

Negovan Ivanković<sup>1\*</sup>, Dušan Rajić<sup>2</sup>, Radovan Karkalić<sup>1</sup>, Zlate Veličković<sup>1</sup>, Dalibor Jovanović<sup>3</sup>, Dejan Indić<sup>1</sup>, Mihael Bučko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, Srbija, <sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd, Srbija, <sup>3</sup>Tehnički opitni centar, Vojska Srbije, Beograd, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:614.8:086.3/.4

doi:10.5937/ZasMat17010171



Zastita Materijala 58 (1)  
17 - 21 (2017)

## Ispitivanje efikasnosti zaštite filtrirajućih polumaski pri različitim protocima aerosolnih kontaminanata

### IZVOD

*Mogućnost kontaminacije vazduha biološkim agensima, prirodnim ili veštačkim putem, zahteva unapređenje i primenu različitih sredstava respiratorne zaštite. U radu je prikazano komparativno ispitivanje efikasnosti filtriranja različitih modela filtrirajuće polumaske, sa ciljem utvrđivanja mogućnosti upotrebe ovog sredstva za respiratornu zaštitu pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije. Kao ispitni agens i odgovarajući simulator bioloških aerosola je korišćen čvrsti aerosol NaCl. Određivanje koncentracije ispitnog aerosola pri različitim protocima je vršeno metodom plamene fotometrije. Utvrđeno je da su svi testirani modeli proizvedeni od filtrirajućih materijala visokog kvaliteta i da pri manjim protocima filtrirajući materijali slabijeg kvaliteta pokazuju manje međusobne razlike u filtrirajućim karakteristikama. Visoka efikasnost testiranih modela filtrirajućih polumaski pruža mogućnost za njihovu upotrebu za respiratornu zaštitu.*

**Ključne reči:** filtrirajuća polumaska, respiratorna zaštita, biološki aerosoli.

### 1. UVOD

S obzirom na česte epidemije humanog virusa influence različitih tipova u različitim delovima sveta [1, 2], moguću upotrebu bioloških agenasa u terorističke svrhe ili u borbenim okolnostima [3-7], zaštita disajnih organa pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije (MO i VS) predstavlja bitan element za nesmetano i uspešno funkcionisanje celokupnog sistema. Shodno tome, koncept modernizacije opreme pripadnika MO i VS, uz uvođenje u primenu sistema za kompletnu hemijsko-biološko-radiološko-nuklearnu (HBRN) zaštitu tela [8], obuhvata i uvođenje u primenu novih sredstava respiratorne zaštite.

Kao formacijsko sredstvo lične respiratorne zaštite u MO i VS se koristi zaštitna maska, za koju je ispitivanjima utvrđeno da efikasno štiti disajne organe korisnika u slučaju kontaminacije biološkim agensima [9]. Međutim, postavlja se pitanje, da li se i filtrirajuće polumaske shodno svojoj efikasnosti filtriranja, takođe mogu koristiti za respiratornu zaštitu pripadnika MO i VS, pošto su već korišćene za zaštitu civilne populacije u slučajevima epidemije ili pandemije [10-12].

Filtrirajuća polumaska se sastoji, u potpunosti ili uglavnom, od više slojeva filtrirajućeg materijala [13], koji može biti od nanovlakana na bazi prirodnih ili veštačkih sirovina i sa karakteristikama na veoma visokom nivou [14, 15]. Na slici 1. je dat presek jedne filtrirajuće polumaske sa prikazanim slojevima ugrađenih filtrirajućih materijala.



Slika 1. Prikaz ugrađenih filtrirajućih materijala u filtrirajućoj polumaski

Figure 1. Cross section of filtration half masks

Mehanizam zaštite kod filtrirajuće polumaske se zasniva na principu prečišćavanja kontaminiranog vazduha koji se udiše kroz filtrirajući materijal uz istovremenu izolaciju disajnih organa od dodira sa spoljnim vazduhom. Tokom procesa filtriranja aerosola u filtrirajućim materijalima može doći do

\*Autor za korespondenciju: Negovan Ivanković

E-mail: negovan.ivankovic@gmail.com

Rad primljen: 25. 01. 2016.

Rad prihvaćen: 17. 03. 2016.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

promena u njegovoj strukturi. Ove promene se najčešće javljaju usled taloženja čestica na vlaknima filtrirajućeg materijala, kada se izdvojene čestice ne raspoređuju pravilno preko površine vlakana, nego obrazuju lančane grupacije. Ovim se povećava veličina prepreke (vlakno + istaložene čestice) i smanjuje poroznost filtrirajućeg materijala, što utiče na povećanje efikasnosti filtriranja filtrirajućeg materijala [16]. Shodno ovoj postavci, karakteristike kvaliteta određenog filtrirajućeg materijala mogu se određivati preko ispitivanja njegove efikasnosti filtriranja.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

### 2.1. Testirani uzorci

U ispitivanju efikasnosti filtriranja su korišćeni uzorci pet modela filtrirajuće polumaske dostupni za nabavku u našoj zemlji - epidemiološke maske antimikrobne (EM1), epidemiološke maske sa „nano“ filtrom (EM2) i hirurške maske (HM1, HM2 i HM3). Ovo su proizvodi firme „9. septembar“ iz Republike Srbije (modeli obeleženi kao EM1, EM2 i HM1), firme „Sänger“ iz SR Nemačke (model obeležen kao HM2) i firme „Van Oostveen Medical B. V.- Romed“ iz Holandije (model obeležen kao HM3).

### 2.2. Test procedura

Korišćena je metoda i aparatura za ispitivanje aerosolom natrijum-hlorida (NaCl) po SRPS EN 149:2007 [17], a prikazana u SRPS EN 143:2007 [18]. NaCl je korišćen kao pogodan, bezopasan i odgovarajući simulator bioloških agenasa, jer ga je moguće raspršiti u obliku čestica čvrstog aerosola čija granulometrijska raspodela obuhvata čestice aerodinamičkog prečnika između 0,02  $\mu\text{m}$  i 2  $\mu\text{m}$ , a srednjeg prečnika po masi 0,6  $\mu\text{m}$  [18], što je naj-

sličnijih dimenzija sa aerosolima bioloških agenasa [19].

Iako je standardima definisano da se ispitivanja propuštanja kroz filtrirajući materijal vrše pri protoku ispitnog aerosola od 95  $\text{dm}^3/\text{min}$ , ispitivanje je vršeno i pri protoku ispitnog aerosola od 30  $\text{dm}^3/\text{min}$ , zbog približavanja ispitivanja stvarnim uslovima upotrebe ovih sredstava i sticanja podataka o uticaju različitih protoka aerosola na efikasnost filtriranja filtrirajućih materijala.

U skladu sa metodom:

- testirano je po 9 uzoraka filtrirajuće polumaske svih modela,
- pomoću raspršivača tipa *Collison* (proizvođač kompanija *BGI, USA*) od 1 % vodenog rastvora NaCl uspešno je generisan polidisperzan čvrst aerosol koncentracije  $C_0 = 8 \text{ mg}/\text{m}^3$  sa sledećim karakteristikama: prečnik čestice  $d_p = 0,02 - 2,0 \mu\text{m}$ , medijan čestice po masi  $MMD = 0,60 \mu\text{m}$ , medijan čestice po broju  $NMD = 0,03 \mu\text{m}$ , geometrijska devijacija  $\sigma_g = 2,53$ ;
- ispitivanje je vršeno u ispitnoj komori, pri protoku ispitnog aerosola od 95 i 30  $\text{dm}^3/\text{min}$ , a koncentracija ispitnog aerosola je merena pre i posle testiranog filtra pomoću plamenog fotometra *Type 1100* (proizvođač *Moore's (Wallisdown) LTD, UK*).

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Statistička obrada serija dobijenih rezultata izvršena je pomoću statističkog programskog paketa *IBM SPSS Statistics Data Editor*, verzija 20. Statistička značajnost pri obradi rezultata je definisana na nivou verovatnoće od 0,05.

Svi rezultati dobijeni eksperimentalnim ispitivanjima su grupisani po serijama shodno izvršenim ispitivanjima (Tabela 1).

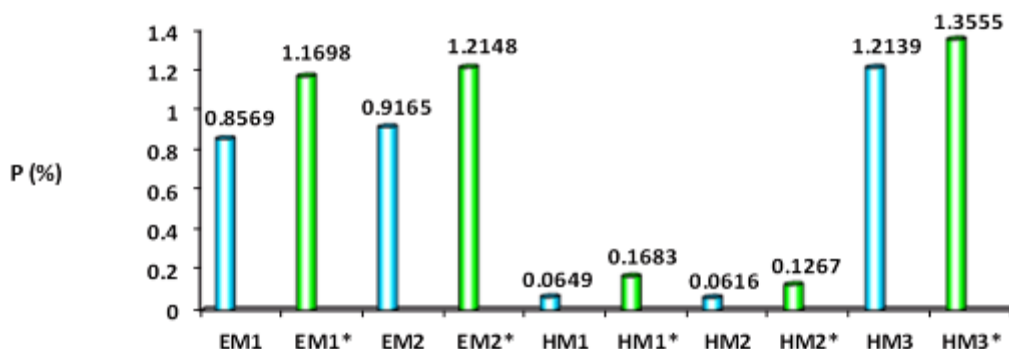
Tabela 1. Vrednosti propuštanja kroz filtrirajuće polumaske pri protoku ispitnog aerosola od 95 i 30  $\text{dm}^3/\text{min}$  (označeno zvezdicom)

Table 1. Values of leakage through the filtering half masks at the test aerosol flow rate of 95 and 30  $\text{dm}^3/\text{min}$  (indicated by an asterisk)

N	P (%)									
	EM1	EM1*	EM2	EM2*	HM1	HM1*	HM2	HM2*	HM3	HM3*
1	0,8621	1,1751	0,9153	1,2213	0,0664	0,1592	0,0544	0,1274	1,1981	1,3445
2	0,8475	1,1893	0,9068	1,2251	0,0713	0,1644	0,0623	0,1382	1,2063	1,3507
3	0,8696	1,1687	0,9229	1,2062	0,0615	0,1801	0,0612	0,1395	1,2512	1,3538
4	0,8619	1,1514	0,9036	1,2238	0,0592	0,1613	0,0601	0,1351	1,2338	1,3686
5	0,8577	1,1938	0,9243	1,2037	0,0608	0,1808	0,0645	0,1227	1,2347	1,3479
6	0,8403	1,1482	0,9258	1,2053	0,0729	0,1790	0,0567	0,1189	1,1993	1,3697
7	0,8687	1,1656	0,9283	1,2214	0,0542	0,1571	0,0681	0,1183	1,1960	1,3463
8	0,8465	1,1444	0,9019	1,2008	0,0633	0,1783	0,0655	0,1194	1,2012	1,3677
9	0,8581	1,1913	0,9198	1,2254	0,0747	0,1543	0,0619	0,1207	1,2048	1,3504

Srednje vrednosti rezultata ispitivanja propuštanja kroz filtrirajući materijal svih modela filtrirajuće

polumaske pri protoku ispitnog aerosola od 95 i 30 dm<sup>3</sup>/min prikazani su na Slici 2.



Slika 2. Prosečne vrednosti rezultata ispitivanja propuštanja kroz filtrirajući materijal svih modela filtrirajućih polumaski pri protoku ispitnog aerosola od 95 dm<sup>3</sup>/min i 30 dm<sup>3</sup>/min (označeno zvezdicom)  
Figure 2. Average values of the experimental testing results of filtration through a filtering material of all models of filtering half masks at the test aerosol flow rate of 95 dm<sup>3</sup>/min and 30 dm<sup>3</sup>/min (indicated by an asterisk)

Prema klasifikaciji filtrirajućih polumaski za zaštitu od čestica datoj u standardu SRPS EN 149:2013 [17], definisano je da pri protoku ispitnog agensa od 95 dm<sup>3</sup>/min filtrirajuće polumaske pripadaju FFP1 klasi ako propuštanje ne prelazi vrednost od 20 %, FFP2 klasi ako ne prelazi 6 % i FFP3 klasi ako ne prelazi 1 %.

Posmatrajući rezultate date u Tabeli 1. i aritmetičke sredine vrednosti propuštanja kroz filtrirajući medijum prikazane na Slici 2. može se zapaziti:

- vrednosti propuštanja pri protoku ispitnog aerosola od 95 dm<sup>3</sup>/min kod svih modela filtrirajuće polumaske izuzev modela HM3 su **ispod** granice najstrožijeg kriterijuma za propuštanje, tako da model HM3 spada u FFP2 klasu, a svi ostali modeli u najefikasniju FFP3 klasu,
- vrednosti propuštanja pri protoku ispitnog aerosola od 30 dm<sup>3</sup>/min kod svih modela filtrirajuće polumaske su **veće** u odnosu na aritmetičke sredine vrednosti propuštanja pri protoku od 95 dm<sup>3</sup>/min, u proseku (od malog povećanja (oko 10 %) kod modela HM3 do preko 2,5 puta kod modela HM1), ali i pored toga kod modela HM1 i HM2 su **znatno ispod 1 % propuštanja**, što je granica najstrožijeg kriterijuma za propuštanje pri tri puta većem protoku.

Pojava da su vrednosti propuštanja izrazito manje pri većem protoku ukazuje na to da se efikasnost filtriranja ugrađenih filtrirajućih materijala povećava povećanjem zapreminskog protoka aerosola, što nije u saglasnosti sa teorijom filtriranja fino disperznih submikronskih čestica koja kaže da se pri povećanju brzine vazdušne struje povećava prodiranje aerosola kroz filtrirajući materijal [16].

Navedena pojava se može objasniti postavkom da se povećanjem brzine strujanja aerosola javlja

veći potpritisak u materijalu (usled većeg protoka kroz malu filtrirajuću površinu materijala), zbog čega se vlakna materijala zbijaju, pore između vlakana smanjuju, a to izaziva relativno povećanje aktivne filtrirajuće površine u odnosu na zapreminu vazduha koji protiče i u krajnjem rezultira povećanjem efikasnosti filtriranja filtrirajućeg materijala.

Takođe, pri oba ispitna protoka, primetna je velika razlika u vrednostima propuštanja, toliko da su u odnosu na vrednosti propuštanja ostalih modela, vrednosti propuštanja kod modela HM1 i HM2 preko deset puta manje pri protoku od 95 dm<sup>3</sup>/min, a preko sedam puta manje pri protoku 30 dm<sup>3</sup>/min.

Pošto se vrednosti aritmetičkih sredina ispitivanih modela prilično razlikuju, vršeno je utvrđivanje postojanja statistički značajne različitosti između serija rezultata korišćenjem *One-Way ANOVA* i *Kruskal-Wallis* testa, i međusobnim višestrukim poređenjem serija rezultata putem *Dunnnett's T3*, *Bonferroni* i *Dunn-Bonferroni* metode (zavisno od rezultata ispitivanja homogenosti). U Tabelama 2. i 3. su prikazani krajnji rezultati izvršenih testiranja.

Tabela 2. Rezultati testiranja postojanja statistički značajne različitosti između serija rezultata dobijenih ispitivanjima pri protoku 95 dm<sup>3</sup>/min

Table 2. Results of testing the existence of statistically significant differences among series of results obtained by tests at a flow rate of 95 dm<sup>3</sup>/min

Oznaka ispitnog modela	EM1	EM2	HM1	HM2	HM3
EM1	-	0,000	0,000	0,000	0,000
EM2		-	0,000	0,000	0,000
HM1			-	0,983	0,001
HM2				-	0,000
HM3					-

*Tabela 3. Rezultati testiranja postojanja statistički značajne različitosti između serija rezultata dobijenih ispitivanjima pri protoku 30 dm<sup>3</sup>/min*

*Table 3. Results of testing the existence of statistically significant differences among series of results obtained by tests at a flow rate of 30 dm<sup>3</sup>/min*

Oznaka ispitnog modela	EM1	EM2	HM1	HM2	HM3
<b>EM1</b>	-	<u>1,000</u>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<u>0,426</u>
<b>EM2</b>		-	<b>0,026</b>	<b>0,008</b>	<u>1,000</u>
<b>HM1</b>			-	<b>0,000</b>	<b>0,008</b>
<b>HM2</b>				-	<b>0,000</b>
<b>HM3</b>					-

Može se zapaziti da se pri protoku 95 dm<sup>3</sup>/min vrednosti propuštanja statistički značajno ne razlikuju kod modela HM1 i HM2, a da se pri protoku 30 dm<sup>3</sup>/min vrednosti propuštanja statistički značajno ne razlikuju kod modela EM1, EM2 i HM3.

Na osnovu prethodno utvrđenih činjenica, može se zaključiti da su filtrirajući materijali sličnih karakteristika ugrađeni u modelima HM1 i HM2, kao i u modelima EM1, EM2 i HM3.

Kada se uzme u razmatranje da su vrednosti propuštanja kod modela HM1 i HM2 pri oba ispitna protoka najniže u odnosu na sve ostale ispitivane modele filtrirajućih polumaski i da su modeli HM1 i HM2 troslojne filtrirajuće polumaske (za razliku od modela EM1 i EM2 koje su četvoroslojne), može se zaključiti da su u modelima HM1 i HM2 ugrađeni filtrirajući materijali znatno boljeg kvaliteta u odnosu na ostale modele filtrirajućih polumaski.

#### 4. ZAKLJUČAK

Prema svemu izloženom može se zapaziti da su, shodno kriterijumima za filtrirajuće polumaske, u svim modelima ovih sredstava ugrađeni filtrirajući materijali visokog kvaliteta, među kojima se posebno izdvajaju filtrirajući materijali modela HM1 i HM2.

Rezultati izvršenih ispitivanja ukazuju da pri manjim protocima filtrirajući materijali slabijeg kvaliteta pokazuju uniformnije karakteristike, odnosno pokazuju manje međusobne razlike u filtrirajućim karakteristikama. Zato je za sticanje potpunih podataka o kvalitativnim karakteristikama bilo koje vrste filtrirajućih materijala neophodno vršiti ispitivanje efikasnosti filtriranja filtrirajućih materijala pri različitim ispitnim protocima.

Može se zaključiti da efikasnost filtriranja filtrirajućih polumaski direktno i prvenstveno zavisi od kvaliteta ugrađenih filtrirajućih materijala, odnosno njihovih strukturnih karakteristika.

U skladu sa svim iznetim, filtrirajuće polumaske se mogu koristiti kao sredstvo lične respiratorne zaštite profesionalnih pripadnika MO i VS.

#### Zahvalnost

Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije podržalo je ovaj rad u okviru projekta TR 34034 (2011-2016).

#### 5. LITERATURA

- [1] R.A.Fouchier, G.F.Rimmelzwaan, T.Kuiken, A.D.Osterhaus (2005) Newer respiratory virus infections: human metapneumovirus, avian influenza virus, and human coronaviruses, *Current Opinion in Infectious Diseases*, 18(2), 141-146.
- [2] R.G.Webster, E.J.Walker (2003) Influenza: The world is teetering on the edge of a pandemic that could kill a large fraction of the human population, *American Scientist*, 91(2), 122-129.
- [3] V.B.Radosavljevic, G.A.Belojevic (2012) Unusual epidemic events: A new method of early orientation and differentiation between natural and deliberate epidemics, *Public Health*, 126(1), 77-81.
- [4] V.Barras, G.Greub (2014) History of biological warfare and bioterrorism, *Clinical Microbiology and Infection*, 20(6), 497-502.
- [5] T.V.Inglesby, D.Henderson, J.G.Bartlett (1999) Anthrax as a biological weapon: medical and public health management, Working Group on Civilian Biodefense, *JAMA*, 281(18), 1735-1745.
- [6] F.Frischknecht (2003) The history of biological warfare, *EMBO Reports*, 4(1), 47-52.
- [7] M. Meselson, J.Guillemain, M.Hugh-Jones, A.Langmuir, I.Popoval, A.Shelokov, O.Yampolskaya (1994) The Sverdlovsk anthrax outbreak of 1979, *Science*, 266(5188), 1202-1208.
- [8] R.Karkalić, V.Maslak, A.Nikolić, M.Kostić, D.Jovanović, Ž.Senić, Z.Veličković (2015) Application of permeable materials for CBRN protective equipment, *Zaštita materijala*, 56(2), 239-242.
- [9] N.Ivankovic, D.Rajic, M.Ilic, M.Vitorovic-Todorovic, N.Pajic (2012) Testing of the efficiency of military devices for personal respiratory protection in relation to sub-micron particles of biological agents, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 7(3), 1089-1095.
- [10] D.Bell, A.Nicoll, K.Fukuda (2006) Nonpharmaceutical Interventions for Pandemic Influenza, National and Community Measures, World Health Organization Writing Group, *Emerging Infectious Diseases*, 12(1), 88-94.
- [11] Australian guideline for the Prevention and Control of Infection in Healthcare (2010) National Health and Medical Research Council, Australian Government.
- [12] R.F.Breiman, M.R.Evans, W.Preiser (2003) Role of China in the quest to define and control Severe Acute Respiratory Syndrome, *Emerging Infectious Disease*, 9(9), 1037-1041.

- [13] SRPS EN 149:2007, Respiratory Protective Devices - Filtering half masks to protect against particles - Requirements, testing, marking, Institute for Standardization of Serbia.
- [14] T.Schroth (1996) New HEPA/ULPA filters for clean-room technology, *Filtration & Separation*, 33(3), 245-250.
- [15] R.Wepfer (1995) Characterisation of HEPA and ULPA Filters by Proposed New European Test Methods, *Filtration & Separation*, 32(6), 545-550.
- [16] T.D.Show (1978) *Fundamentals of Aerosol Science*, John Wiley and Sons, New York.
- [17] SRPS EN 149:2007, Respiratory Protective Devices - Filtering half masks to protect against particles - Requirements, testing, marking, Institute for Standardization of Serbia.
- [18] SRPS EN 143:2007, Respiratory Protective Devices - Particle filters - Requirements, testing, marking, Institute for Standardization of Serbia.
- [19] C.S.COX (1995) Physical aspects of bioaerosol particles, In *Bioaerosol handbook*, Lewis Publishers, New York, pp 15-26.

## ABSTRACT

### EXAMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF FILTERING HALF MASKS PROTECTION AT VARIOUS FLOW RATES OF AEROSOL CONTAMINANTS

*The possibility of air contamination by biological agents, by natural or artificial way, requires the improvement and use of different means for respiratory protection. The paper presents comparative filtration efficiency testing of different filtering half masks models, in order to determine the possibility of using this means for respiratory protection of the Ministry of Defence and the Serbian Army members. As a test agent and an appropriate simulator of biological aerosols is used solid NaCl aerosol. Determination of the concentration of the test aerosol at various flow rates was performed by flame photometry method. It was found that all the tested models are manufactured from filtering material of high quality and that filtering materials of lower quality shows less differences between filtering characteristics at lower flow rates. The high efficiency of the tested filtering half masks models provides an opportunity for their use in respiratory protection.*

**Keywords:** *filtering half mask, respiratory protection, biological aerosols.*

*Scientific paper*

*Paper received: 25. 01. 2016.*

*Paper accepted: 17. 03. 2016.*

*Paper is available on the website: [www.idk.org.rs/journal](http://www.idk.org.rs/journal)*