednosti masene i brojne koncentracije SHP aerosola izmerene u mernim mestima za sve ispitivane brzine vazduha prikazane su u tabeli 2, a iste ove vrednosti za aerosol vode prikazane u tabeli 3.

Tabela 2 - Masena i brojna koncentracija SHP aerosola u cevi

SHP aerosol		Brzina vazduha (m/s)							
		V1		V3		V6		V8	
rupa	L (m)	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )
0	0	24,00	7391	16,83	3105	8,75	2355	4,31	1842
1	0,5	28,43	7379	17,26	2773	8,77	1263	6,32	548
4	2	23,69	4434	17,30	3577	14,01	1875	11,94	1411
6	4	22,90	6691	39,19	4610	12,33	1187	8,70	1767
8	6	25,20	6356	32,50	3872	11,90	1325	8,19	1548
10	8	30,34	6182	27,00	4069	11,96	2029	9,94	1520

SHP aerosol formiran od 6 % emulzije neznatno se razlikuje pri brzini  $V1=1$  m/s kako u komori tako i duž ventilacione cevi, slika 2. Sličnost krivih raspodele ukazuje da ne dolazi do značajnije koalescencije ili pak

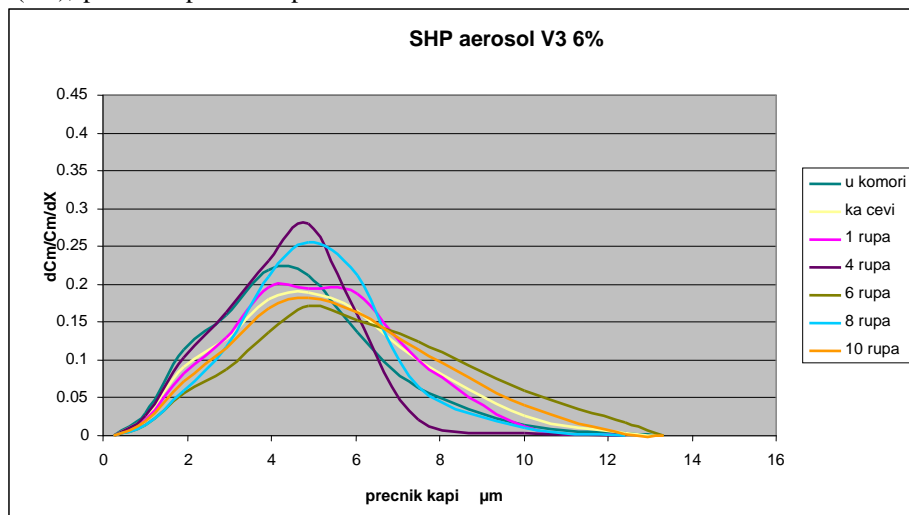
taloženja. To potvrđuje i sličnost u masenoj i brojnoj koncentraciji duž cevi. Blaga koalescencija se javlja u 4. i 10. rupi, međutim novonastale kapi nisu dovoljno velike da bi počele da se talože pre kraja ventilacione cevi.



Slika 2 - Krive raspodele SHP aerosola u cevi za brzinu V1

Povećanjem ventilacione brzine na  $V3=3$  m/s dolazi do blage koalescencije kapi aerosola pri ulazu u cev, kao i na njenom početku (0,5 m). Koalescirane kapi se istalože do sledećeg mernog mesta (2m) međutim, i dalje dolazi do koalescencije preostalih kapi (4m) koje se delom istalože (6m), pa zatim preostale ponovo koales-

ciraju (8m), ali ni one ne stignu da se istalože u cevi, slika 3. Ova brzina izaziva blagu haotičnost u strujanju SHP aerosola. Broj kapi kao i masena koncentracija neznatno se razlikuju na početku i na kraju cevi, tabela 2, što ukazuje na to da ipak mali broj kapi koalescira, a da većina prati strujanje vazduha.

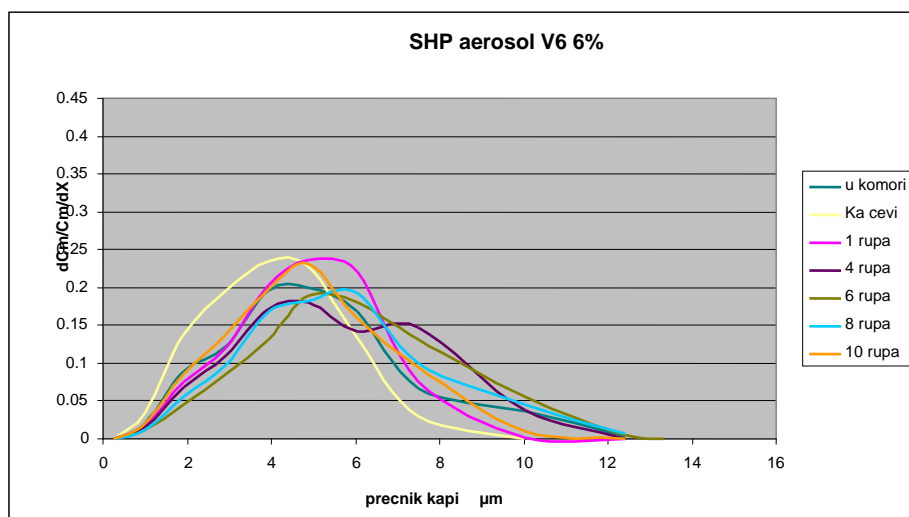


Slika 3 - Krive raspodele SHP aerosola u cevi za brzinu V3

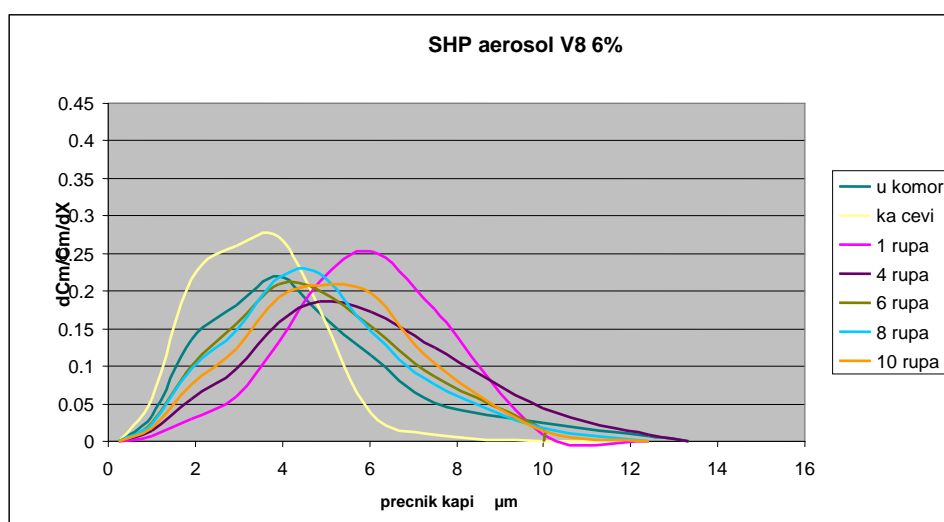
Brzina ventilacionog vazduh od  $V6=6$  m/s izaziva isto koalescenciju kapi SHP aerosola već na početku cevi (0,5m), i to nešto intenzivniju nego pri predhodnoj brzini. Ovo je za očekivati, sa obzirom da znamo da je zbog boljeg mešanja pri većim brzinama koalescencija intenzivnija iako je broj kapi u aerosolu niži [16]. Međutim, koalescirane kapi ne postižu dovoljnu veličinu, kako bi počele da se talože pri ovoj brzini, već nastavljaju da koalesciraju sve do rupe 6. (4m), posle koje se blago talože (6m i 8m), slika 4. Generalno, kapi SHP

aerosola se pri ovoj ventilacionoj brzini ne ukupne do veličine potrebne da bi taloženje bilo masovnije, već uglavnom odlaze sa strujom vazduha.

Pri brzini ventilacionog vazduha od  $V8=8$  m/s dolazi takođe do koalescencije kapi SHP aerosola na početku cevi (0,5m). Deo koalesciranih kapi se istaloži, ali većina nastavlja da leti sa strujom vazduha. Koalescencija se ponovo javlja na 6m i nastavlja se dalje, slika 5. Međutim, i pri ovoj brzini većina kapi ne stigne da se istaloži pa odlazi sa strujom vazduha.



Slika 4 - Krive raspodele SHP aerosola u cevi za brzinu V6



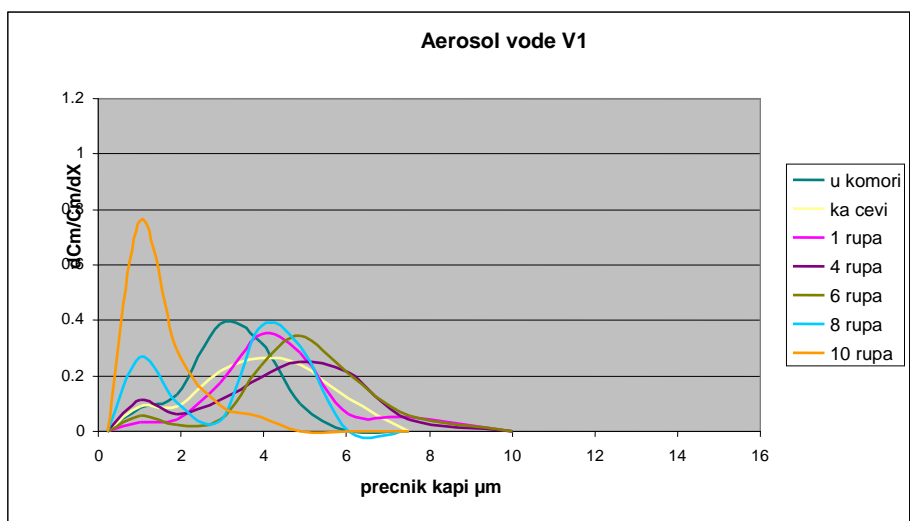
Slika 5 - Krive raspodele SHP aerosola u cevi za brzinu V8

Broj kapi i masena koncentracija SHP aerosola se od ulaza do izlaza iz ventilacione cevi neznatno smanjuje, što ukazuje da i pored koalescencije najveći deo kapi odlazi sa strujom vazduha. Odsustvo višestrukih maksimuma, zajedno sa brojem kapi, i masenom koncentracijom, ukazuje da je isparavanje duž cevi zanemarljivo kod SHP aerosola.

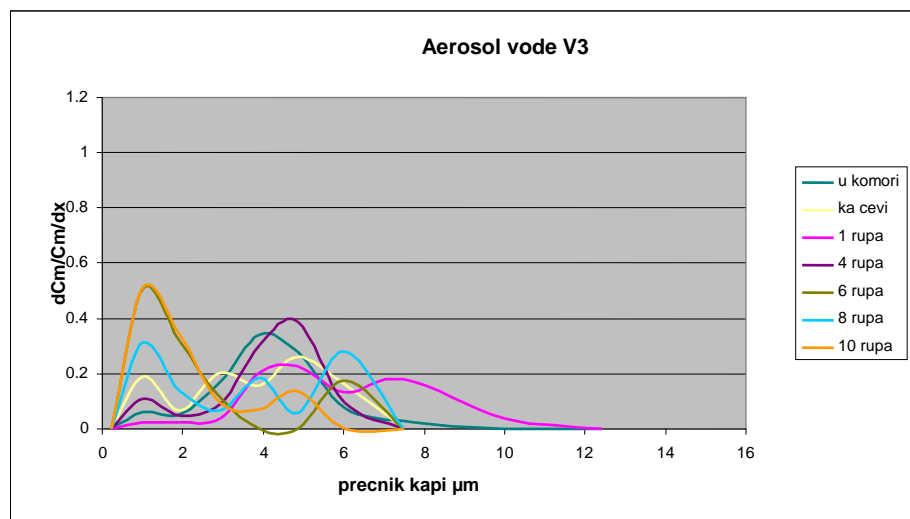
Aerosol vode ima znatno manji broj kapi, a time i masenu koncentraciju u odnosu na SHP aerosol, tabela 3. Broj kapi kod aerosola vode se kreće u opsegu od 442 do 69, dok je taj opseg za SHP aerosol od 7391 do 548. Razlog može biti znatno viši površinski napon vode (70 mN/m) od površinskog napona emulzije (39 mN/m).

Tabela 3 - Masena i brojna koncentracija aerosola vode u cevi

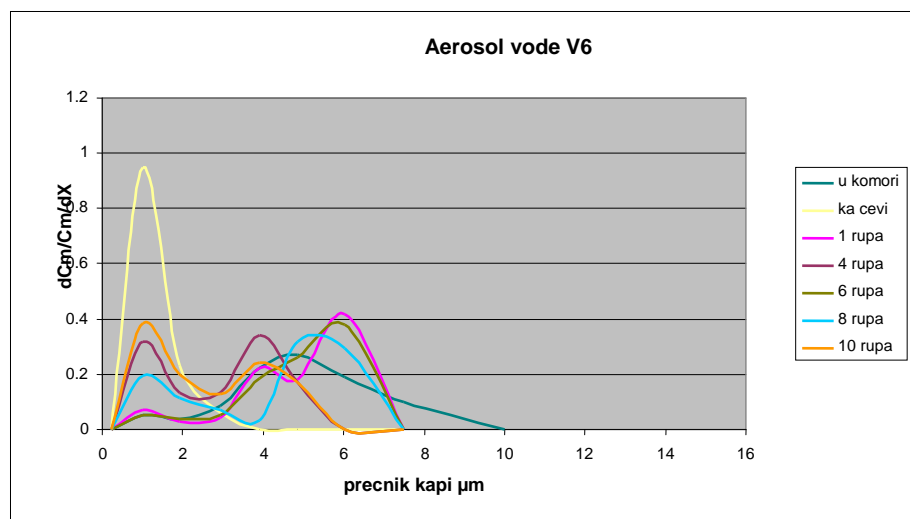
Aerosol vode		brzina vazduha (m/s)							
		V1		V3		V6		V8	
rupa	L (m)	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )	mas.kon. (mg/m <sup>3</sup> )	broj kapi (P/cm <sup>3</sup> )
0	0	0,41	397	0,16	209	0,01	118	0,01	69
1	0,5	1,06	386	0,96	246	0,27	161	0,69	103
4	2	0,38	442	0,28	247	0,07	187	0,35	162
6	4	0,60	330	0,06	197	0,40	163	0,09	147
8	6	0,15	345	0,11	224	0,08	161	0,34	139
10	8	0,05	356	0,05	180	0,05	137	0,03	154



Slika 6 - Krive raspodele aerosola vode u cevi za brzinu V1



Slika 7 - Krive raspodele aerosola vode u cevi za brzinu V3

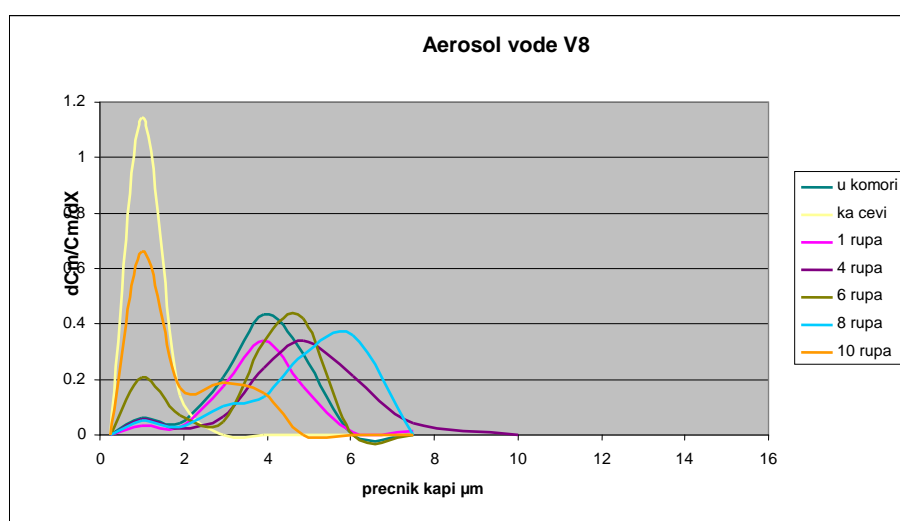


Slika 8 - Krive raspodele aerosola vode u cevi za brzinu V6

Kapi aerosola vode pri brzini ventilacionog vazduha od  $V1 = 1$  m/s kondenzuju na početku cevi, na šta ukazuje kako povećanje masene koncentracije sa  $0,41$  na  $1,06$  mg/m<sup>3</sup> tako i neznatna promena broja kapi. Daljim strujanjem aerosola vode dolazi do isparavanja njegovih kapi, na šta ukazuje i pojava duplih maksimuma. Isparavanje je intenzivnije u mernim mestima koja su dalje od komore, pa je tako ono najintenzivnije u 10. rupi koja se nalazi na 8m od komore. Iako se broj kapi ne smanjuje značajno, masena koncentracija na kraju ventilacione cevi iznosi samo  $0,05$  mg/m<sup>3</sup>, što ukazuje da su najkrupnije kapi gotovo sve isparile, slika 6.

Viša brzina vazduha uzrokuje zbog bolje ventilacije cevi brže isparavanje kapi aerosola. Tako pri brzini  $V3 = 3$  m/s isparavanje počinje već na ulazu ka cevi, gde se pojavljuju višestruki maksimumi. Međutim, na početku ventilacione cevi (rupa 1.) i pri ovoj brzini dolazi do kondenzacije kapi. Višestruki maksimumi se dalje javljaju duž cevi, a najizraženiji su u rupi 8., koja se nalazi 6m od komore, slika 7.

Pri brzinama  $V6 = 6$  m/s i  $V8 = 8$  m/s isparavanje je još intenzivnije, što je logično jer je ventilacija cevi pri većim brzinama bolja, slika 8. i 9.



Slika 9 - Krive raspodele aerosola vode u cevi za brzinu V8

## ZAKLJUČAK

Proučavanje strujanja aerosola vode i SHP emulzije u ventilacionoj cevi ukazuje da SHP aerosol ima uređnije strujanje kroz cev. Uočena pojava je od velikog značaja za bolje projektovanje ventilacionih sistema i filtera za prečišćavanje vazduha kontaminiranog ovakvim aerosolom u cilju zaštite radnika i zaštite okoline.

## Zahvalnica

Ovaj rad je urađen uz finansijsku pomoć Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekat br.172022).

## LITERATURA

- [1] Sokolović S., *Tehnologija proizvodnje i primene tečnih maziva*, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, 1998.
- [2] Sokolović D., Govedarica D., *Aerosoli iz metaloprerađivačke industrije*, IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“, Kladovo, novembar (2009) 505-510.
- [3] Park D., Stewart P.A., Coble J. B., Determinants Of Exposure To Metalworking Fluid Aerosols: A Literature Review And Analysis Of Reported Measurements, *Ann. Occup. Hyg.*, 53 (3) (2009) 271–288
- [4] Simpson A. T., Groves J. A., Unwin J., Piney M., Mineral Oil Metal Working Fluids (MWFs)-Development of Practical Criteria for Mist Sampling, *Ann. Occup. Hyg.*, 44 (3) (2000) 165-172
- [5] Lazarević V.B., Krstić I.M., Takić Lj.M., Lazić M.L., Veljković V.B., Bistrenje i filtracija suspenzije flokulisanih čestica iz hemijskog prečišćavanja otpadne vodene emulzije iz procesa obrade obojenih metala, *Hem. Ind.* 65 (2011) 53-59
- [6] Stear M., Metalworking Fluids—Clearing Away the Mist?, *Ann. Occup. Hyg.*, 49 (4) (2005) 279–281
- [7] Canter N., Metalworking fluid mist: Strategies for Minimizing Exposure, *Tribol. Lubr. Technol.* 3 (2005) 36-44
- [8] Dasch J.M, Ang C.C., Mood M., Knowles D., Variables affecting mist generation from metal removal fluids, *Lubr. Eng.* 58 (3) (2002) 10-17
- [9] Gauthier S. L., Metalworking Fluids: Oil Mist and Beyond, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 18 (2003) 818–824
- [10] Chen M., Tsai P. J., Chang Ch.Ch., Shih T.-Sh., Lee W.J., Liao P. C., Particle size distributions of oil mists in workplace atmospheres and their exposure concentrations to workers in a fastener manufacturing industry, *J. Hazard. Mater.* 146 (2007) 393–398.

- [11] Lillienberg L., Burdorf A., Mathiasson L., Thorerby L., *Exposure to Metalworking Fluid Aerosols and Determinants of Exposure*, *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 52, No. 7 (2008) 597–605
- [12] Lillienberg L., Andersson E. M., Järholm B., Torén K., *Respiratory Symptoms and Exposure–Response Relations in Workers exposed to Metalworking Fluid Aerosols*, *Ann. Occup. Hyg.*, 54 (4) (2010) 403–411
- [13] OSHA, *Metalworking Fluids: Safety and Health Best Practices Manual*, (2001) [http://www.osha.gov/SLTC/metalworkingfluids/metalworkingfluids\\_manual.html](http://www.osha.gov/SLTC/metalworkingfluids/metalworkingfluids_manual.html) zadnji put pristupljeno 1.07.2011
- [14] Sokolović D., Govedarica D., *Primena SHP sredstava i održivi razvoj*, 48. Savetovanje Srpskog hemijskog društva, Novi Sad, april (2010) 100-103.
- [15] BGIA, Report 9/ 2006- Absaugen und Abscheiden von Kuelschmierstoffemissionen, Berufsgenossenschaftliches Institut fuer Arbeitsschutz
- [16] Dasch J.M., D’Arcy J. B., Kinare S. S., Yin Y., Kopple R. G., Salmon S. C., *Mist Generation from High-Speed Grinding with Straight Oils*, *Tribol. Lubr. Technol.* 10 (2008) 40-47
- [17] Sokolović, D., Höflinger, W., Zavargo, Z., Šećerov Sokolović, R. (2012) Effect of ventilation in enclosure machine system on MWF aerosol properties, *Hemijaska industrija* 66, 1, 67–77.
- [18] Dasch J., D’Arcy J., Gundrum A., Sutherland J., Johnson J., Carlson D., *Characterization of Fine Particles from Machining in Automotive Plants*, *J. Occup. Environ. Hyg.*, 2 (2005) 609–625
- [19] Neumann B., *Dissertation: Kuelschmierstoffaerosole bei der Metallbearbeitung*, September (2007) TU Wien

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF MWF AEROSOLS

*Application of metalworking fluids (MWF) in metalworking processes generates MWF aerosol/mist. Chronic exposure to this aerosol can cause serious health problems to workers such as asthma, lipoid pneumonia, dermatitis, cancer. In this paper behavior of MWF aerosol was investigated. The investigation was done in the pipe, which simulates ventilation system. The aerosol generated from 6 % O/W emulsion was investigated, as well as aerosol generated from water. SHP and water aerosol were generated by laboratory aerosol generator. Behavior of aerosol under four different air velocities was investigated. The aerosol properties were measured by optical particle size analyzer. The obtained results should be of great help for designing filters for mist separation in order to protect workers and the environment.*

**Key words:** *MWF, emulsion, aerosol*

Scientific paper

Received for Publication: 12. 07. 2013.

Accepted for Publication: 18. 09. 2013.