



PRIMENA VLAKANA NERĐAJUĆEG ČELIKA ZA SEPARACIJU AEROSOLA  
NASTALOG U METALOPRERAĐIVAČKOJ INDUSTRIJI

APPLICATION OF STEEL FIBERS FOR THE SEPARATION OF AEROSOL  
GENERATED IN METALWORKING INDUSTRY

Marko Gomola, Dunja Sokolović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ENERGETIKA I PROCESNA TEHNIKA**

**Kratak sadržaj** – *Primenom sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP) u metaloprerađivačkoj industriji dolazi do formiranja SHP aerosola. Ovi SHP aerosoli predstavljaju opasnost po zdravlje radnika, te ih je neophodno efikasno ukloniti iz radne sredine.*

*Koalescentna filtracija je često primenjivana metoda za uklanjanje SHP aerosola. U ovom radu ispitana je mogućnost primene vlakana od nerđajućeg čelika kao filtracionog sloja za separaciju SHP aerosola. Vlakna nerđajućeg čelika su se pokazala kao relativno dobar materijal u koalescentnoj filtraciji za ovu vrstu separacije.*

**Ključne reči:** *Sredstva za hlađenje i podmazivanje – SHP sredstva, SHP aerosoli, koalescentna filtracija*

**Abstract** – *With the application metal working fluids (MWF) in the metalworking industry, MWF aerosol is formed. These MWF aerosols represent a health risk for workers and must be effectively removed from the workplace. Coalescence filtration is often used to remove MWF aerosols. In this work, the possibility of using stainless steel fibers as a filtration layer for the separation of MWF aerosol is investigated. Stainless steel fibers have proven to be relatively good in coalescent filtration for this type of separation.*

**Keywords:** *Metal working fluids – MWF, MWF aerosol, coalescence filtration*

**1. UVOD**

U toku operacija obrade metalnih delova, kao što su: struganje, glodanje, brušenje, itd., dolazi do trošenja površine alata usled trenja metal o metal izazvanog kontaktom sa metalnim obratkom, kao i do zagrevanja tih površina. Da bi se smanjilo trenje i obezbedilo adekvatno hlađenje u zoni kontakta i time produžio radni vek mašine alatke i obezbedio visok kvalitet obrađenog metalnog elementa, u toku obrade nanose se sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHP sredstva). SHP sredstva pored ovoga omogućavaju spiranje metalnih opiljaka koji se formiraju i ometaju obradu. SHP sredstva, iako imaju veoma pozitivne efekte na proces obrade metala, predstavljaju izrazito opasne materije po zdravlje radnika, zbog čega se mora voditi računa kako i pod kojim uslovima se

primenjuju. Pored SHP sredstava koji predstavljaju hazardne supstance, još opasniji su aerosoli koji nastaju njihovom primenom. SHP aerosoli mogu nastati na tri načina: udarom mlaza SHP sredstva o površinu kontakta, centrifugalnom silom, odnosno rotiranjem struga, ili pak isparavanjem tečnosti, odnosno njenim hlađenjem i kondenzacijom. Veličina kapi SHP aerosola kreće se u opsegu od 0,1 do 15µm. Ovako male kapi imaju mnogo veću mogućnost prodiranja duboko u disajne puteve čoveka, što može da dovede do alergijskih reakcija. Pored toga izloženost ovom SHP aerosolu dovodi do iritacije očiju i kože, respiratornih smetnji, astme, a ako izloženost traje duže vreme može izazvati čak kancer: ždrela, jednjaka, pluća, kože, bešike, pankreasa, i reproduktivnih organa [1-3].

Od strane Američkog ministarstva za rad “Occupational Safety and Health Administration-OSHA” propisana granica izloženosti radnika SHP aerosolu nastalog od mineralnog ulja, iznosi 5 mg/m<sup>3</sup> uprosečeno na osmočasovni radni dan. Od strane “Environmental Protection Agency- EPA” su uvedeni standardi kojima se ograničava količina aerosola koji sadrži čestice određene veličine, i to za čestice sitnije od 10 µm PM10 i čestice sitnije od 2,5 µm PM2.5 (PM- Particulate Matter), umesto ograničenja ukupne količine aerosola [1].

Radi zaštite zdravlja radnika, radne i životne okoline, neophodno je ukloniti SHP aerosol iz radne atmosfere, kao i iz otpadnog vazduha pre ispuštanja u atmosferu. U ovu svrhu se često koristi koalescentna filtracija. Koalescentna filtracija je filtracija kod koje se pomoću adekvatno odabranog i dimenzionisanog filtracionog sloja omogućava ukupnjavanje sitnih kapi SHP aerosola, koje nakon prolaska kroz njega imaju mogućnost da se istalože. Taloženje ovih kapi pre filtracionog sloja nije bilo moguće jer su one previše sitne, pa kao takve lebde u vazduhu [3, 4].

Filtracioni sloj može biti izgrađen od granula ili pak vlakana. Mnogo češće se koriste vlaknasti slojevi jer je kod njih lakše menjati geometriju sloja (poroznost i permeabilnost sloja). Materijali od kojih se mogu formirati vlaknasti slojevi mogu biti različiti, od staklenih vlakana, preko različitih polimera do nerđajućeg čelika [4, 5].

Cilj ovog eksperimentalnog rada bio je da se ispita mogućnost primene vlakana nerđajućeg čelika u koalescentnoj filtraciji za separaciju aerosola nastalog u metaloprerađivačkoj industriji. Filtracioni sloj je formiran od čeličnih vlakana debljine 20 µm. Ispitivana je efikasnost separacije SHP aerosola formiranog od 6%

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Dunja Sokolović, vanr. prof.**

vodene emulzije. U cilju optimizovanja rada koalescera ispitivana je efikasnost separacije primenom četiri različite brzine ventilacionog vazduha: 1 m/s, 3 m/s, 4 m/s i 5 m/s.

## 2. EKSPERIMENTALNI PROGRAM

Glavni mehanizam kojim je formiran SHP aerosol u ovom eksperimentu je delovanjem centrifugalne sile. Uticaj čvrstih čestica koje su mikronskih veličina je zanemaren. Takođe uslovi eksperimenta isključuju prisustvo plivajućeg ulja i mikroorganizama. Za potrebe realizacije eksperimentalnog programa, korišćeno je komercijalno SHP sredstvo mineralnog porekla. Za pripremu emulzije, korišćena je voda gradskog vodovoda. Kao simulator mašine alatke, korišćen je laboratorijski aerosol generator uz pomoć kojeg je formiran SHP aerosol. SHP aerosol AE06, nastao je atomiziranjem 6% vodene emulzije E. Emulzija E je formirana upotrebom navedenog SHP sredstva i temperirane vode. Filtracija je vršena u koalesceru u kojem je filtracioni sloj formiran od vlakna nerđajućeg čelika, debljine 20 µm, oznake SS20 Debljina filtracionog sloja iznosila je 5cm, dok je permeabilnosti sloja bila  $K01=7,56 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ , a poroznosti 0,96.

Eksperiment je vršen pri četiri različite brzine vazduha: 1, 3, 4 i 5 m/s.

### 2.1. Metode rada i eksperimentalne tehnike

Za određivanje karakteristika aerosola, korišćen je optički spektrometar „Particle Size Analyzer PCS 2010“. Karakteristike koje meri ovaj uređaj su: raspodela veličine čestica, masena i brojčana koncentracija aerosola.

Merna mesta na kojim je vršeno uzorkovanje SHP aerosola su:

1. Pre filtera – IN – „inlet“
2. Nakon filtera – AF – „after filter“

Efikasnost separacije aerosola primenom koalescentne filtracije, analizirana je preko dve karakteristike SHP aerosola:

1. masene koncentracije ( $C_m$ )
2. brojčane koncentracije ( $C_n$ )

Efikasnost separacije računata je prema formulama (1) i (2):

$$Em = \frac{(C_{m_{in}} - C_{m_{af}})}{C_{m_{af}}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

$$En = \frac{(C_{n_{in}} - C_{n_{af}})}{C_{n_{af}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Gde su:

Em- efikasnost praćena preko masene koncentracije

En- efikasnost praćena preko brojčane koncentracije

$C_{m_{in}}$ - masena koncentracija na mernom mestu IN

$C_{m_{af}}$ - masena koncentracija na mernom mestu AF

$C_{n_{in}}$ - brojčana koncentracija na mernom mestu IN

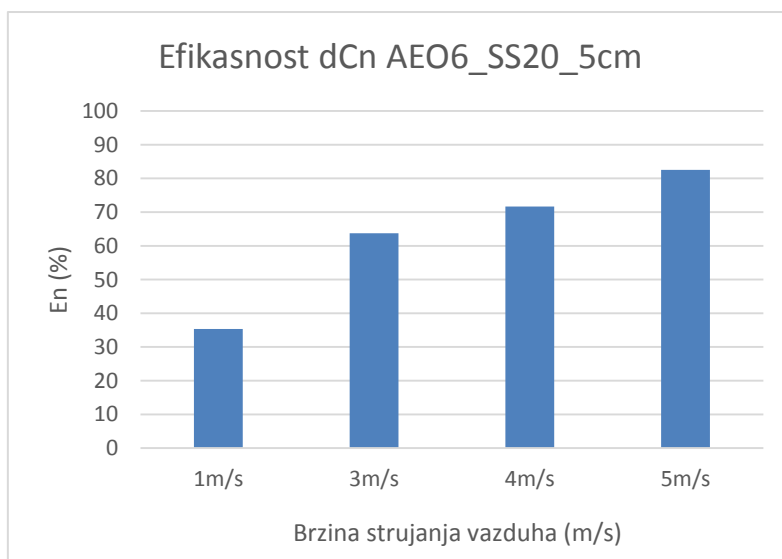
$C_{n_{af}}$ - brojčana koncentracija na mernom mestu AF

Aparatura na kojoj je izvođen ogled sastoji se od: aerosol generatora, ventilacone cevi, filtracionog sloja i ventilatora smeštenog na kraju cevi. Merenja su vršena 60 minuta od pokretanja ogleda.

## 3. PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

Na slici 1. prikazana je efikasnost separacije praćene preko brojčane koncentracije SHP aerosola. Pri brzini 1 m/s efikasnosti  $En$ , iznosi 35,33%, dok pri brzini od 3 m/s ona iznosi 63,73%. Trend rasta se nastavlja, pa tako pri brzini od 4 m/s efikasnost iznosi 71,65%, a pri najvećoj brzini strujanja vazduha od 5 m/s efikasnost  $En$  iznosi čak 82,53%. Usled povećanja brzine vazduha, dolazi do porasta efikasnosti  $En$ , što ukazuje da je koalescencija kapi bolja pri većim brzinama strujanja vazduha.

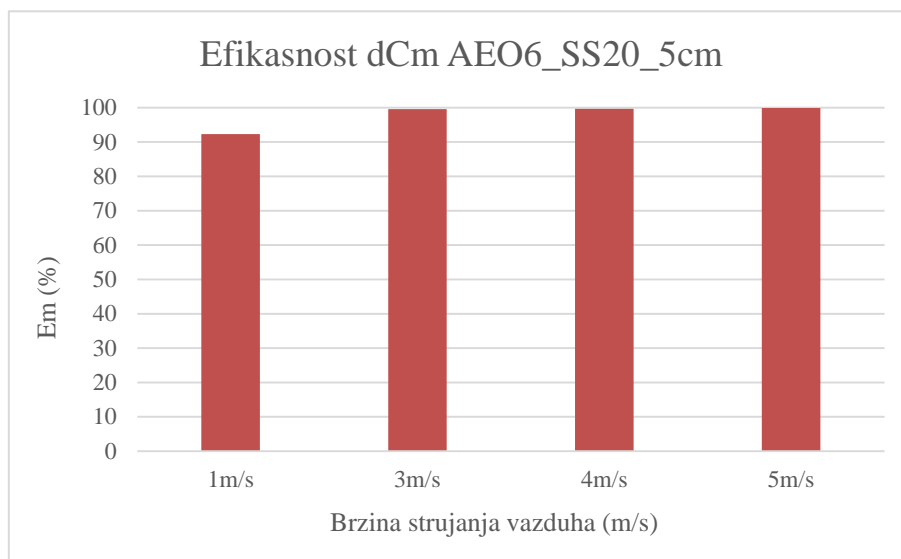
Pri višim brzinama je intenzivnije strujanje vazduha, što izaziva bolje mešanje SHP aerosola, a to dovodi do više slučajnih sudara između kapi, i kao rezultat ima veći broj koalesciranih (ukrupljenih) kapi, a samim tim i višu efikasnost separacije. Stoga, kada je koncentracija sitnih kapi u aerosolu koje treba ukloniti velika, potrebno je kao radnu brzinu odabrati brzinu od 5m/s.



Slika 1. Efikasnost  $En$  za sve brzine za materijal SS20

Na slici 2. prikazana je efikasnost separacije praćene preko masene koncentracije za sve ispitivane brzine. Već pri najnižoj brzini od 1 m/s vrednost efikasnosti separacije  $E_m$  je izrazito visoka i iznosi 92,31%, što nije bio slučaj kada se efikasnost separacije pratila preko brojčane koncentracije  $E_n$ . Za sledeću brzinu od 3 m/s,

separacije praćene preko masene koncentracije, u odnosu na efikasnost separacije praćene preko brojčane koncentracije govori o tome da je ostao određeni broj najsitnijih kapi ( $\leq 1$ ) u SHP aerosolu nakon filtracionog sloja.



**Slika 2.** Efikasnost  $E_m$  za sve brzine za materijal SS20

efikasnost  $E_m$  je skoro pa maksimalna, čak 99,59%. Pri daljem povećanju brzine strujanja vazduha, trend porasta se nastavlja, ali sa obrzirom da je već pri brzini od 3m/s postignuta visoka efikasnost separacije, povećanje je zanemarljivo malo.

Kada je propisana granična vrednost SHP aerosola preko ukupne masene koncentracije tada radna brzina strujanja vazduha treba da bude 3 m/s.

Razlika između efikasnosti praćene preko brojčane i masene koncentracije za iste uslove se može objasniti na sledeći način. Sitne kapi, manje od  $1\mu\text{m}$ , imaju gotovo zanemarljivu masu pa je njihov udeo u masenoj koncentraciji mali, iako brojčana koncentracija sitnih kapi može da bude visoka.

#### 4. ZAKLJUČAK

Porastom brzine strujanja vazduha, raste i efikasnost separacije nezavisno preko koje koncentracije SHP aerosola se prati.

Pri višim brzinama je intenzivnije strujanje vazduha, što izaziva bolje mešanje SHP aerosola, tj. više slučajnih sudara između kapi, što kao rezultat ima veći broj koalesciranih (ukrupljenih) kapi. Efikasnost separacije praćene preko brojčane koncentracije je znatno manja, nego kada se ona prati preko masene koncentracije.

Primeru radi pri brzini od 1 m/s  $E_n$  je 35,33%, dok je  $E_m$  92,31%. Ove se dešava, zbog toga jer sitne kapi imaju malu masu, koja ne figuriše značajno u masenoj koncentraciji, dok to nije slučaj kada je brojčana koncentracija upitanju.

Vlakana nerđajućeg čelika pokazala su se kao relativno dobar materijal za separaciju SHP aerosola. Kada je bitno postići propisanu granicu ukupne masene koncentracije SHP aerosola, onda radna brzina vazduha treba da bude

3m/s, jer je pri toj brzini  $E_m$  99,59%. Dok kada je bitno efikasno ukloniti i najsitnije čestice SHP aerosola ( $\leq 1\mu\text{m}$ ) tada radna brzina vazduha treba da bude 5m/s jer se u tom slučaju postiže najveća efikasnost separacije  $E_n$  82,53%.

Visoka radna brzina pri uklanjanju sitnih kapi predstavlja ograničenje primene vlakana nerđajućeg čelika za separaciju SHP aerosola.

#### 5. LITERATURA

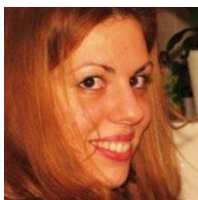
- [1] D. Sokolović, Istraživanje fenomena aerosola formiranog od emulzija mineralnih i drugih ulja u vodi, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 2012.
- [2] U.S. department of health and human services, Occupational exposure to metalworking fluids, National Institute for Occupational Safety and Health, Publication No. 98-116, Mart 1998.
- [3] D. Sokolović, W. Höflinger, Z. Zavargo, R. Šećerov Sokolović, Uticaj ventilacije komore mašine alatke na osobine SHP aerosola, Hemijska industrija, 2012, 66(1), 67-77.
- [4] D. Govedarica, D. Sokolović, Separacija emulzija koalescencijom u sloju vlakana, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad 2014.
- [5] S. U. Patel, Improving performance and drainage of coalescing filters, doktorska disertacija, The University of Akron, Akron, 2010.

## Kratka biografija:



**Marko Gomola** rođen je u Sremskoj Mitrovici 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetike i procesne tehnike odbranio je 2018.god.

kontakt: [markogomola@gmail.com](mailto:markogomola@gmail.com)



**Dunja Sokolović** rođena je u Novom Sadu 1981. Doktorirala je na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu, UNS., a od 2017 je u zvanju vanrednog profesora na Fakultetu tehničkih nauka. Oblast interesovanja su procesna tehnika, održivi razvoj, zaštita životne sredine.