



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
TEHNOLOŠKI FAKULTET  
HEMIJSKO I BIOHEMIJSKO  
INŽENJERSTVO



# ISTRAŽIVANJE FENOMENA AEROSOLA FORMIRANOG OD EMULZIJA MINERALNIH I DRUGIH ULJA U VODI

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: Prof. dr Zoltan Zavargo      Kandidat: dipl. ing. Dunja Sokolović

Novi Sad, 2012. godine

**UNIVERZITET U NOVOM SADU**  
**TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	<b>Dunja Sokolović, dipl. ing.</b>
Mentor MN	<b>Dr Zoltan Zavargo,</b> redovni profesor Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu
Naslov rada: NR	„Istraživanje fenomena aerosola formiranog od emulzija mineralnih i drugih ulja u vodi”
Jezik publikacije: JP	srpski (latinica)
Jezik izvoda: JI	srpski / engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Novi Sad, AP Vojvodina
Godina: GO	2012.
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	21 000 Novi Sad, Srbija, Bul. cara Lazara 1

Fizički opis rada: FO	5 poglavlja / 164 stranica / 118 slika / 75 tabela /161 referenca
Naučna oblast: NO	Tehničko-tehnološke nauke
Naučna disciplina: ND	Hemijsko inženjerstvo, Zaštita okoline i zaštita na radu
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Aerosol, SHP, atomiziranje, emulzija
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu, Bul. cara Lazara 1, 21 000 Novi Sad
Važna napomena: VN	Veći deo eksperimentalnog programa ove disertacije je realizovan na Institutu za Hemijsko inženjerstvo, Tehničkog Univerziteta u Beču.
Izvod: IZ	<p>Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je bio formiranje i proučavanje osobina i ponašanja organskih aerosola nastalih atomiziranjem stabilnih emulzija dominantno pod dejstvom centrifugalne sile. Korišćene su vodene emulzije komercijalnih sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP), koja se koriste pri obradi metalnih odlivaka. Cilj istraživanja je bio ispitati i objasniti uticaj koncentracije SHP emulzije, brzine strujanja vazduha, prirode kako ulja, tako i osobina emulzija, kao što su gustina, viskoznost, površinski napon, kao i udaljenost od mesta atomiziranja na masenu koncentraciju, broj i veličinu kapi aerosola u kontrolisanim laboratorijskim uslovima.</p> <p>Uslovi eksperimenta isključili su uticaj toplote nastale kao posledica trenja alata i delova koji se obrađuju. Pored toga isključeno je prisustvo čvrstih mikronskih čestica koje potiču od delova koji se obrađuju, kao i prisutvo plivajućeg hidrauličnog ulja i mikroorganizama koji uvek prate realan industrijski fluid.</p> <p>Eksperimentalni program je realizovan na tri komercijalna SHP sredstva različitog porekla. Proučavani su aerosoli formirani atomiziranjem emulzije tri različite koncentracije uljne faze: 1, 6 i 10 %. Pri jednakim eksperimentalnim uslovima ispitivan je i aerosol formiran, od</p>

	<p>vode korišćene za pripremu emulzija. Određene su osobine ulja i emulzija koje su od značaja za atomiziranje tečnosti. Proučavan je i uticaj brzine ventilacionog vazduha na osobine aerosola. Eksperimenti su realizovani pri brzinama vazduha od 1, 3, 6, 8 m/s. Uzorkovanje aerosola je realizovano u komori, na ulazu u ventilacini vod i duž ventilacione cevi dužine 8m na pet mernih tačaka koje se nalaze na 0,5, 1, 2, 4, 6, 8 m u odnosu na komoru.</p> <p>Značajan doprinos ove doktorske disertacije je postavljanje teorije da atomiziranjem emulzije kao heterogene tečnosti, nastaje heterogen aerosol, pri čemu mogu nastati kapi različite prirode, između ostalog i kapi čistog ulja. Na taj način je objašnjen fenomen da porastom koncentracije emulzije raste veličina kapi nastalog aerosola. Aerosoli nastali od koncentrovanijih emulzija pokazuju uređenije strujanje kroz ventilacionu cev, što je od značaja za uspešnije projektovanje ventilacionih sistema i filtara za njihovu separaciju u cilju zaštite zdravlja radnika i zaštite okoline.</p>
Datum prihvatanja teme od strane NN veća: DP	11. 02. 2011
Datum odbrane: DO	
<p>Članovi komisije: PRESEDNIK:</p> <p>ČLAN/MENTOR:</p> <p>ČLAN:</p> <p>ČLAN:</p>	<p>Dr Radmila Marinković- Nedučin, redovni profesor, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Univerzitet u Novom Sadu</p> <p>Dr Zolatan Zavargo, redovni profesor, Tehnološki fakultet u Novom Sadu Univerzitet u Novom Sadu</p> <p>Dr Milorad Cakić, redovni profesor, Tehnološki fakultet u Leskovcu Univerzitet u Nišu</p> <p>Dr Pero Dugić, vanredni profesor, Tehnološki fakultet u Banja Luci Univerzitet u Banja Luci</p>

**UNIVERSITY OF NOVI SAD**  
**FACULTY OF TECHNOLOGY**

**KEY WORD DOCUMENTATION**

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	Ph. D. thesis
Author: AU	<b>Dunja Sokolović, dipl. ing.</b>
Mentor: MN	<b>Zoltan Zavargo, Ph. D.</b> Faculty of Technology, University of Novi Sad
Title: TI	“Investigation on the phenomena of aerosols formed from emulsions of mineral and other oils in water”
Language of text: LT	Serbian (Latin script)
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	Novi Sad, AP Vojvodina
Publication year: PY	2012.
Publisher: PU	author reprint
Publication place: PP	21 000 Novi Sad, Serbia, Bul. cara Lazara 1

Physical description: PD	5 chapters, 164 pages, 118 figures, 75 tables, 161 references
Scientific field SF	Technical Science
Scientific discipline SD	Chemical Engineering, Environmental Engineering and Occupational Safety
Subject, Key words SKW	Aerosol, MWF, atomization, emulsion
UC	
Holding data: HD	Library of Faculty of Technology, Novi Sad, 21 000 Novi Sad, Serbia, Bul. cara Lazara 1
Note: N	Most of experimental program of this PhD thesis was realized at Institute of Chemical Engineering, Vienna University of Technology
Abstract: AB	<p>This PhD Thesis presents an experimental study of organic aerosols formed from stable water emulsions, predominantly by centrifugal force under laboratory conditions. Emulsions of metalworking fluids (MWF) were used in the experiments. The aim of this investigation was to explain the influence of MWF emulsion concentration, oil and emulsion properties (density, viscosity, and surface tension), air velocity, as well as distance from atomization generator on aerosol behavior and properties as size distribution, mass and number concentration. The experimental conditions excluded the influence of the heat arising from the friction between the tool and the workpieces. In this way the mechanism of aerosol formation by the evaporation/condensation is minimized. Besides, the presence of solid micrometer sized particulates originated from the work piece is excluded, as well as the presence of tramp oil and microorganisms, always accompanying a real industrial fluid.</p> <p>Three different commercial MWFs were investigated at three different oil-in-water emulsion concentrations, 1, 6, and 10 % respectively. Water aerosol was investigated under same experimental conditions. Properties of MWF oils and emulsion, which are important for liquid atomization, were determined.</p>

	<p>Influence of ventilation air velocity on aerosol properties was investigated as well. Experiments were realized under four different air velocities: 1, 3, 6, and 8 m/s. Samples were taken at three different points: at the camber, at the entrance of ventilation pipe, and at five sampling points along the pipe. Ventilation pipe was 8 m long, and sampling points were at 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 m from the aerosol camber.</p> <p>The main contribution of this dissertation is the new theory that atomization of emulsion as a heterogeneous fluid leads to the formation of heterogeneous aerosol, containing droplets of a different nature, including droplets of pure oil. This theory explains the phenomenon that the aerosol droplet sizes increase with the increase of the emulsion concentration. Obtained results show that aerosols formed from the emulsions of higher concentration (6 and 10 %) have less chaotic flow through the ventilation pipe. This observation is important for better design of ventilation systems and filters for mist separation in order to protect human health and the environment.</p>
Accepted on Scientific Board on: AS	11.02. 2011
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB PRESIDENT:  MEMBER/MENTHOR:  MEMBER:  MEMBER:	<p>Dr Radmila Marinković- Nedučin, full professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad</p> <p>Dr Zolatan Zavargo, full professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad</p> <p>Dr Milorad Cakić, full professor, Faculty of Technology, Leskovac, University of Niš</p> <p>Dr Pero Dugić, associate professor, Faculty of Technology, Banja Luka, University of Banja Luka</p>

# SADRŽAJ

<b>UVOD I CILJ</b>	1
<b>TEORIJSKI DEO</b>	2
<b>AEROSOLI</b>	2
<b>SREDSTVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE I NJIHOVI AEROSOLI</b>	9
<b>ATOMIZIRANJE TEČNOSTI</b>	16
<b><u>Uvod</u></b>	16
<b><u>Atomizeri</u></b>	17
<i>Atomizeri pod pritiskom</i>	18
<i>Rotirajući atomizeri</i>	19
<b><u>Faktori koji utiču na atomiziranje</u></b>	20
<i>Geometrija atomizera</i>	20
<i>Radni uslovi</i>	22
<i>Osobine tečnosti</i>	23
<b><u>Oblici atomiziranja</u></b>	25
<i>Mehanizmi atomiziranja</i>	25
<i>Kapljanje tečnosti</i>	27
<i>Dezintegriranje tečnog mlaza</i>	29
<i>Dezintegriranje filma tečnosti</i>	34
<i>Sekundarno atomiziranje</i>	39
<b>RASPODELA VELIČINA ČESTICA</b>	43
<b><u>Osobine raspodele veličina čestica</u></b>	43
<b><u>Prečnici čestica</u></b>	48
<b><u>Momenti i prosečni momenti, pojam i primena</u></b>	50



<b>EKSPERIMENTALNI DEO</b>	55
<b>EKSPERIMENTALNI PROGRAM</b>	55
<b>METODE RADA I EKSPERIMENTALNE TEHNIKE</b>	56
<b><u>Osobine aerosola - veličina kapi, masena i brojna koncentracija</u></b>	56
<b><u>Temperatura i vlaga</u></b>	57
<b><u>Brzina vazduha</u></b>	57
<b><u>Osobine ulja i emulzija</u></b>	58
<b>EKSPERIMENTALNI UREĐAJ I USLOVI RADA</b>	59
<b>PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA</b>	61
<b>PRIKAZ REZULTATA</b>	61
<b><u>Osobine ulja i emulzija</u></b>	61
<i>Reološke osobine ispitivanih tečnosti</i>	63
<b><u>Osobine ispitivanih aerosola</u></b>	65
<i>Osobine aerosola u komori</i>	65
<i>Osobine aerosola ka ventilacionoj cevi</i>	70
<i>Osobine aerosola duž ventilacione cevi</i>	75
<b>ANALIZA REZULTATA</b>	95
<b><u>Reologija ispitivanih tečnosti</u></b>	95
<b><u>Atomiziranje emulzije</u></b>	98
<i>Atomiziranje</i>	98
<i>Uticao prirode ulja i emulzija na osobine aerosola</i>	104
<b><u>Strujanje aerosola u komori</u></b>	109
<i>Uticao brzine vazduha na aerosole formirane od vode</i>	109
<i>Uticao brzine vazduha na aerosole formirane od 1 % emulzija</i>	112

<i>Uticaj brzine vazduha na aerosole formirane od 6 % emulzija</i>	119
<i>Uticaj brzine vazduha na aerosole formirane od 10 % emulzija</i>	128
<i>Završna razmatranja strujanja aerosola u komori</i>	135
<b><u>Strujanje aerosola u cevi</u></b>	136
<i>Strujanje aerosola vode u cevi</i>	136
<i>Strujanje aerosola u cevi formiranog od 1% emulzije EO3</i>	138
<i>Strujanje aerosola u cevi formiranog od 6 % emulzije EO3</i>	142
<i>Strujanje aerosola u cevi formiranog od 10 % emulzije EO3</i>	144
<i>Završna razmatranja strujanja aerosola u cevi formiranog emulzije EO3</i>	147
<b>ZAKLJUČAK</b>	148
<b>LITERATURA</b>	150

## SPISAK SLIKA

- Slika 1.** Primeri atmosferskih aerosola: a) magla i b) smog
- Slika 2.** Prirodni i antropogeni aerosoli
- Slika 3.** Bioaerosoli: a) spore Fungi, b) spore plesni, c) Fungi
- Slika 4.** Moguće strukture aerosol čestice NaCl:  
a) neporozna čvrsta, b) porozna čvrsta, c) čvrsta sa otvorenim džepovima rastvorenog NaCl, d) čvrsta čaura sa vodenim jezgrom, e) čvrsta NaCl čestica sa jezgrom vodenog rastvora NaCl, f) vodena kapljica NaCl. Linije na slikama predstavljaju adsorbovanu vodu.
- Slika 5.** Veličine čestica aerosola
- Slika 6.** Šematski prikaz penetracije aerosola u respiratorne organe čoveka
- Slika 7.** Dezintegriranje mlaza i nastalih kapi
- Slika 8.** Primena SHP sredstava
- Slika 9.** Mehanizmi nastajanja aerosola primenom SHP sredstava
- Slika 10.** Zatvorene mašine alatke
- Slika 11.** Spilarni kolektor SHP aerosola
- Slika 12.** Atomizeri: a) rotirajući b) pod pritiskom i c) dvostruko fluidni
- Slika 13.** Dezintegriranje mlaza primenom atomizera pod pritiskom
- Slika 14.** Atomiziranje centrifugalnom silom kod rotirajućeg atomizer „rotary atomizer“
- Slika 15.** Šematski prikaz tri dezintegrišuća režima: a) direktno formiranje kapi, b) formiranje ligamenata i c) formiranje filma tečnosti.
- Slika 16.** Primer: a) mlaza i b) filma tečnosti

- Slika 17.** Mlaznice
- Slika 18.** Stepen dezintegriranosti tečnosti u zavisnosti od izlazne brzine tečnosti ( $U_L$ - brzina tečnosti)
- Slika 19.** Dezintegrisanje tečnog filma u zavisnosti od relativne brzine  
a) i c) prednji snimak filma b) i d) bočni snimak filma
- Slika 20.** Uticaj viskoznosti na dezintegrisanje tečnosti
- Slika 21.** Primer kapljanja tečnosti u prirodi
- Slika 22.** Primeri dezintegrisanja slobodne površine tečnosti:  
a) okeanski sprej i b) magla vodopada.
- Slika 23.** Primer otkidanja kapi sa ravne horizontalne površine
- Slika 24.** Primer mlaza i njegovih karakterističnih veličina
- Slika 25.** Mehanizmi dezintegrisanja mlaza a) Reyleigh-jev mehanizam  
b) sinusoidni mehanizam c) površinski mehanizam.
- Slika 26.** Režimi dezintegrisanja mlaza, relativna brzina  $U_L-U_g$ :  
a)  $\ll 1$  m/s b)  $\approx 2$  c)  $\approx 10$  m/s d)  $\approx 30$  m/s e)  $\approx 100$  m/s
- Slika 27.** Grafik zavisnosti Re i Oh broja koji definišu mehanizam dezintegracije
- slika 28.** Ravni fimovi
- Slika 29.** Kupasti film
- Slika 30.** Lepezasti film
- Slika 31.** Režimi dezintegrisanja filmova: a) kolutasto/prstenast b) talasast i  
c) perforiran

- Slika 32.** Dva tipa talasa koja se mogu formirati pri dezintegriranju tečnih filmova
- Slika 33.** Grafik zavisnosti Reynolds-ovog broja za česticu i koeficijenta otpora
- Slika 34.** Mehanizmi sekundarnog atomiziranja kapi:  
a) „*vibrational breakup*“ b) „*bag breakup*“ c) „*bag-and-stamen breakup*“ d) „*sheet stripping*“ e) „*wave crest stripping*“ i  
f) „*castastrophic breakup*“
- Slika 35.** Histogram (ordinata – učestalost (broj))
- Slika 36.** Histogram (ordinata – učestalost / $\mu\text{m}$  (broj/ $\mu\text{m}$ ))
- Slika 37.** Histogram (ordinata- udeo/ $\mu\text{m}$ )
- Slika 38.** Kriva raspodele za histogram sa slike 37.
- Slika 39.** Kumulativna kriva
- Slika 40.** Obrnuta kumulativna kriva.
- Slika 41.** Karakteristični prečnici
- Slika 42.** Krive raspodele brojčane količine i mase po prečnicima čestica
- slika 43.** Optički spektrometar “Particle Size Analyzer PCS 2010”, Palas
- Slika 44.** Merač temperature i vlage
- Slika 45.** Merač brzine strujanja vazduha
- Slika 46.** Eksperimentalna aparatura
- Slika 47.** Grafički prikaz reoloških osobina ispitivanih ulja
- Slika 48.** Grafički prikaz reoloških osobina emulzija EO3
- Slika 49.** Grafički prikaz reoloških osobina emulzija EO5

- Slika 50.** Grafički prikaz reoloških osobina emulzija EO2
- Slika 51.** Kumulativne krive aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 1 % emulzija
- Slika 52.** Krive raspodele aerosola vode AOO i aerosola AO3 formiranih od 1 %, 6 % i 10 % emulzije
- Slika 53.** Krive raspodele aerosola AO5 formiranih od 1 %, 6 % i 10 % emulzije
- Slika 54.** Krive raspodele aerosola AO2 formiranih od 1 %, 6 % i 10 % emulzije
- Slika 55.** Poređenje: a) SMD prečnika i b) MMD prečnika za sve ispitivane aerosole
- Slika 56.** Teorijski mogući tipovi kapi aerosola
- Slika 57.** Grafički prikaz atomiziranja emulzije i formiranje heterogenog aerosola
- Slika 58.** Krive raspodele aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 1 % emulzija
- Slika 59.** Krive raspodele aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 6 % emulzija
- Slika 60.** Kumulativne krive aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 6 % emulzija
- Slika 61.** Krive raspodele aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 10 % emulzija
- Slika 62.** Kumulativne krive aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 10 % emulzija
- Slika 63.** Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V1

- Slika 64.** Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V3
- Slika 65.** Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V6
- Slika 66.** Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V8
- Slika 67.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 68.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 69.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 70.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 71.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 72.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 73.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V6 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 74.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V6 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 75.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V6 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 76.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V8 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 77.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V8 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 78.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V8 formiranog od 1 % emulzije

- Slika 79.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 80.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 81.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 82.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 83.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 84.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 85.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 86.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 87.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 88.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V8 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 89.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V8 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 90.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V8 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 91.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V1 formiranog od 10 % emulzije



- Slika 92.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V1 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 93.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V1 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 94.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V3 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 95.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V3 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 96.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V3 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 97.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 98.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 99.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 100.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 101.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 102.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 103.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu V1
- Slika 104.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu V3
- Slika 105.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu V6
- Slika 106.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu V8

- Slika 107.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 108.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 109.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V6 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 110.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V8 formiranog od 1 % emulzije
- Slika 111.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 112.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 113.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 114.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V8 formiranog od 6 % emulzije
- Slika 115.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V1 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 116.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V3 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 117.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije
- Slika 118.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije

## SPISAK TABELA

- Tabela 1.** Dodaci u SHP sredstvima
- Tabela 2.** Klasifikacija mehanizama dezintegracije mlaza
- Tabela 3.** Fizičko-hemijske osobine SHP sredstava
- Tabela 4.** Osobine emulzije
- Tabela 5.** Veličina kapi ulja u emulziji
- Tabela 6.** Reološke karakteristike komercijalnih SHP sredstava
- Tabela 7.** Reološke karakteristike emulzije EO3 koncentracije 1 %, 6 % i 10 %
- Tabela 8.** Reološke karakteristike emulzije EO5 koncentracije 1 %, 6 % i 10 %
- Tabela 9.** Reološke karakteristike emulzije EO2 koncentracije 1 %, 6 % i 10 %
- Tabela 10.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) u komori za sve brzine
- Tabela 11.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) u komori za sve brzine
- Tabela 12.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) u komori za sve brzine
- Tabela 13.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) u komori za sve brzine
- Tabela 14.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) u komori za sve brzine

- Tabela 15.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) u komori za sve brzine
- Tabela 16.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) u komori za sve brzine
- Tabela 17.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) u komori za sve brzine
- Tabela 18.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) u komori za sve brzine
- Tabela 19.** Prikaz osobina aerosola AOO (voda) u komori za sve brzine
- Tabela 20.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 21.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 22.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 23.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 24.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 25.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 26.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 27.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

- Tabela 28.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 29.** Prikaz osobina aerosola AOO (voda) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine
- Tabela 30.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 31.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 32.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 33.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 34.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 35.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 36.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 37.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 38.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 39.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 40.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

- Tabela 41.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 42.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 43.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 44.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 45.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 46.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 47.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 48.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 49.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 50.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 51.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 52.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 53.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

- Tabela 54.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 55.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 56.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 57.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 58.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 59.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 60.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 61.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 62.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1
- Tabela 63.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 64.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 65.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 66.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V1

- Tabela 67.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V3
- Tabela 68.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V6
- Tabela 69.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V8
- Tabela 70.** Udeo čestica manjih od 2,5 $\mu$ m, PM.2.5, za ispitivane aerosole
- Tabela 71.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 pri različitim koncentracijama atomizirane emulzije
- Tabela 72.** Brojna i masena koncentracija za aerosol AOO u komori
- Tabela 73.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 u komori formiranih od 1 % emulzije
- Tabela 74.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 u komori formiranih od 6 % emulzije
- Tabela 75.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 u komori formiranih od 10 % emulzije



## UVOD I CILJ

Aerosoli su višefazni sistemi kod kojih je kontinualna faza gas, najčešće vazduh, dok diskontinualna faza može da bude čvrsta i/ili tečna. Oni se javljaju u gotovo svim granama industrije od prehrambene, farmaceutske pa preko cementne i metaloprerađivačke industrije. Dok u jednim predstavljaju proizvode, u drugim industrijama se aerosoli javljaju kao kontaminanti radne sredine.

Sredstva za hlađenje i podmazivanje, SHP su fluidi različitog hemijskog sastava koji se koriste u operacijama mehaničke obrade metalnih delova. Njihov osnovni zadatak je da obezbede dobro hlađenje i podmazivanje u zoni kontakta alata i metalne površine koja se obrađuje. Pored toga ona imaju i antikorozivnu ulogu kao i ulogu u ispiranju strugotine. Upotreba odgovarajućih SHP sredstava obezbeđuje visok kvalitet obrade i minimalno trošenje alata. SHP sredstava iako imaju pozitivne efekte na ekonomičnost procesa obrade metala, predstavljaju izrazito opasne materije i zagađivače kako radne tako i životne sredine. Posledica generesiranja aerosola/magle primenom SHP sredstava u gotovo svim procesima obrade metala je kontamiranje vazduha radne sredine. Postojanje ovakvog aerosola/magle u radnoj atmosferi predstavlja opasnost po zdravlje radnika. Ovakav aerosol/magla iritirajući je za kožu, oči, nos i ždrelo. Epidemološke studije su pokazale da izloženost ovakvom aerosolu, poznatom u industriji kao zauljena magla, može izazvati astmu, bronhijalnu hiperreaktivnost, lipidnu pneumoniju, dermatitis pa čak i rak pluća ili ždrelo.

Cilj istraživanja ove disertacije je ispitati i objasniti uticaj koncentracije SHP emulzije, brzine strujanja vazduha, brzine obrtaja rotora, prirode kako ulja, tako i osobina formiranih emulzija, kao što su gustina, viskoznost, površinski napon, kao i udaljenost od mesta atomiziranja na masenu koncentraciju, broj i veličinu kapi formiranog aerosola u kontrolisanim laboratorijskim uslovima.

Uslovi eksperimenta isključili su uticaj, pre svega, toplote nastale kao posledica trenja alata i delova koji se obrađuju. Na taj način se minimizira formiranje aerosola mehanizmom isparavanja/kondenzacije, te je dominantno formiranje aerosola centrifugalnom silom. Pored toga isključeno je prisustvo čvrstih mikronskih čestica koje potiču od delova koji se obrađuju, kao i prisustvo plivajućeg hidrauličnog ulja i mikroorganizama koji uvek prate realan industrijski fluid.

## TEORIJSKI DEO

### AEROSOLI

Klimatske promene kao i masovna pojava alergijskih reakcija kod ljudi postali su za sigurno jedni od ključnih problema današnjice. Glavni uzročnici ovih procesa su čestice/kapljice dispergovane u gasnoj fazi - aerosoli. Oni nastaju ili kao posledica ljudskih aktivnosti, ili aktivnošću prirode. Na klimu utiču kako aerosoli koji dospeju u atmosferu tako i oni koji se u njoj formiraju (sekundarni aerosoli) [1]. Aerosoli koji se nalaze u čovekovom okruženju, pored alergijskih reakcija mogu uzrokovati i ozbiljnija respiratorna, kardiovaskularna, dermatološka i druga oboljenja. Oni se nalaze u različitim oblicima i formama, kao što su prašina, dim, čađ, smog, izmaglica i magla, slika 1.[2, 3].



a)



b)

**Slika 1.** Primeri atmosferskih aerosola: a) magla i b) smog

Aerosoli se mogu klasifikovati na čitav niz načina, prema:

- prirodi dispergovane faze,
- načinu nastajanja,
- mestu postojanja.

Prema prirodi dispergovane faze aerosoli se klasifikuju u dve glavne grupe, na one kod kojih je dispergovana čvrsta faza (dispergovano čvrsto) i na one kod kojih je dispergovana tečna faza (dispergovano tečno). Podela prema načinu

nastajanja aerosola je na prirodne i antropogene aerosole. Prirodni aerosoli dominantno nastaju aktivnošću prirode kao što je: aktivnost vulkana, peščane oluje, okeansko kapljičanje, aktivnost biosfere, dok antropogeni nastaju kao posledica čovekove aktivnosti, slika 2. Antropogeni aerosoli mogu biti poreklom: iz industrije, specifično od saobraćaja, spaljivanjem biomase, erozijom objekata.

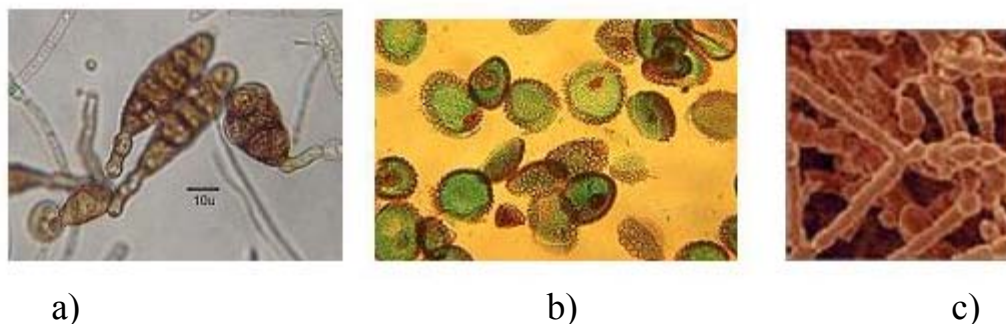


**Slika 2.** Prirodni i antropogeni aerosoli

Ako se pak fokusira mesto postojanja aerosola zanemarujući njihovo poreklo, tada bi klasifikacija bila sledeća: atmosferski aerosoli (*outdoor*) i aerosoli u zatvorenom prostoru (*indoor*), čiju podgrupu čine industrijski aerosoli kao što su npr. aerosoli u metaloprerađivačkoj industriji [4 -7].

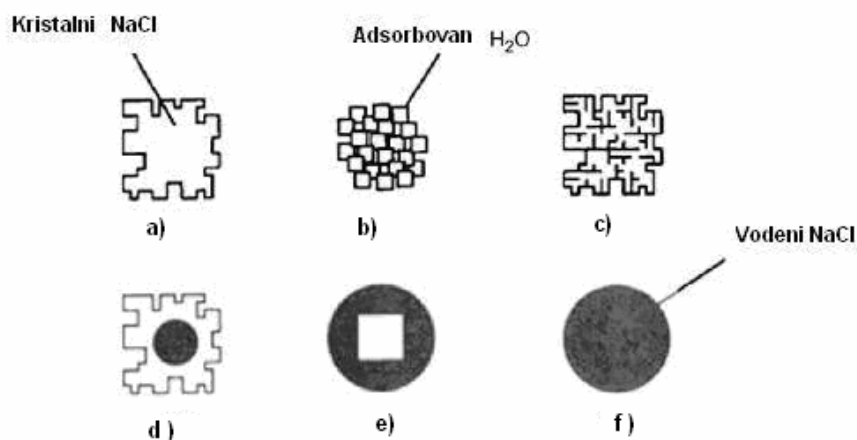
U poslednje vreme intenzivnije se istražuju bioaerosoli, slika 3. Bioaerosoli mogu biti i prirodnog i antropogenog porekla, prisutni su i u atmosferi i u industriji. Bioaerosoli se mogu klasifikovati na više načina. Uobičajena podela je na žive i nežive. Neživi bioaerosoli su organske materije biološkog porekla. U ovu grupu spadaju polen, životinjska perut, slina, ekstrakti insekata, itd. Živi bioaerosoli su bakterije, carstvo fungi i virusi. Dominanti bioaerosoli su spore bakterija i carstvo fungi, [8-10]. Čestice bioaerosola nalaze se u intervalu

veličina od 0,02 do 100  $\mu\text{m}$ , zavisno od porekla. Zbog svoje specifičnosti bioaerosoli su svrstani u posebnu grupu i tako ih treba i proučavati [11-15].



**Slika 3.** Bioaerosoli: a) spore fungi, b) spore plesni, c) fungi

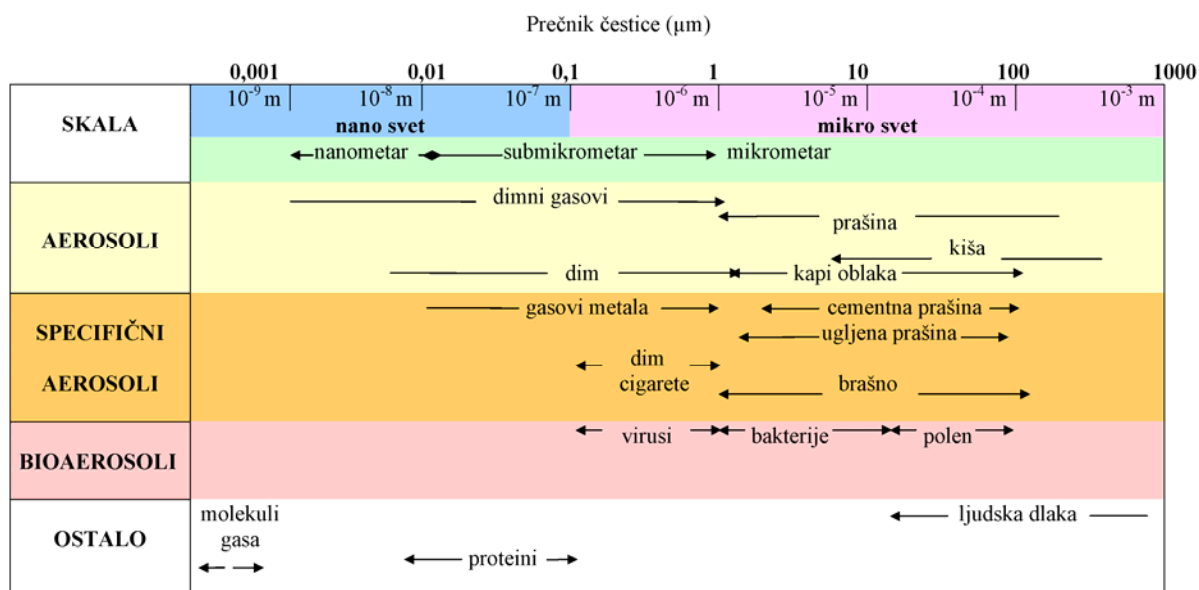
Kad je reč o obliku čestica, on zavisi od prirode prisutnih čestica. Dok tečnosti teže da oforme sferne kapi kao posledica površinskog napona, čvrste čestice mogu da imaju najrazličitiji oblik. One često imaju sklonost da aglomerišu formirajući nepravilne pakete sa razućenom unutrašnjom površinom [16]. Na primeru aerosola NaCl nastalog okeanskim kapljicanjem, slika 4. Ipo je ilustrovana moguća različitost oblika i aglomerata koji se formiraju u interakciji sa rastvaračem [17].



**Slika 4.** Moguće strukture aerosol čestice NaCl: a) neporozna čvrsta, b) porozna čvrsta, c) čvrsta sa otvorenim džepovima rastvorenog NaCl, d) čvrsta čaura sa vodenim jezgrom, e) čvrsta NaCl čestica sa jezgrom vodenog rastvora NaCl, f) vodena kapljica NaCl.

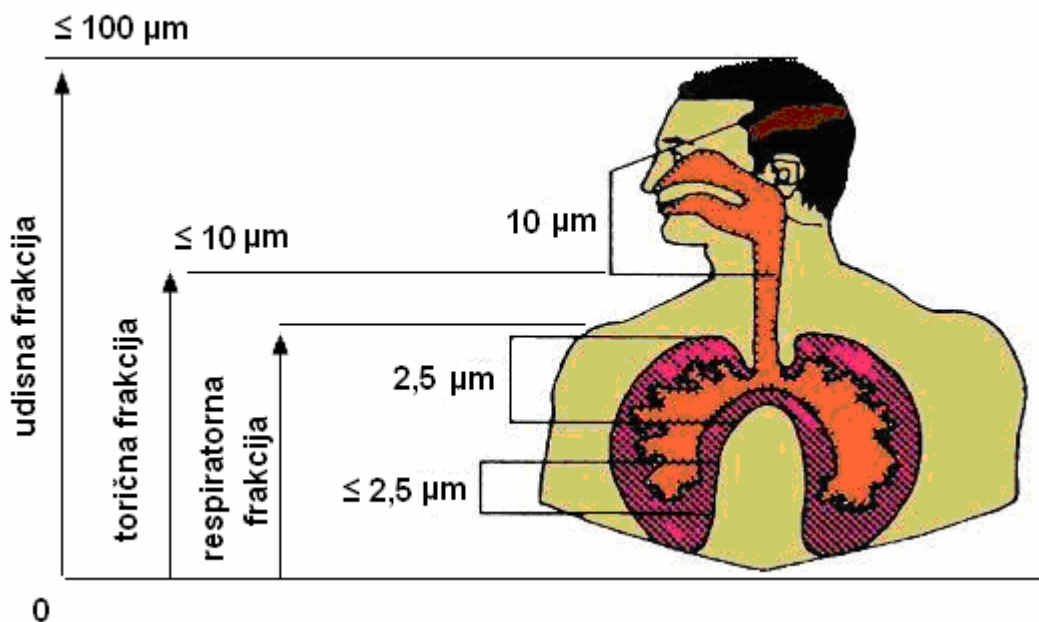
Linije na slikama predstavljaju adsorbovanu vodu.

Važno je razumeti procese nastajanja aerosola, rasta, stabilnost i hemijsku prirodu čestica u nosećem gasu, naročito u vazduhu, kao i njihov uticaj na klimu i zdravlje ljudi. Osobine aerosola zavise od veličine dispergovanih čestica, slika 5, [18] njihove hemijske prirode i koncentracije.



**Slika 5.** Veličine čestica aerosola

Što su sitnije čestice aerosola one više ugrožavaju čoveka pošto dublje prodiru u disajne puteve gde se akumuliraju izazivajući alergijske reakcije i druge respiratorne smetnje, pa čak i kancer. Sve čestice sitnije od  $100 \mu\text{m}$  mogu biti udahnute, i zovu se udisna frakcija (*inhalable fraction*). Čestice do  $10 \mu\text{m}$  se zadržavaju u gornjim disajnim putevima, dok čestice sitnije od  $2,5 \mu\text{m}$  prodiru duboko u pluća i akumuliraju se u alveolama, slika 6. Toksične materije se često adsorbuju na površini čestica aerosola i tako dospevaju u ljudski organizam, [19-21].



**Slika 6.** Šematski prikaz penetracije aerosola u respiratorne organe čoveka

Aerosoli ponekad pokazuju neočekivano ponašanje i pored niske koncentracije u odnosu na ogromnu zapreminu kontinualne gasne faze. Ti su fenomeni poznati iz heterogene katalize gde međusobni kontakt sitnih čestica može da prouzrokuje specifičnu hemijsku ili fizičko-hemijsku reakciju [22, 23]. Na ovaj način se formiraju sekundarni aerosoli kod atmosferskih aerosola.

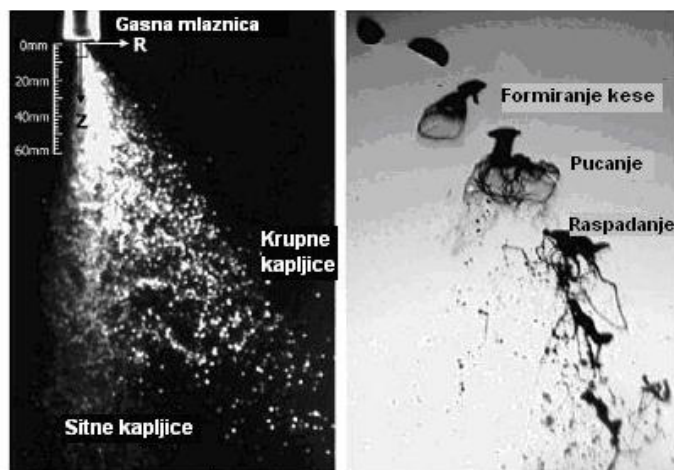
Zbog svog značajnog uticaja na klimu nesumnjivo su najinteresantnija istraživanja atmosferskih aerosola, te prema tome možda i najobimnija. Atmosferski aerosoli mogu imati direktni i indirektni uticaj na klimu, kako lokalno tako i globalno. Direktni uticaj se ogleda u smanjenju vidljivosti, formiranju magle ili fotohemijskog smoga (slika 1. a i b), a indirektni u interakciji sa različitim komponentama koje mogu da imaju uticaj na temperaturu okoline. Indirektni uticaj atmosferskih aerosola je mnogo kompleksniji. Smatra se da neke komponente aerosola utiču na formiranje oblaka i nukleusa leda u njima [7, 22, 24-33], što može izazvati lokalne nepogode, pa čak i katastrofične situacije, poplave, snežne nanose. Sve ovo opravdava velika ulaganja u eksperimentalne tehnike za ispitivanja osobina i ponašanja aerosola [34-36]. Prilikom ispitivanja aerosola sa dispergovanom tečnom fazom usložnjava se fenomen time što je simultano prisutno više različitih tečnosti kao što su voda, organske složene smeše, goriva i slično. Pored toga, tečne kapi se nalaze zajedno sa čvrstim česticama različite hemijske prirode i morfologije, a mogu biti istovremeno prisutni i bioaerosoli. Prisustvom tečnosti u sistemu je prisutno više ili manje

intenzivno isparavanje, ili pak kondenzacija. U tako složenoj sredini merne tehnike koje prate sadržaj vlage još uvek nisu u stanju da daju pouzdane rezultate. Udeo isparavanja i prisustvo vlage u ovakvim sistemima je, naravno uslovljeno kako radnim uslovima, temepraturom, pritiskom, vlagom tako i prirodom tečne faze [37-40].

Iz grupe aerosola sa dispergovanom tečnom fazom najveći deo istraživanja je usmeren na proučavanje aerosola vode [41-45]. To je i razumljivo jer je fenomen široko rasprostranjen i primenljiv kako na formiranje oblaka, ponašanje kišnih kapi, tako i kod okeanskog kapljičanja, kao i na čitav niz tehnoloških operacija kao što su isparavnje, sušenje, absorbcija, aeracija, degazacija [46-48]. Posebnu grupu čine istraživanja u kojima je dispergovana faza organska, najčešće kao čista supstanca ili smeše organskih jedinjenja kao što su tečno gorivo ili ulje [49-54].

Radovi koji se bave dispergovanjem goriva i isparavanjem njihovih kapi imaju za cilj da formiraju validne matematičke modele koji bi mogli uspešno da simuliraju ovaj proces. Svrha može da bude višestрана, kako za ispitivanje i testiranje novih goriva, tako i za razvoj novih dizni i motora radi ekonomičnijeg iskorišćenja goriva u cilju niže potrošnje ili manje emisije u atmosferu [55-57].

Značajan broj radova koji se bavi proučavanjem sistema sa dispergovanom tečnom fazom usmeren je na atomiziranje tečnosti u cilju formiranja aerosola. Istraživanja u ovoj oblasti usmerena su ka razvoju novih mlaznica i tehnika za formiranje aerosola (spreja) željenih karakteristika i utvrđivanju korelacija između osobina tečnosti i veličina formiranih kapi, slika 7. [58-62].



**Slika 7.** Dezintegriranje mlaza i nastalih kapi

Istraživanja aerosola sa dispergovanom čvrstom fazom su zastupljenija kako u naučnoj literaturi, tako i u razvoju eksperimentalnih tehnika. U ovoj grupi aerosola mogu se javljati problemi uzrokovani površinskim pojavama kao što su aglomeracija usled lepljivosti čestica, adhezija, zatim higroskopnost, abrazivnost i slično. Čini se da naučnu pažnju u ovom trenutku najviše intrigira prostiranje čestica različitih veličina, kao i interakcija praškastih aerosola u atmosferi sa ostalim komponentama i njihov uticaj na lokalne i globalne promene klime i zdravlje ljudi [63-65]. Za praškaste sisteme postoji značajna ponuda standardizovanih testova za separaciju filtracijom, mebranama i slično.

Primena elektrostatičkih precipitatora za uklanjanje čvrstih čestica je česta metoda, polazeći od činjenice da su neke čestice već naelektrisane, dok se druge lako naelektrišu u određenim okolnostima. Pojedina istraživanja su usmerena ka načinima postizanja naelektrisanja kod neutralnih čestica [66-68].

U novijoj literaturi bitna grupa istraživanja jeste kontrolisano dobijanje aerosola u laboratoriskim uslovima i osmišljavanje eksperimenata za praćenje njihovog ponašanja u različitim okolnostima. Postoje poteškoće da se eksperimentalno simuliraju uslovi nastanka i prostiranja aerosola kako bi njihove osobine i ponašanje odgovarali realnim uslovima. Širok spektar čestica aerosola prisutnih istovremeno, udruženih sa efektima promene temperature, vlage, prisustva vazdušnog strujanja otežava osmišljavanje validnih ogleda. Kada se uslovi pojednostave, tada se može dobiti pogrešna slika fenomena [69-73].

Poznavanje osobina i fenomena kod aerosola našlo je i komercijalnu primenu u proizvodnji sprej-sušenih proizvoda, optičkih vlakana, pigmenata kao i uređaja za distribuiranje pesticida i mnogih drugih proizvoda [74-80]. Na bazi znanja o načinu prostiranja aerosola danas se razvijaju terapijski aerosoli koji se koriste za tretman respiratornih i drugih oboljenja [81-82].



## SREDSTVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE I NJIHOVI AEROSOLI

U toku brojnih operacija obrade metala, kao što su: struganje, bušenje, brušenje, dolazi do zagrevanja i trošenja površina na mestu kontakta alata i predmeta koji se obrađuje. Posledica toga je skraćenje veka trajanja alata, smanjenje produktivnosti mašine alatke na kojoj se vrši obrada, dobijanje nezadovoljavajućeg oblika i kvaliteta površine kao i povećanje potrošnje energije. Da bi se smanjili ovi negativni efekti kod većine procesa obrade metala koriste se sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHP), slika 8. [83-85].



**Slika 8.** Primena SHP sredstava

Kako odnos razvijene toplote i intenziteta trošenja kod različitih obrada površina nije jednak, razvijeno je više tipova SHP sredstava sa različitim stepenom uticaja na proces odvođenja osobođenje toplote (hlađenje) i smanjenja trenja (podmazivanje) [86]. Agencija za bezbednost i zdravlje na radu američkog ministarstva za rad „*Occupational Safety and Health Administration-OSHA*“ je SHP sredstva podelila u četiri grupe i to [87] :

- čista ulja (*straight oils*),
- rastvorna ulja (*soluble oils*),
- polusintetičke tečnosti (*semi-synthetic fluids*),
- sintetičke tečnosti (*synthetic fluids*).

Čista, neemulgujuća, ulja koriste se u onim procesima obrade metala u kojima SHP sredstva imaju prvenstveno funkciju podmazivanja i podnošenja visokih

pritisaka, kao i kada je potreban visok kvalitet obrađenih površina. Ona se koriste i kod obrade teško obradivih, legiranih i termički obrađenih čelika [86].

Rastvorna ulja, polusintetička i sintetička SHP sredstva namešavaju se sa vodom. Rastvorna ulja i polusintetička sredstva grade sa vodom emulzije, dok sintetička sredstva grade rastvore. Ove tri grupe se najčešće koriste prilikom obrade metala različitim postupcima skidanja strugotine. Razvoj i široko područje njihove primene proistekao je iz potrebe za kontrolom visine temperature alata i radnog komada u zonama kontakta. Koriste se u svim procesima obrade u kojima su visoke brzine rezanja i relativno niski pritisci na kontaktnim površinama [87].

Rastvorna, emulziona, ulja proizvedena su na bazi mineralnih ulja, sa udelom većim od 60 % vol.

Polusintetičke tečnosti su takođe na bazi mineralnih ulja, ali je njihov udeo manji od 60% vol, dok su ostale komponente sintetičke prirode. To su SHP sredstva širokog spektra primene, jer osim izvanrednih karakteristika hlađenja i odvođenja strugotine, imaju i dobru karakteristiku podmazivanja. Njihov nedostatak je što zbog visokog sadržaja emulgatora imaju svojstvo delimičnog emulgovanja lutajućih ulja koja su istekla iz hidrauličnog sistema za podmazivanje.

Sintetičke tečnosti ne sadrže mineralna ulja, već su to proizvodi na bazi rastvornih organskih i neorganskih soli [85-87], a koriste se uglavnom u procesima bušenja kada svojstvo podmazivanja nije od posebnog značaja

Nedostatak SHP sredstava koja se koriste sa vodom, a naročito onih na bazi ulja, je ograničen vek korišćenja zbog bakteriološke razgradnje. Emulzije predstavljaju idealnu sredinu za razvoj aerobnih i anaerobnih bakterija. Prve se množe u toku rada, a druge za vreme mirovanja sistema za hlađenje. Konvencionalan pristup ovog problema korišćenjem baktericida širokog spektra pokazao se kao neefikasan, jer bakterije vremenom postaju rezistentne. Danas se ovaj problem rešava proizvodnjom biostabilnih emulzija, finih disperznih sistema sa česticama ulja veličine 0,05 do 1  $\mu\text{m}$ . Ovaj tip mikroemulzija sadrži biostabilna jedinjena bora (0,08 %), koja imaju blaga aseptična dejstva i ne uništavaju mikroorganizme već usporavaju njihovu deobu i rast. Tako je mehanizam razmnožavanja i odumiranja bakterija izbalansiran sa ravnotežnim sadržajem od  $10^3$  do  $10^6$  bakterija/ml emulzije, što je znatno manje od kritičnog

dozvoljenog broja ( $5 \times 10^7$  bakterija/ml) [86, 88]. Ove mikroemulzije dobijaju se kombinacijom različitih tipova disperzanata i anjonskih emulgatora [86]. Mikroemulzije sa sadržajem ulja između 5 i 10 % pokazuju odličnu otpornost na bakterije, ali su, nažalost, jako osetljive na gljive i plesni. Ukoliko je sadržaj uljne komponente veći od 30 % javlja se njihova bakteriološka nestabilnost [85].

Pored svog osnovnog zadatka da obezbede dobro hlađenje i podmazivanje u zoni kontakta alata i metalne površine koja se obrađuje, SHP sredstva imaju i antikorozivnu ulogu kao i ulogu u ispiranju strugotine. Zato, ovi fluidi pored svog kompleksnog hemijskog sastava sadrže emulgatore i aditive različite prirode, kao što su površinski aktivne materije (PAM), antikorozivna sredstva, stabilizatori, biocidi, antipenušavci i drugo, tabela 1. [89].

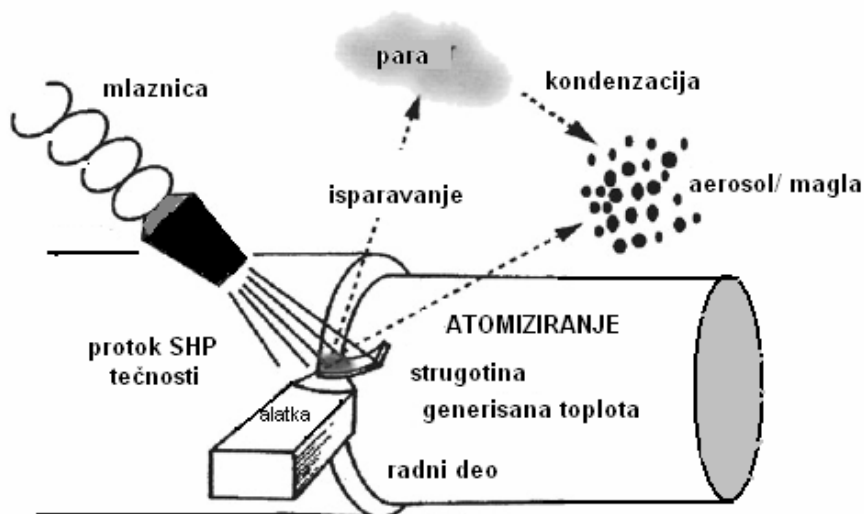
**Tabela 1.** Dodaci u SHP sredstvima

<b>I EMULGATORI</b>	<p><b>anjonski emulgatori:</b> soli sulfonske kiseline, karbonske kiseline, etri fosforne kiseline, sarkozin</p> <p><b>katjonski emulgatori:</b> soli amida masnih kiselina, kvaternarne amonijačne soli</p> <p><b>nejonski emulgatori:</b> poliglikol etri, alkoholi, fenoli, masne kiseline, masni amini</p>
<b>II ANTIKOROZIVNI ADITIVI</b>	<p>nitriti, borati, amidi i estri borne kiseline, p-terc.butil benzolova kiselina, karbonske i dikarbonske kiseline, N-acilsarkozin, sulfonamido karbonske kiseline, alkanolamidokarbonske kiseline</p>
<b>III BIOCIDI</b>	<p>Fenoli, hlorfenoli, formaldehid, tirazini i derivati kvaternarnih amonijačnih soli</p>
<b>IV EP- ADITIVI</b> ( EP- extra pressure)	<p>Polialkilenglikoli, estri fosforne kiseline iz etoksilovanih alkohola, hlorovani parafini, sumporna jedinjenja</p>

SHP sredstava, iako, imaju pozitivne efekte na ekonomičnost procesa obrade metala, predstavljaju izrazito opasne materije i zagađivače kako radne tako i životne sredine. Stoga je neophodno dobro upravljati SHP sredstvima kako

svežim tako i otpadnim [90, 91]. Jedan od ključnih problema kod njihove upotrebe je sakupljanje i tretman otpadnih SHP sredstava [89, 92]. Drugi, ne manje bitan, problem je kontamiranje vazduha radne sredine kao posledica generisanja aerosola/magle u gotovo svim procesima obrade metala [93-98].

Upotrebom SHP sredstava u većini procesa obrade metala, dolazi do formiranja aerosola, slika 9.



**Slika 9.** Mehanizmi nastajanja aerosola primenom SHP sredstava

Thornburg i Leith su uočili tri mehanizma (načina) kojima se formira aerosol u ovim procesima [99, 100], i to su :

- udarom (*impaction*),
- centrifugalnom silom,
- isparavanjem/kondenzacijom.

Formiranje aerosola udarom se dešava kada tečnost koja ističe iz mlaznice udari o površinu i dođe do njenog odbijanja i rasprašivanja u vidu kapljica. To se dešava na mestu nanošenja SHP sredstva. Osobine formiranog aerosola ovim mehanizmom zavise pre svega od tipa mlaznice i brzine napajanja.

Centrifugalnom silom se formira aerosol od tečnosti koja pokriva površinu rotora. Količina formiranog aerosola zavisi od oblika rotora, kao i njegove od radne brzine. Formirane kapi se kreću od 10  $\mu\text{m}$  do 1  $\mu\text{m}$  [101].

SHP sredstvo može da ispari kao posledica oslobađanja toplote prilikom mašinskih operacija, i da zatim kondenzuje hlađenjem vazduhom. Ovim mehanizmom se formiraju najsitnije kapi, i to od 1  $\mu\text{m}$  do 0,1  $\mu\text{m}$ .

Prisustvo ovakvog aerosola/magle u radnoj atmosferi hala metaloprerađivačke industrije zbog svoje specifične hemijske prirode i mikronskih veličina kapi aerosola predstavlja opasnost po zdravlje radnika. Ovakav aerosol je iritirajući za kožu, oči, nos i ždrelo. Veće kapi koje mogu biti udahnute kroz nos (10  $\mu\text{m}$  –100  $\mu\text{m}$ ), dospevaju u usnu duplju odakle bivaju progutane, dok sitnije kapi (< 10  $\mu\text{m}$ ) disajnim putevima dospevaju do pluća gde se deponuju, slika 6. [99]. Epidemološke studije su pokazale da izloženost ovakvom aerosolu poznatom u industriji kao zauljena magla može izazvati astmu, bronhijalnu hiperreaktivnost, lipidnu pneumoniju, dermatitis pa čak i rak pluća ili ždrela [102, 103]. Uticaj ovog aerosola na zdravlje ljudi zavisi od više faktora, kao što su vreme i učestalost izloženosti opasnoj materiji, osetljivost radnika, priroda prisutnih hemikalija i naravno, distribucija veličina kapi/čestica aerosola [104].

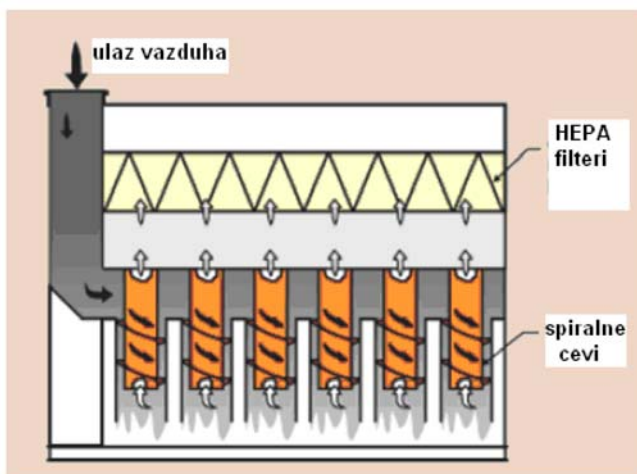
Sa ciljem da se poveća zaštita na radu i obezbedi zdravije i sigurnije radno okruženje, Agencija za bezbednost i zdravlje na radu američkog ministarstva za rad „*Occupational Safety and Health Administration-OSHA*“ je prva propisala dozvoljenu granicu izloženosti ovakvoj vrsti aerosola (magli mineralnog ulja) u vazduhu koja iznosi 5  $\text{mg}/\text{m}^3$  uprosečeno na osmočasovni radni dan [87]. Međutim, „*Environmental Protection Agency- EPA*“ shvatajući značaj veličine čestica u aerosolu, uvela je kroz svoje standarde ograničenja za količinu aerosola određene veličine čestica koje ga čine i to za čestice sitnije od 10  $\mu\text{m}$  PM10 i sitnije od 2,5  $\mu\text{m}$  PM2.5 (*PM- Particulate Matter*), umesto ukupnu količinu aerosola [105-107]. Promena ka regulisanju količine sitnijih aerosola je uslovljena njihovim dužim zadržavanjem u vazduhu, kao i njihovim dubljim prodiranjem u disajni sistem čoveka. Veličina čestica i raspodela veličina su bitne osobine aerosola koje određuju njegovo ponašanje, toksikološke efekte kao i mesto njihove dispozicije, i/ili nagomilavanja u respiratornom traktu. Internacionalna organizacija za standarde, ISO, je definisala čestične frakcije u odnosu na tri regiona respiratornog trakta: udisna frakcija (<100 $\mu\text{m}$ ), torična frakcija (<10 $\mu\text{m}$ ), i respiratorna frakcija (4  $\mu\text{m}$ ) [94, 102]. Kako bi se smanjila izloženost aerosola udisne frakcije, količina generisane magle mora se ili smanjiti, ili kapi koje se formiraju moraju biti krupnije.

Da bi se koncentracija SHP aerosola u radnoj atmosferi spustila na dozvoljenu granicu, proizvode se poluzatvorene i zatvorene mašine alatke, slika 10. [101, 108, 109], koje imaju lokalni ili centralni ventilacioni sistem.



**Slika 10.** Zatvorene mašine alatke

Ovakvi ventilacioni sistemi moraju imati adekvatne filtre koji bi sprečili da se kontaminacija širi u radnom prostoru, kao u širu okolinu, slika 11., [110].



**Slika 11.** Spilarni kolektor SHP aerosola

Filtracija SHP aerosola, koji pored čestica prašine i sitnih ostataka metala sadrže i kapi tečnosti, čak manjih od  $1\mu\text{m}$  [111], je kompleksna. U zavisnosti od pritiska, temperature i vlage u ventilacionom vodu, kapi mogu da ispare sa filtra i da se vrate u radnu sredinu [112].

Pored uvođenja zatvorenih i poluzatvorenih mašina alatki radi se i na razvijanju novih aditiva koji bi smanjili podložnost SHP sredstava da lako atomiziraju i isparavaju stvarajući aerosol, a da pri tome ne menjaju bitno radne osobine [113].

Najveći broj istraživanja o SHP aerosolima rađena su od strane General Motors-GM istraživačkog tima. Oni su dali značajna zapažanja vezana za formiranje aerosola od SHP sredstava u industrijskim uslovima [96, 101, 111, 114]. Između ostalog, ispitivali su uticaj koncentracije ulja u emulziji u intervalu od 0-10 % pri operaciji glodanja aluminijuma. Konstatovali su da porastom koncentracije ulja raste masena koncentracija aerosola, kao i veličina kapi. Autori su porast masene koncentracije objasnili time da voda iz aerosola isparava, a nevodeni deo ostaje da formira aerosol. Što je više nevedenog dela to je veća masena koncentracija aerosola. Pojavu da porastom koncentracije ulja u vodenim SHP emulzijama, raste veličina kapi pored GM grupe uočili su još neki autori, kao što su Chan, Sun, Michalek, Sutherland [100, 115]. Sun i saradnici su ovu pojavu objasnili polazeći od pretpostavke da je svaka kap aerosola emulzija, pa tako što je veća koncentracija uljne faze veća je i kap koja ostane posle isparavanja vodene faze [115].

U industrijskim uslovima prisutan je veliki broj faktora čime je značajno otežano donošenje generalnih zaključaka o fenomenima koji se dešavaju. Iz tog razloga, značajna su istraživanja u kontrolisanim, laboratorijskim uslovima. Nažalost ovakvih istraživanja u literaturi ima malo [94, 115, 116].

## ATOMIZIRANJE TEČNOSTI

### Uvod

Formiranje spreja je jedan od ključnih procesa koji utiče na karakteristike brojnih operacija u industriji. Njegovo formiranje je važno kod: sprej sušenja, sprej hlađenja, sistema sa sagorevanjem, u poljoprivredi, kod raspršavanja boja i lakova, proizvoda široke potrošnje, protivpožarnih sistema, [117, 118].

Dok je u nekim procesima cilj dobijanje što sitnijih kapi naročito kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem, gde je prenos mase i toplote dominantan, u drugim je važno proizvesti što krupnije kapi, kao što je slučaj u poljoprivredi, u nekim procesima potrebno je postići uniformnost veličine kapi: boje i lakovi, farmaceutski proizvodi, sprej sušenje. Osobine nastalog spreja zavise od mnoštva faktora, kao što su način formiranja, fizičko-hemijske osobine tečnosti od koje se sprej formira, uslova okruženja. U želji da se utiče na osobine formiranog spreja, neophodno je dobro razumeti proces njegovog formiranja [117, 119]. Atomiziranje je transformisanje tečnosti u mnoštvo kapljica koje čine sprej. Ova transformacija se naziva primarno atomiziranje i nastaje kao posledica pojave nestabilnosti na površini tečnosti izazvane delovanjem spoljašnje sile, kao što je: centrifugalna, aerodinamička, gravitaciona, i druge. Nakon primarnog atomiziranja tečnosti, formirane kapi mogu dalje da se raspadnu sekundarnim atomiziranjem, ili da ispare, da kondezuju, da kolebiraју ili pak da sagore.

Atomiziranje tečnosti nastaje kao rezultat interakcije između tečnosti (dispergovane faze) i okolnog medijuma (kontinualne faze) [120]. Dezintegrisanje tečnosti nastaje kada sila površinskog napona tečnosti biva nadjačana razarajućim silama koje deluju na tečnost. Sila površinskog napona teži da zadrži tečnost u formi minimalne površinske energije, dok viskoznost stabilizuje tečnost nastojeći da se odupre promeni geometrije tečnosti. Spoljašnje sile, kao što su aerodinamička sila, centrifugalna sila, elektrostatička, i druge delujući na površinu tečnosti mogu izazvati deformaciju tečnosti, koja pod određenim uslovima može da se toliko pojača da dovede do njenog dezintegriranja, do primarnog atomiziranja. Kapi nastale primarnim atomiziranjem mogu biti nestabilne, te se mogu dalje raspadati, atomizirati. Ovaj tip atomiziranja se naziva sekundarno atomiziranje.



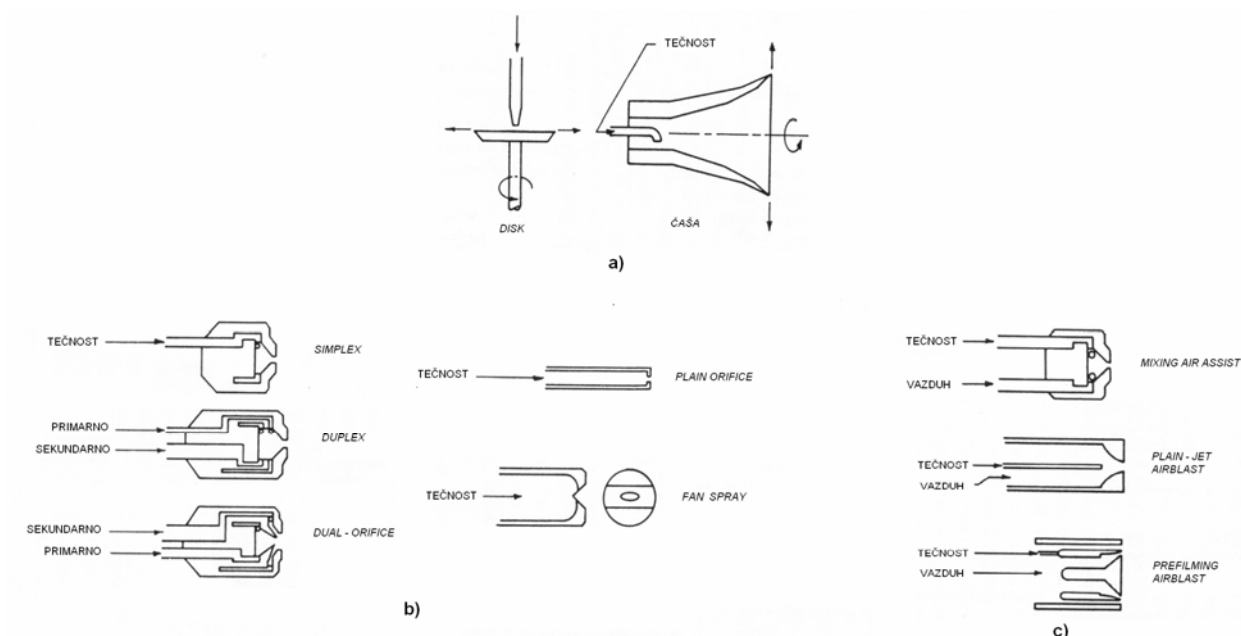
Istaživanja vezana za atomiziranje u publikovanoj literaturi su najviše fokusirana na atomiziranje goriva, različitim mlaznicama [19, 20], kao i u poljoprivredi za razvoj novih tehnika raspršivanja pesticide [118]. Druga grupa istraživanja fokusirana je na atomiziranje različitih tečnosti u cilju proizvodnje praškastih proizvoda, dominatno u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji [72, 78-80]. Tečnosti čije se atomiziranje proučava mogu biti čak i rastopi metala.

Kada je reč o atomiziranju emulzija onda gotovo da fundamentalnih istraživanja i nema. Neki autori su uočili da postoji uticaj koncentracije ulja u vodenim emulzijama na osobine formiranog aerosola, ali je on nedovoljno teorijski objašnjen.

Broniarz-Press i saradnici su ispitivali aerosol nastao atomiziranjem koncentrovane stabilne mineralne emulzije 20-80 % pomoću "twin-fluid" atomizera [16]. I oni su uočili da porastom koncentracije ulja u emulziji, za posmatrani opseg, raste veličina kapi aerosola dato preko "Sauter mean diameter", SMD, prečnika. Ovu pojavu autori su objasnili povećanjem viskoznosti emulzije i ispitivanih ulja.

### Atomizeri

Sprej može nastati na različite načine, međutim ono što je zajedničko za sve postupke je da mora da se obezbediti dovoljno velika relativna brzina između tečnosti koja se atomizira i okolnog gasa da bi došlo do dezintegracije tečnosti i formiranja spreja. Kod nekih atomizera se to postiže tako što se tečnost ispušta velikom brzinom u relativno mirnu struju gasa,  $v_{tečnosti} \gg v_{gasa}$ . Atomizeri koji rade na ovom principu su „atomizeri pod pritiskom“ (*pressure atomizers*) i „rotirajući atomizeri“ (*rotary atomizers*), slika 12, [122]. Drugi način da se postigne visoka relativna brzina između tečnosti i gasa je kada je tečnost koja sporo struji izložena velikoj brzini struje vazduha,  $v_{tečnosti} \ll v_{gasa}$ . Na ovom principu rade atomizeri poznati kao „dvostruki fluid“ (*twin fluid*), „vazdušni atomizer“ (*air assist*) i „vazdušni mlazni atomizer“ (*air blast*) [123].



**Slika 12.** Atomizeri: a) rotirajući, b) pod pritiskom i c) dvofluidni

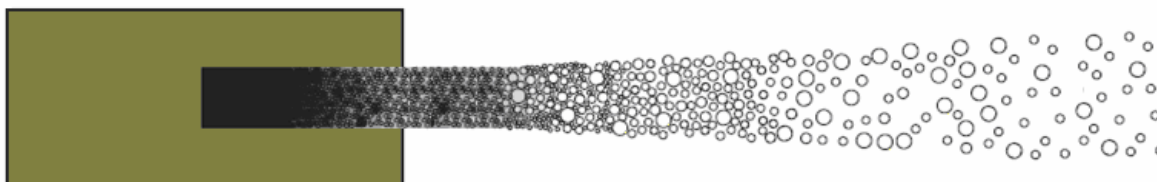
Pored ovakve podele atomizera, neki autori [124] su podelu izvršili na osnovu toga da li kroz atomizer struji jedan fluid (tečnost) ili pak dva fluida (tečnost i gas). Na osnovu ove podele opet bi „atomizeri pod pritiskom“ i „rotirajući atomizeri“ bili u istoj grupi i to grupi „jednofluidnih atomizera“, dok bi u grupi „dvofluidnih atomizera“ bili sve ostali gore navedeni atomizeri.

Najširu primenu imaju do sada navedeni atomizeri, međutim pored njih postoje i drugi tipovi atomizera koji imaju svoju specifičnu namenu. Neki od njih su: elektrostatički atomizeri, ultrasonični atomizeri, zvučni atomizeri i vibracioni atomizeri.

### *Atomizeri pod pritiskom*

Atomiziranje tečnosti atomizerima pod pritiskom je, za sigurno, jedna od najčešće korišćenih tehnika. Ovaj način bi se mogao nazvati hidrauličko atomiziranje. Tečnost kao kontinualna struja izlazi velikom brzinom u zapreminu vazduha i zbog velikog trenja dolazi do njene dezintegracije slika 13., razbija se inicijalno u fragmente, a zatim u kapi ili odmah u kapi što je uslovljeno kako

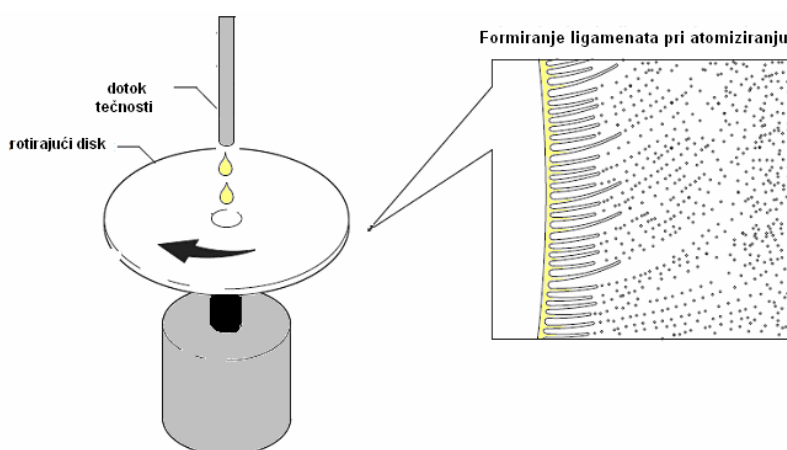
osobinama tečne faze, tako i pritiskom tečnosti. Izvor energije za ovakvo atomiziranje jeste pritisak tečnosti koji se konvertuje u kinetičku energiju koja ubrzava tečnost do brzina koje su veće od brzine strujanja okolnog fluida, i na taj način se postiže visoka vrednost relativne brzine.



**Slika 13.** Dezintegrisanje mlaza primenom atomizera pod pritiskom

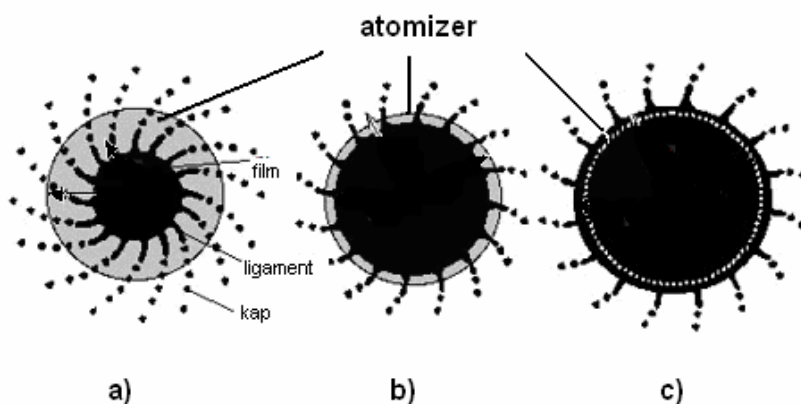
### ***Rotirajući atomizeri***

Atomiziranje rotiranjem predstavlja atomiziranje centrifugalnom silom. Postoji više mogućnosti atomiziranja rotiranjem. Rotirajući element tj. atomizer, može da bude horizontalan ili vertikalni [125]. Jedna od mogućnosti je da postoji horizontalna površina koja rotira i da se u centar tog rotirajućeg diska dozira tečnost koja se raspršuje u okolinu, slika 14. Rotirajuća površina pored ravnog diska može da bude i propelerski disk, rotor koji je gladak ili ima ispupčenja, ili pak rotirajući pehar (čša) [126, 127].



**Slika 14.** Atomiziranje centrifugalnom silom kod rotirajućeg atomizer  
„rotary atomizer“

Kada se tečnost dovodi malom brzinom, tada se sa ivice površine diska direktno otkidaju kapi, slika 15. a), dok pri većim brzinama, gde je količina dovedene tečnosti znatno veća, dolazi do otkidanja ligamenata, slika 15. b), ili filma tečnosti, slika 15. c), od kojih kasnije nastaju kapi.



Slika 15. Šematski prikaz tri dezintegracijska režima: a) direktno formiranje kapi, b) formiranje ligamenata i c) formiranje filma tečnosti

### **Faktori koji utiču na atomiziranje**

Formiranje spreja počinje još u samom atomizeru, gde dolazi do pojave nestabilnosti u tečnosti, što na kraju ima kao rezultat njenu dezintegraciju. Poremećaji tj. nestabilnosti se kroz tečnost prenose u vidu talasa, čiji se intenzitet pojačava sve do dezintegracije. Talasi su definisani talasnom dužinom, amplitudom i frekvencijom oscilovanja, što je kod ovih talasa uslovljeno radnim uslovima atomizera. Sa druge strane osobine tečnosti mogu da uspore ili čak inhibiraju prostiranje i razvoj ovih talasa i na taj način da smanje ili pak potpuno spreče dezintegrisanje date tečnosti. Tako način dezintegracije zavisi, kako je već istaknuto od geometrije atomizera, radnih uslova i naravno od osobina tečnosti.

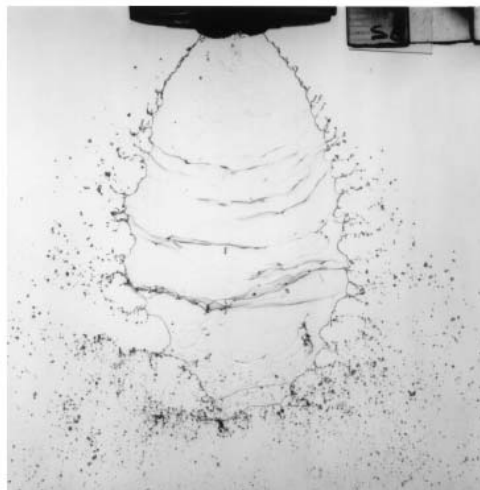
### ***Geometrija atomizera***

Od oblika elementa za doziranje tečnosti zavisi da li će biti formiran mlaz, ili film, slika 16. [128]. Mlaz se formira kroz kružne mlaznice različite geometrije,

slika 17., dok se film formira kroz pravougaone proreze ili zazole između dva diska [129].



a)



b)

**Slika 16.** Primer: a) mlaza i b) filma tečnosti



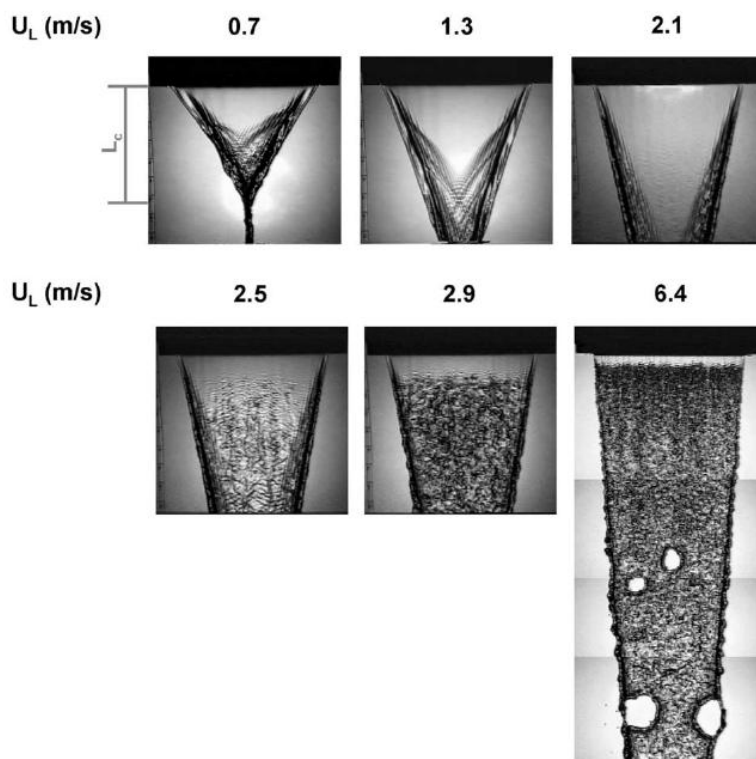
**Slika 17.** Mlaznice

Kod „*plain-orifice pressure nozzle*“ i „*plain-jet airblast*“ atomizera najvažnija karakteristika atomizera je krajnji otvor, odnosno izlaz mlaznice koji određuje debljinu mlaza. Dok kod „*pressure-swirl*“, „*rotary*“, and „*prefilming airblast*“

na debljinu formiranog tečnog filma pored geometrije atomizera utiču i njegovi radni uslovi. Debljina mlaza i filma su ključne veličine kod atomiziranja. Eksperimentalno je potvrđeno da je srednji prečnik formiranih kapi približno proporcionalan kvadratnom korenu prečnika mlaza tečnosti odnosno debljine filma.

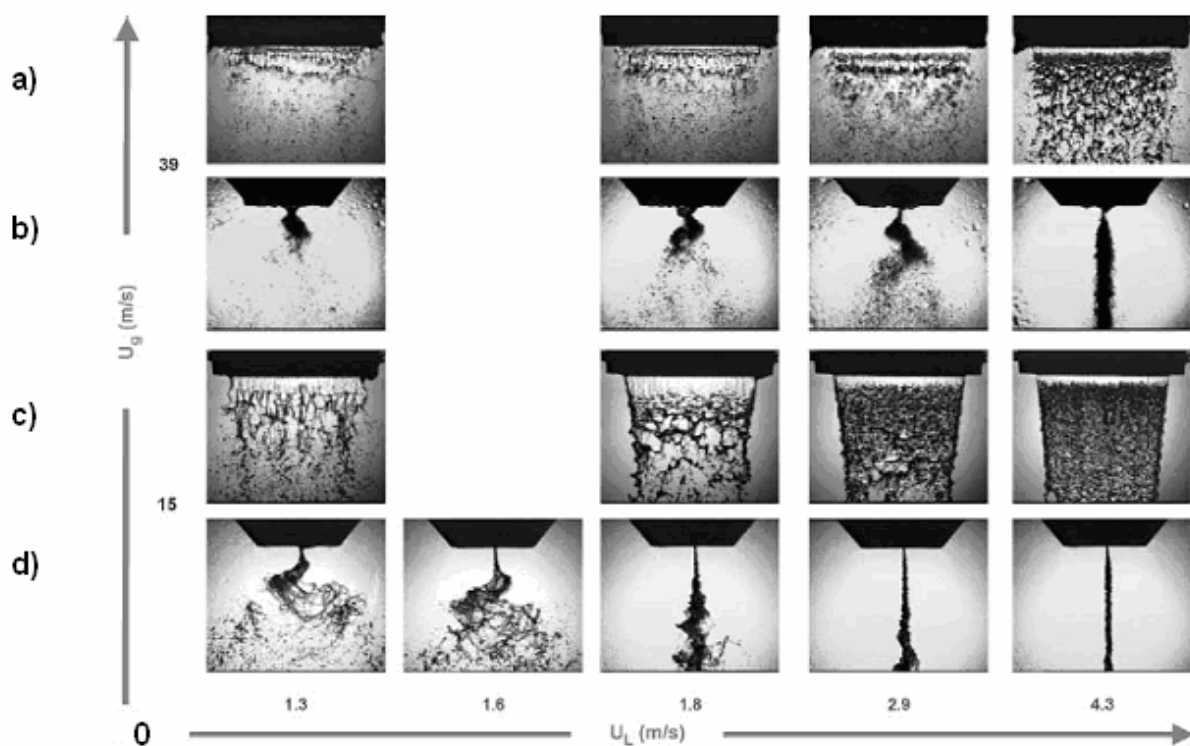
### Radni uslovi

Radni uslovi određuju relativnu brzinu između fluida koji se atomizira i okolnog gasa. Kod „jednofluidnih atomizera“ pritisak napajanja tečnosti je taj radni uslov koji određuje brzinu kojom će tečnost izaći iz atomizera u okolinu, dok su kod „dvofluidnih atomizera“ to kako brzina tečnosti, tako i brzina gasa kojim se vrši atomiziranje. Što je brže isticanje tečnosti iz „jednofluidnih atomizera“ to su nestabilnosti intenzivnije, pa je time i dezintegrisanje brže, *slika 18*.



**Slika 18.** Stepen dezintegriranosti tečnosti u zavisnosti od izlazne brzine tečnosti ( $U_L$ - brzina tečnosti)

Na osnovu prakse primećeno je da se gotovo kod svih atomizera povećanjem relativne brzine ubrzava razvoj nestabilnosti što dovodi do formiranja sitnijih kapi. Ovo su lepo ilustrovali Carvalho i saradnici, prikazom tečnog filma (sa prednje i bočne strane) u zavisnosti od relativne brzine tečnosti i gasa kod dvofluidnog „air blast“ atomizera, slika 19. [130] Kao prelazni oblik dezintegracije tečnosti može se javiti ligament, ili pak film tečnosti. Da li će odmah nastati kapi, ili prvo ligamenti, ili film prevashodno zavisi od radne brzine tečnosti, slika 15. [131].



**Slika 19.** Dezintegrisanje tečnog filma u zavisnosti od relativne brzine  
a) i c) prednji snimak filma b) i d) bočni snimak filma

### ***Osobine tečnosti***

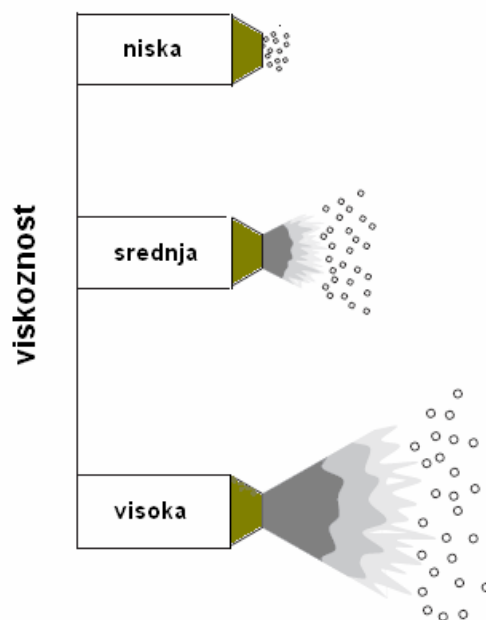
Osobine nastalog spreja su značajno uslovljene osobinama atomizirane tečnosti [132], i to pre svega gustinom, površinskim naponom i viskoznošću tečnosti.

U teoriji je postojalo mišljenje da se maseni protok kroz mlaznicu pod pritiskom menja sa kvadratnim korenom gustine tečnosti. Međutim, kako je Tate [133] istakao, u praksi je veoma retko moguće menjati gustinu tečnosti bez uticanja i na ostale osobine tečnosti. Zato se uticaj gustine mora pažljivo interpretirati. Značaj gustine na osobine atomiziranja je umanjen činjenicom da većina tečnosti ima zanemarljive razlike u vrednosti ove osobine. Sa druge strane, noviji raspoloživi izvori sve češće ukazuju da gustina ima zanemarljivo mali uticaj na srednji prečnik kapi, i da bi se njen uticaj mogao zanemariti [122, 132, 133].

Površinski napon predstavlja silu koja se odupire dezintegraciji tečnosti i na taj način stabilizuje fluid držeći ga u formi minimalne površinske energije. Minimalna energija potrebna za atomiziranje je jednaka površinskom naponu pomnoženom novonastalom aktivnom površinom tečnosti. Kod tečnosti višeg površinskog napona porast nestabilnosti je sporiji. Kad je reč o primarnom atomiziranju, Skoja tvrdi da bi tečnosti višeg površinskog napona formirale sprej sitnijih kapi u slučaju kada su relativne brzine male, dok kod većih relativnih brzina uticaj bi bio obrnut [124]. U slučaju sekundarnog atomiziranja kapi tečnosti višeg površinskog napona bi formirale krupnije kapi.

Osobina tečnosti koja po mišljenju većine autora najviše utiče na formiranje spreja i na njegove osobine jeste viskoznost. To je osobina fluida koja se odupire mešanju i razbijanju, tj. promeni geometrije tečnosti. Tečnosti više viskoznosti pri istim uslovima proticanja imaju niži Reynolds-ov broj od tečnosti niže viskoznosti, te je kod ovih tečnosti rast i razvoj nestabilnosti sporiji [122, 132]. Kao posledica toga dolazi do kasnijeg atomiziranja tečnosti, slika 20. Tako se atomiziranje tečnosti više viskoznosti dešava kasnije dok su nastale kapi gotovo uvek krupnije [122, 134]





**Slika 20.** Uticaj viskoznosti na dezintegrisanje tečnosti

Proces je nešto komplikovaniji kada su u pitanju nenjutnovske tečnosti, pogotovu viskoelastične. Razlog tome je viskoznost nenjutnovskih tečnosti koja je uslovljena brzinom smicanja, te često nije konstantna tokom atomiziranja. Kod njih je neophodno odrediti zavisnost viskoznosti od brzine smicanja. Elastičnost, viskozoelastičnih tečnosti, prigušuje poremećaje i nestabilnosti nastale u tečnosti inhibirajući njeno dezintegrisanje. Nenjutnovsko ponašanje tečnosti se uglavnom sreće kod boja i lakova, farmaceutskih i medicinskih sprejeva, lepkova, i polimera. Ovakve tečnosti se teško atomiziraju „jednofluidnim“ atomizerima [122, 124].

## **Oblici atomiziranja**

### ***Mehanizmi atomiziranja***

Kao što je već rečeno, atomiziranje tečnosti može da se postigne na više načina. U mnogim slučajevima fundamentalni fenomeni i principi su slični. Sa tačke gledišta početnog oblika rasute tečnosti, formiranje kapi može da se klasifikuje u sledeće osnovne „idealizovane“ mehanizme:

- kapljanje tečnosti,

- dezintegriranje slobodne površine tečnosti,
- dezintegriranje tečnog mlaza,
- dezintegriranje filma tečnosti,
- dezintegriranje ligamenata tečnosti.

Kapljanje tečnosti je najjednostavniji mehanizam formiranja kapi, često prisutan u prirodi, slika 21. Kod ovog mehanizma kapi se formiraju pod uticajem gravitacione sile otkidanjem tečnosti sa orošenih predmeta.



**Slika 21.** Primer kapljanja tečnosti u prirodi

Dezintegriranje slobodne površine tečnosti je mehanizam formiranja okeanskih sprejeva kao i magle vodopada, slika 22.



**Slika 22.** Primeri dezintegriranja slobodne površine tečnosti:  
a) okeanski sprej i b) magla vodopada.

Poznavanje mehanizama dezintegriranja tečnog mlaza ključno je za projektovanje „plan-orifice“ atomizera, koji imaju najširu primenu u dizel i raketnim motorima. Sa druge strane poznavanje mehanizma dezintegriranja filma tečnosti važno je za projektovanje rotirajućih atomizera sprej sušnica, kao i za osobine „pressure swirl“ i „prefilming air-blast atomizera“ koji imaju široku primenu u pećima za spaljivanje ulja i u gasnim turbinama [135].

Dezintegriranje ligamenata tečnosti može nastati kod „plain jet airblast“ atomizera industrijskih gasnih turbina, kao i kod rotirajućih diskova sprej sušnica. Ovaj mehanizam atomiziranja se može javiti kao prelazni oblik atomiziranja mlaza i filma.

Većina osnovnih mehanizama atomiziranja mogu formirati monodisperzne kapi praćene ponekom satelit kapi. Iako neki idealizovani mehanizmi mogu postojati u prirodi, uslovi za osnovne „idealizovane“ mehanizme atomiziranja vrlo retko postoje, pa je tako dezintegriranje sklono neuređenosti, što uslovljava širok opseg veličine nastalih kapi.

Formirane kapi mogu dalje da se usitne pod uticajem aerodinamičke ili neke druge sile. Da bi se bolje sagledali složeni uticaji koji su prisutni u nekim okolnostima atomiziranja neophodno je razumeti osnovne fenomene koji su do sada istraženi.

### ***Kapljanje tečnosti***

Kapljanje tečnosti je najelementarniji oblik atomiziranja. Ovaj mehanizam je poznat i kao statičko formiranje kapi i ono uključuje zapravo samo dve sile koje učestvuju u formiranju kapi. To su sila površinskog napona i gravitaciona sila. Kada tečnost polako ističe iz cevčice prečnika  $d_0$ , tada na nju deluju gravitaciona sila na dole i sila površinskog napona na gore. Određena masa tečnosti se otkine i otpadne formirajući kap, u trenutku kada gravitaciona sila nadvlada silu površinskog napona. Masa otkinute kapi  $m_D$  definisana je izrazom (1):

$$m_d = \left( \frac{\pi d_m \sigma}{g} \right) \quad (1)$$

gde je :  $d_m$  – prečnik cevčice iz koje ističe tečnost  
 $\rho_l$  – gustina tečnosti koja ističe

Dok je prečnik formirane kapi,  $d$ , dat sledećom jednačinom (2):

$$d = \left( \frac{6d_m\sigma}{\rho_l g} \right)^{1/3} \quad (2)$$

Tamada i Shiback [122] su izveli formulu (3) za veličinu kapi koja se otkida sa ravne horizontalne površine, slika 23., [136], kada je delovanje gravitacione sile i sile površinskog napona složeniije.

$$d = 3.3 \left( \frac{\sigma}{\rho_l g} \right)^{0.5} \quad (3)$$



**Slika 23.** Primer otkidanja kapi sa ravne horizontalne površine

Iako se često javlja u prirodi, jasno je da je ovaj mehanizam formiranja kapi, gravitacionom silom, neefikasan za praktičnu primenu, naročito kada su protoci visoki i kada se zahteva fino raspršivanje tj. atomiziranje tečnosti do veličine kapi u opsegu 1-300  $\mu\text{m}$ .

### Dezintegrisanje tečnog mlaza

Mlaz tečnosti se formira doziranjem tečnosti kroz mlaznice i predstavlja kontinualno telo tečnosti cilindričnog oblika. Dezintegrisanje mlaza tečnosti, pored prirode tečnosti uslovljeno je geometrijom mlaznice, pritiskom pod kojim se dozira tečnost ili brzinom kretanja tečnosti kroz nju, kao i brzinom kretanja gasa u koji se tečnost ubacuje [137, 138].

Još u devetnaestom veku Rayleigh (1878) [139] je među prvima teorijski proučavao dezintegrisanje mlaza tečnosti. On je pošao od jednostavne situacije, gde mlaz neviskozne tečnosti protiče u laminarnom režimu i izlazi kroz mlaznicu kružnog otvora u okolinu koja miruje. Na površini mlaza se javljaju oscilacije i nestabilnosti kao rezultat kohezivnih i dezintegrišućih sila. Kontinualna dužina mlaza neposredno pre njegovog dezintegrisanja kao i veličina nastalih kapi su važne osobine koje karakterišu proces dezintegrisanja. Kontinualna dužina mlaza oslikava brzinu rasta poremećaja, dok je veličina nastale kapi povezana sa talasnim brojem najnestabilnijeg poremećaja [140]. Nestabilnost koja će dovesti do dezintegrisanja tečnosti je ona koja prva dostigne optimalnu talasnu dužinu,  $\lambda_{opt}$ , koja je jednaka (4):

$$\lambda_{opt} = 4.51d_m \quad (4)$$

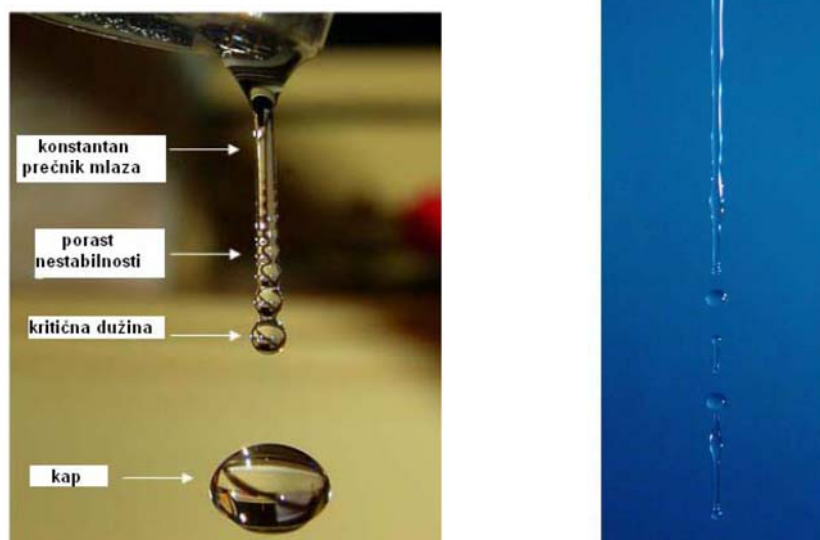
gde je:  $d_m$  - početni prečnik mlaza.

Nakon dezintegrisanja cilindra tečnosti, dužine  $4.51d_m$  nastaje sferična kap, slika 24. a), pa se odatle može izračunati prečnik nastale kapi,  $d$ , jednačinom (6):

$$4.51d_m \times \left(\frac{\pi}{4}\right)d_m^2 = \left(\frac{\pi}{6}\right)d^3 \quad (5)$$

$$d = 1.89d_m \quad (6)$$

Na slici 24. a), [136], je ilustrovano formiranje mlaza, porast nestabilnosti do kritične talasne dužine nakon čega dolazi do stvaranja kapi.



**Slika 24.** Primer mlaza i njegovih karakterističnih veličina

Postmatranje realnih mlazeva [131] pokazuje dobro slaganje sa ovom teorijom poznatom kao “Reyleih-eva teorija nestabilnosti mlaza”, ali uočava se prisustvo “satelit” kapi, koje nastaju otkidanjem pojedinačnih suženja mlaza. Tako je kranji rezultat atomiziranja formiranje krupnih kapi koje prati formiranje sitnijih kapi između, slika 24. b).

Reyleigh-eva analiza je uzela u obzir uticaj sila inercije i površinskog napona, a potpuno je zanemarila viskoznost tečnosti i uticaj okolnog vazduh.

Weber (1931) je kasnije proširio Reyleigh-evu teoriju uvodeći uticaj otpora vazduha na dezintegriranje mlaza. Otkrio je da otpor vazduha smanjuje optimalnu talasnu dužinu  $\lambda_{opt}$ . Kada je relativna brzina nula, tada je,  $\lambda_{opt}$ , (7),

$$\lambda_{opt} = 4.44d_m \quad (7)$$

što je blisko vrednosti koju je Rayleigh predvideo. Međutim, za relativnu brzinu od 15 m/s Weber je utvrdio da je tada,  $\lambda_{opt}$ , (8),

$$\lambda_{opt} = 2.8d_m \quad (8)$$

a prečnik formiranih kapi dat jednačinom (9),

$$d = 1.6d_m \quad (9)$$

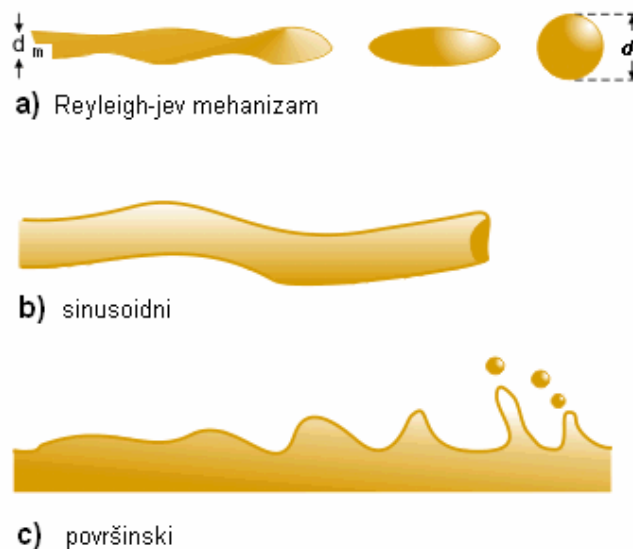
Na osnovu Weber-ove teorije može se zaključiti da relativna brzina između mlaza tečnosti i okolnog vazduha ima uticaj na smanjenje optimalne talasne dužine potrebne za dezintegraciju mlaza što kao rezultat ima formiranje sitnijih kapi.

Weber je takođe proučavao uticaj viskoznosti tečnosti na dezintegrisanje mlaza, i pokazao da porastom viskoznosti raste optimalna talasna dužina [133], a time i veličina formiranih kapi.

Weber-ova teorija je izučavana i proširena od strane mnogih istraživača [135] koji su приметili da u zavisnosti od relativne brzine postoje sledeći mehanizmi dezintegrisanja mlaza:

- idealizovano Rayleigh-jevo dezintegrisanje, za niske relativne brzine,
- sinusoidni mehanizam,
- površinsko dezintegrisanje.

Navedeni mehanizmi dezintegrisanja mlaza prikazani su na slici 25., [133].



**Slika 25.** Mehanizmi dezintegrisanja mlaza a) Reyleigh-jev mehanizam, b) sinusoidni mehanizam c) površinski mehanizam.

Sinusiodni mehanizam je prisutan pri višim brzinama mlaza, gde je dezintegrisanje mlaza uslovljeno njegovim talasanjem u obliku sinusoide, slika

25. b). Kod ovog mehanizma se smanjuje uticaj površinskog napona, dok je uticaj aerodinamičke sile pojačan.

Površinsko dezintegrisanje se javlja kada je brzina mlaza izrazito visoka. Tada je atomiziranje pojačano uticajem porasta relativne brzine, tj. relativnog kretanja između površine mlaza i okolnog vazduha. Kod ovog dezintegrisanja aerodinamičke interakcije izazivaju poremećaje, nabore na predhodno glatkoj površini mlaza, koje se pojačavaju sve do optimalne talasne dužine,  $\lambda_{opt}$ , kada se odvajaju od površine tečnosti, slika 25. c), formirajući kapi i/ili ligamente. Formirani ligamenti se naknadno raspadaju u kapljice u skladu sa Rayleigh-jevom teorijom. Porastom brzine mlaza opada prečnik nastalog ligamenta.

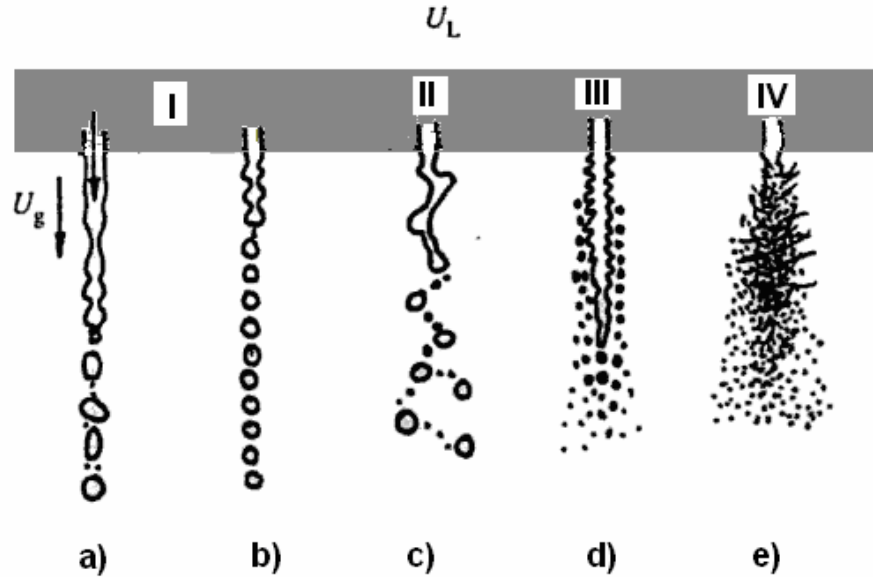
Daljim proučavanjem fenomena dezintegrisanja mlaza koji se stabilno ubrizgava kroz okruglu mlaznicu u vazduh koji miruje na osnovu relativnog značaja inercijalne, viskozne, aerodinamičke sile i sile površinskog napona mehanizmi dezintegrisanja mlaza se mogu svrstati u četiri osnovna režima Tabela 2, Slika 26. [135].

**Tabela 2.** Klasifikacija mehanizama dezintegracije mlaza

Mehanizam dezintegrisanja		Dominantana sila u procesu dezintegrisanja	Kriterijum
<b>I</b>	Rayleigh-jev mehanizam dezintegrisanja	sila površinskog napona	$We < 0,4$ $We < 1,2 + 3,41 Oh^{0,9}$
<b>II</b>	Sinusoidno talasasta dezintegracija	sila površinskog napona dinamički pritisak okolnog gasa	$1,2 + 3,41 Oh^{0,9}$ $< We < 13$
<b>III</b>	Talasasto raspadanje	dinamički pritisak okolnog gasa	$13 < We < 40,3$
<b>IV</b>	Atomiziranje	aerodinamičke interakcije, turbulencije, kavitacije	$We > 40,3$ ili $Oh \geq 100 Re^{-0,92}$

Ilustrovan prikaz navedenih mehanizama dezintegrisanja mlaza dat je na slici 26.





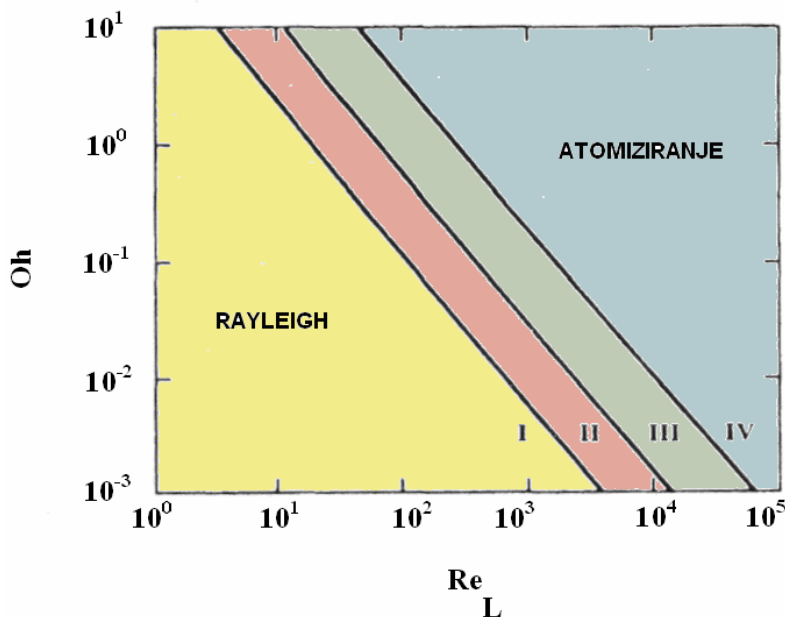
**Slika 26.** Režimi dezintegriranja mlaza, relativna brzina  $U_L - U_g$ :  
 a)  $\ll 1$  m/s b)  $\approx 2$  c)  $\approx 10$  m/s d)  $\approx 30$  m/s e)  $\approx 100$  m/s

Svaki od navedenih režima je određen vrednošću ključnih bezdimenzionih brojeva, slika 27., kao što su Reynolds-ov ( $Re$ ), Weber-ov ( $We$ ) i Ohnesorge-ov ( $Oh$ ) broj. Reynolds-ov broj govori o odnosu sila inercije i viskoznih sila, jednačina (10), dok Weber-ov broj pokazuje odnos između sile inercije i sile površinskog napona, jednačina (11). Ohnesorge-ov broj označen i kao  $Z$  broj je poznat kao broj stabilnosti i on povezuje silu inercije sa silom viskoznosti i površinskog napona i dat je jednačinom (12).

$$Re = \rho V d / \mu \quad (10)$$

$$We = \rho v^2 l / \sigma \quad (11)$$

$$Z = Oh = We_L^{0.5} Re_i^{-1} = \frac{\mu_l}{(\rho_l \sigma d_o)} \quad (12)$$



**Slika 27.** Grafik zavisnosti  $Re$  i  $Oh$  broja koji definišu mehanizam dezintegracije

Brzina kojom tečnost izlazi iz mlaznice utiče na stvaranje turbulencija u samom mlazu. Ove turbulencije pospešuju proces atomiziranja. Tako kada tečnost struji u laminarnom režimu, kada je  $Re$  broj nizak, što je uslovljeno kako niskim protokom, tako i visokom viskoznošću tečnosti, pa tada nema nikakvih nestabilnosti u protoku tečnosti, pa tako ni odgovarajuće razlike u brzini između površine tečnosti i okolnog gasa. Zbog toga ne postoje neophodni uslovi za atomiziranje vazдушnim otporom, te se atomiziranje javlja kasnije kao posledica površinskih nestabilnosti. Rezultat toga su relativno krupne kapi. Sa druge strane, kada tečnost struji u turbulentnom režimu, kada je  $Re$  broj visok, tada turbulencije povećavaju trenje vazduhom, i na taj način ubrzavaju dezintegrisanje tečnosti. Mlaz koji struji u turbulentnom režimu može se raspasti čak i kada se uvodi u vakum.

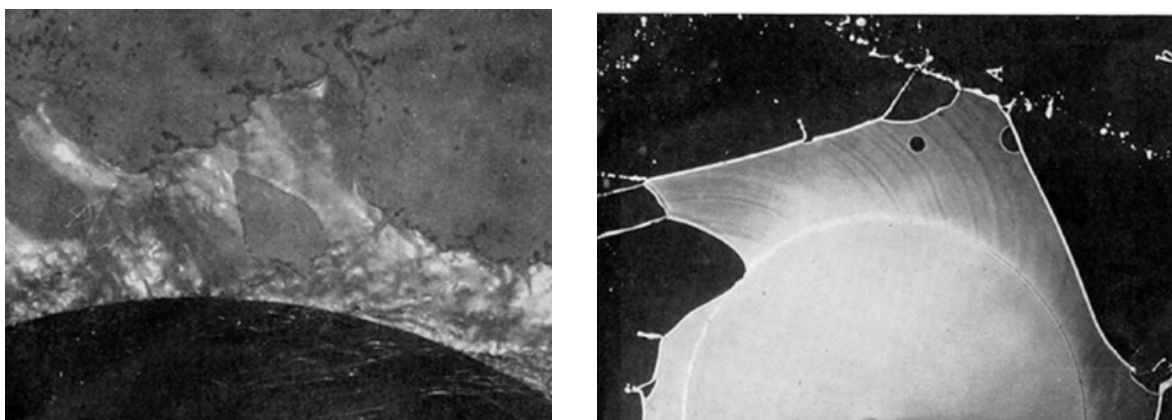
### *Dezintegrisanje filma tečnosti*

Tečni film koji se sreće u procesima atomiziranja može biti :

- ravan film,
- konusni film,
- lepezasti film.

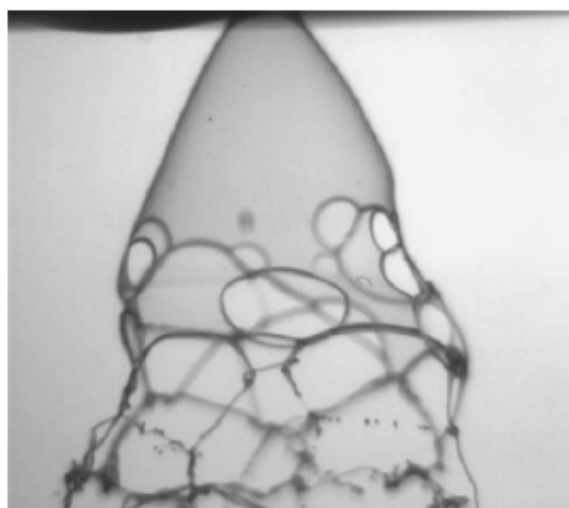
Film kao i mlaz ima kontinualni deo tečnosti, koji može biti različite dužine.

Ravni filmovi slika 28. mogu nastati udarom dve struje tečnosti jedna o drugu, nanošenjem struje tečnosti u centar rotirajućeg diska ili rotacijom čaše napunjene tečnošću koja se atomizira [141].



**Slika 28.** Ravni filmovi

Kupasti filmovi slika 29. nastaju upotrebom „*pressure-swirl*“ i „*air-blast*“ atomizera [69, 119].



**Slika 29.** Kupasti film

Lepezasti filmovi uglavnom nastaju upotrebom „fan-spray atomizera“ slika 30. [141].

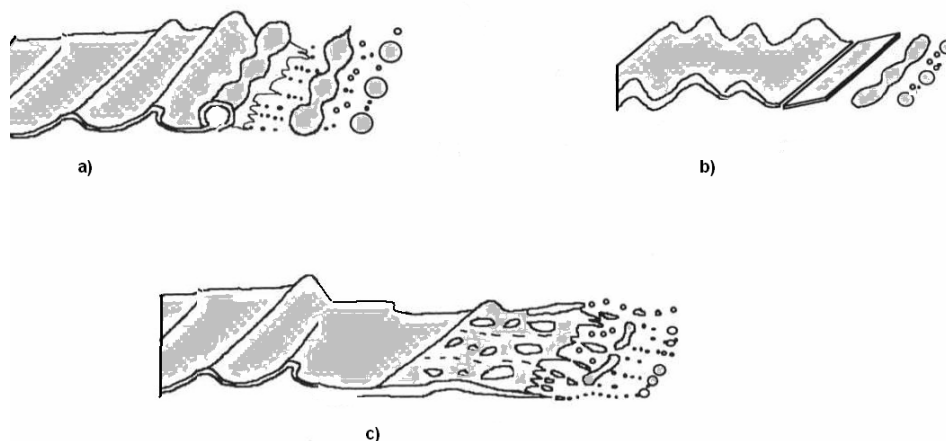


**Slika 30.** Lepezasti film

Dezintegriranje tečnih filmova je isto kao i dezintegriranje mlaza najviše uslovljeno izlaznom brzinom tečnosti kao i fizičkim osobina kako tečnosti tako i sredine u kojoj se odvija proces atomiziranja [141-143]. Pritisak (kod „*pressure-swirl*“ atomizera), aerodinamički otpor (kod „*prefilming airblast*“ atomizera) ili centrifugalna sila (kod rotirajućih atomizera) ubrzavaju tečnost do brzine potrebne da se film razlije nasuprot sili površinskog napona koja teži da ga skupi [144].

Fraser i saradnici su definisali tri mehanizma dezintegriranja filmova i šematski ih predstavili [135, 145, 146], slika 31.:

- kolustasto / prstenasto dezintegriranje,
- talasasto dezintegriranje,
- perforirano dezintegriranje.



**Slika 31.** Režimi dezintegriranja filmova: a) kolutasto/prstenast b) talasast i c) perforiran

Kod kolutastog dezintegriranja sila površinskog napona kontrahuje slobodne ivice tečnog filma formirajući debeli kolut, koji se dalje raspada. Kapljice koje se formiraju nastavljaju da lete u početnom pravcu strujanja tečnosti, ostajući prikačene tankim nitima za tečnost, dok se i one ne raspuknu u seriju kapljica. Ovaj mehanizam dezintegriranja tečnih filmova stvara krupne kapi praćen mnoštvom malih kapi „satelita“ i dominantan je kod tečnih filmova visoke viskoznosti i površinskog napona, kao što su rastopi metala.

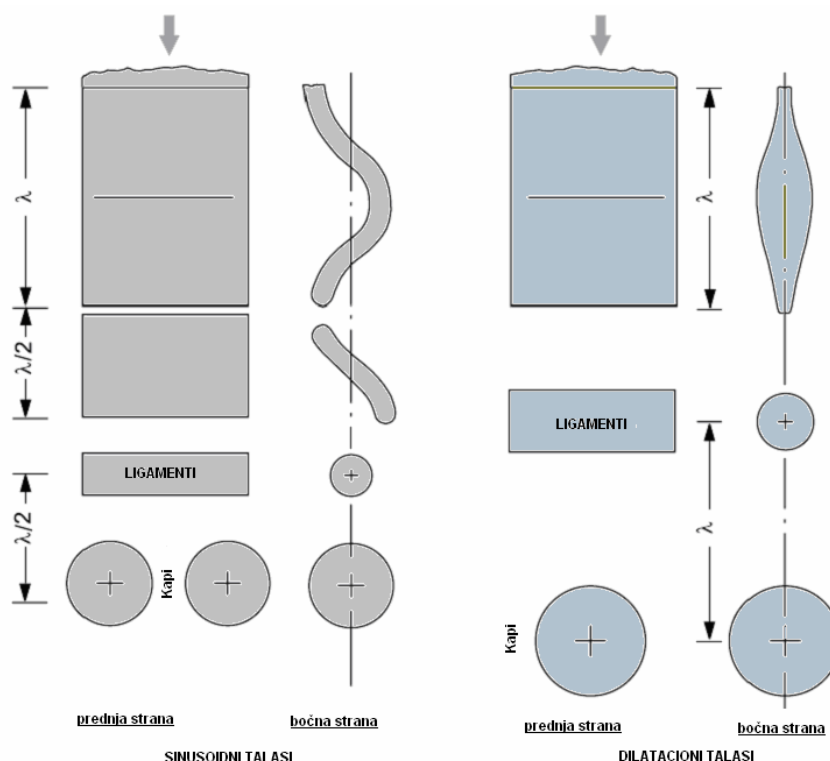
Kod talasastog dezintegriranja nestabilnosti tankog tečnog filma rezultat su interakcije sa okolinom što izaziva nagli rast površinskih talasa. Kada se amplituda talasa poveća do kritične vrednosti, delovi filma, koji odgovaraju polovini ili punoj talasnoj dužini oscilacija, se kidaju pre nego što stignu do ivica rubova tečnosti. Sila površinskog napona naglo skuplja ove pokidane delove u nestabilne ligamente koji se zatim raspadaju do kapljica pod dejstvom aerodinamičke sile ili pak turbulencije tečnosti. Dezintegriranje ovih ligamenata se dešava po Reyleighjevom mehanizmu. Ovakvo dezintegriranje tečnog filma je neparavilno što dovodi do formiranja kapljica različitih veličina.

Tokom razlivanja tečnog filma u njemu mogu nastati perforacije, tada se radi o perforiranom dezintegriranju tečnog filma. Te perforacije su međusobno odvojene fragmentima date tečnosti. One se šire veoma brzo sve dok se ivice

susednih perforacija ne spoje formirajući prazne prostore nepravilnog oblika i ligamente. Ligamenti se dalje raspadaju do kapljica različitih veličina.

Kod nekih atomizera koji formiraju tečne filmove mogu se javiti dva mehanizma istovremeno. Mehanizam dezintegriranja tečnog filma bitno određuje kako srednji prečnik kapi, tako i raspodelu veličine formiranih kapi. Detaljna istaživanja ovih mehanizama od strane mnogih autora Fraser, Eisenklam, Dombrowski, Hasson, Johns i njihovih saradnika pokazala su da je najdominatniji mehanizam dezintegriranja tečnog filma u najvećem broju slučajeva perforirano dezintegriranje koje dovodi do formiranja krupnih kapi [135, 145-147].

Teorijska i eksperimentalna istaživanja dezintegracije ravnih filmova pokazala su da su nestabilnosti tj. talasi formirani na granici između kontinualne (gas) i diskontinualne faze (tečnost) glavni uzročnici koji dovode do dezintegracije tečnih filmova. Pri bilo kojoj frekvenciji, moguća su samo dva tipa talasa. Ili su dve površine filma u fazi da formiraju sinusoidne talase, ili one osciluju van faze formirajući dilatacione talase, slika 32. [130].



**Slika 32.** Dva tipa talasa koja se mogu formirati pri dezintegriranju tečnih filmova

Kod niskih pritisaka okoline kada je odnos gustine tečnosti i okolnog gasa visok, porast sinusoidnih talasa je uvek brži od porasta dilatacionih talasa iste frekvencije. Prečnici formiranih ligamenata zavise uglavnom od debljine filma, te se tako tanji tečni filmovi raspadaju u sitnije kapi. Dombrowski i Johns [147, 148] su uočili da je srednji prečnik kapi približno proporcionalan kvadratnom korenu debljine filma od kojeg su kapi formirane. Utičući na debljinu filma može se uticati na veličinu formiranih kapi. Debljina filma zavisi od uslova proticanja, kao i od osobina tečnosti i gasa koji okružuje datu tečnost. Porastom relativne brzine vazduha tečni filmovi se ranije raspadaju, a ligamenti su tanji i kraći te se formiraju sitnije kapi. Povećanje protoka tečnosti, kao i primena viskoznijih tečnosti omogućuje formiranje filmova veće debljine, dok promene u površinskom naponu izgleda da imaju zanemarljiv uticaj na debljinu filma. Međutim, filmovi tečnosti nižeg površinskog napona dezintegrišu se brže formirajući kraće ligamente. Po Weiss-u i Worsham faktor koji najviše utiče na srednji prečnik kapi pri atomiziranju filma jeste relativna brzina između gasa i tečnosti, dok raspodela veličine čestica zavisi od opsega talasnih dužina pobuđenih talasa na površini tečnih filmova [135]. Talase kraćih talasnih dužina prigušuje viskoznost tečnosti, dok su talasi dužih talasnih dužina ograničeni inercijalnim silama.

Postoji mišljenje da je kontinualni deo konusnih filmova kraći nego kod ravnih filmova pošto prečnik krivine može da ima dodatan destabilišući efekat na film. Fraser je istakao da se kod ovih filmova mogu zanemariti dilatacioni talasi pošto je stepen nestabilnosti ovih talasa uvek manji nego stepen nestabilnosti sinusoidnih [135, 145]. York i saradnici izučavajući „*pressure swirl*“ atomizere koji formiraju cilindrične filmove predložili su sledeće korake u procesu dezintegracije ovakvog filma [148]. Talasi koji najpre dostignu maksimalnu talasnu dužinu, periodično zgušnjavaju konusni tečni film u pravcu normalnom na tok filma otkidajući prstenove od filma tečnosti. Ovi prstenovi/ligamenti se dalje raspadaju po Rayleigh mehanizmu do kapljica.

### **Sekundarno atomiziranje**

Formirane kapi mogu se dalje raspasti pod uticajem aerodinamičke sile. Na kap sa jedne strane deluje aerodinamička sila  $F_A$ , jednačina (13), dok u suprotnom smeru deluje sila površinskog napona  $F_\sigma$ , jednačina (14). Kada se ove sile izjednače, tada se postiže kritična vrednost Weber-ovog broja, jednačina (16) [122], iznad koje dolazi do dezintegrisanja kapi [149 - 151]. Veličina kapi pri kritičnom Weberu je teorijski maksimalna moguća stabilna veličina kapi,

jednačina (17), koja se neće raspasti na sitnije kapi, pri datim uslovima strujanja aerosola.

$$F_A = \frac{1}{2} C_D \frac{\pi x^2}{4} \rho_{gasa} v_r^2 \quad (13)$$

$$F_\sigma = \pi x \sigma \quad (14)$$

$$v_r = v_{gasa} - v_x \quad (15)$$

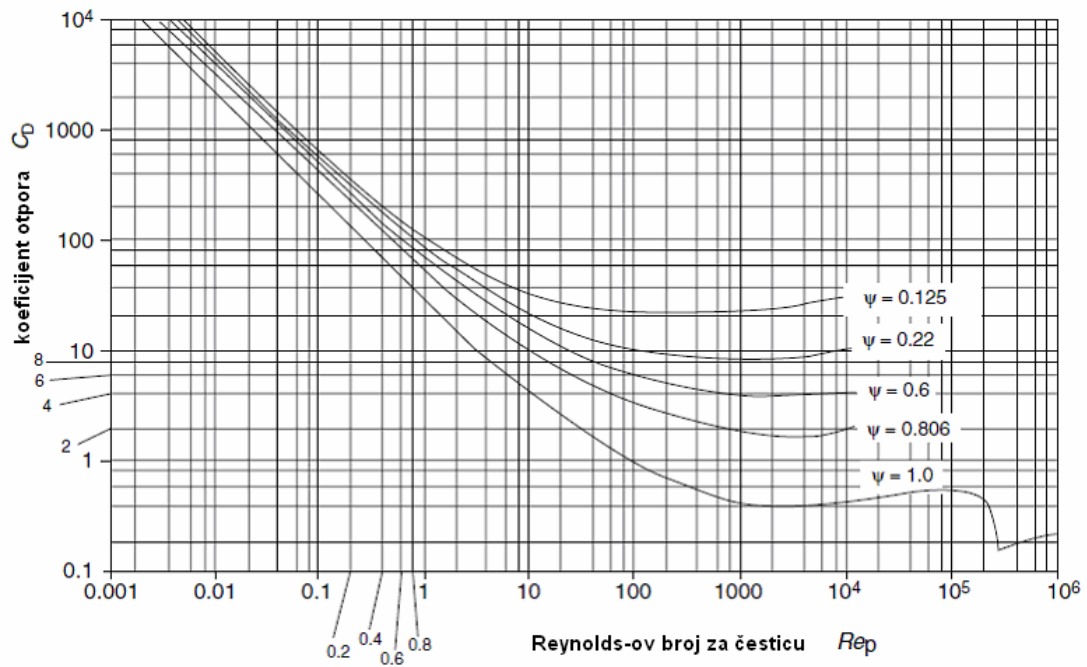
$$\left( \frac{\rho_{gasa} v_r^2 x}{\sigma} \right)_{krit} = \frac{8}{C_D} = We_{krit} \quad (16)$$

$$x_{max} = \frac{8\sigma}{C_D \rho_{gasa} v_r^2} \quad (17)$$

Koeficijent otpora vazduha,  $C_D$  zavisi od vrednosti Reynolds-ovog broja za čestice, jednačina (18), kao i od samog oblika kapi, a očitava se sa grafika, slika 33., dobijenog eksperimentalnim putem.

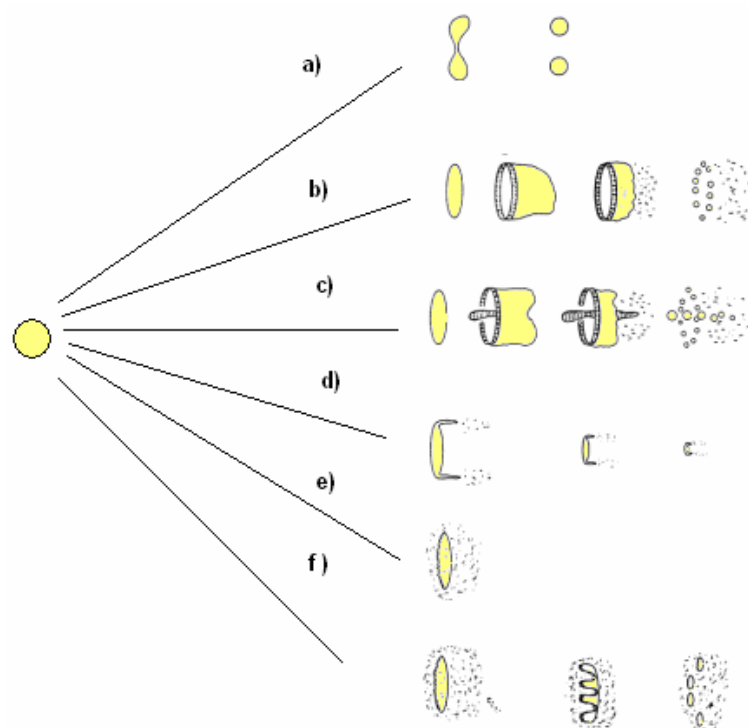
$$Re_p = \frac{xv\rho_{gasa}}{\mu} \quad (18)$$





**Slika 33.** Grafik zavisnosti Reynolds-ovog broja za česticu i koeficijenta otpora

Vrednost Weber-ovog broja uslovljava način na koji će se dezintegrirati kap sekundarnim atomiziranjem, od čega zavisi i veličina novoformiranih kapi. U literaturi se javlja više različitih mehanizama dezintegriranja kapi, koji se mogu svrstati u šest osnovnih mehanizama, slika 34. [152].



**Slika 34.** Mehanizmi sekundarnog atomiziranja kapi: a) „*vibrational breakup*“ b) „*bag breakup*“ c) „*bag-and-stamen breakup*“ d) „*sheet stripping*“ e) „*wave crest striping*“ i f) „*castastrophic breakup*“

Kada je vrednost Weber-ovog broja mala ( $We \leq 12$ ) tada se kap raspada samo na dve kapi mehanizmom zvanim „*vibrational breakup*“ prikazanim pod a) na slici 34. Mehanizam „*bag breakup*“, slika 34. b), javlja se kada je Weber-ov broj u intervalu od 12 do 50, dok se mehanizam „*bag-and-stamen breakup*“, slika 34. c), pri kojem se formira polidisperznija raspodela kapi javlja za Weber-ov broj,  $50 \leq We \leq 100$ . Kada je vrednost Weber-ovog broja u intervalu od 100 do 350 tada se kap dezintegriše „*sheet stripping*“ mehanizmom“, slika 34 d), koji karakteriše formiranje veoma sitnih kapi. Za Weber-ov broj iznad 350 javljaju se mehanizmi prikazani pod e) „*wave crest striping*“ i f) „*castastrophic breakup*“ sa slike 34., što su ustvari dve varijante jednog mehanizma.

## RASPODELA VELIČINA ČESTICA

Fizička svojstva aerosola dominantno zavise od veličina čestica koje ga čine. Stoga je neophodno odrediti njihovu veličinu. Kod monodisperznih aerosola veličina čestice se lakše određuje nego kod polidisperznih, i ona je kompletno definisana jednim parametrom, tj. prečnikom čestice. Većina aerosola je polidisperzna, i to sa širokim rasponom veličina čestica, te kod njih nije moguće jednostavno definisati veličine čestice samo jednim parametrom. Kod polidisperznih aerosola neophodno je izvršiti merenje najmanje 1000 čestica i dobijene podatke obraditi statistički. Da bi se analiza pojednostavila, zanemaruje se oblik čestica, smatrajući da su sve čestice sferne.

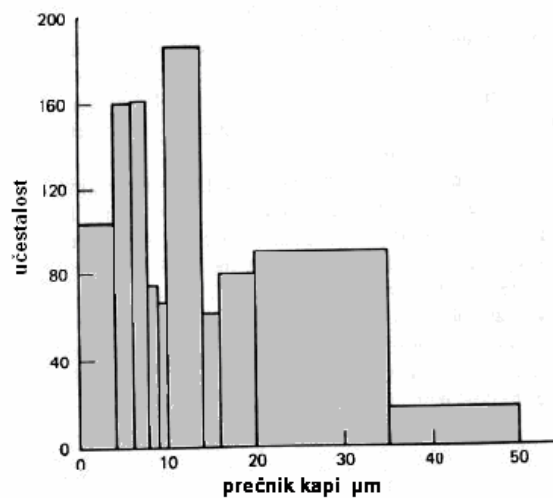
### Osobine raspodele veličina čestica

Prvi korak u statističkoj obradi rezultata je utvrđivanje intervala veličina i podela ukupnog intervala veličina čestica na seriju sukcesivnih užih intervala. Intervali moraju biti povezani i moraju obuhvatiti ceo ukupan interval izmerenih veličina čestica kako ni jedna dimenzija čestica ne bi bila izostavljena. Statistička obrada je na ovaj način pojednostavljena, pošto se veliki broj veličina čestica prevodi u manji broj vrednosti kojima se manipuliše. Tako na primer ako bi se usvojilo deset intervala, tada bi se obrađeni broj čestica od 1000 preveo u 20 brojeva, početak i kraj svakog intervala.

Tabelarno prikazani rezultati precizne analize veličina čestica ne daju jasnu sliku o raspodeli čestica po veličini, niti je na osnovu njih moguće odrediti neke od osobina aerosola. Razlog tome je što rezultati prikazuju nekoliko hiljada različitih veličina. Zato se kod aerosola, raspodela veličina čestica prikazuje grafički i to kao [151, 153, 154] :

- histogram,
- kriva raspodele,
- kumulativna kriva.

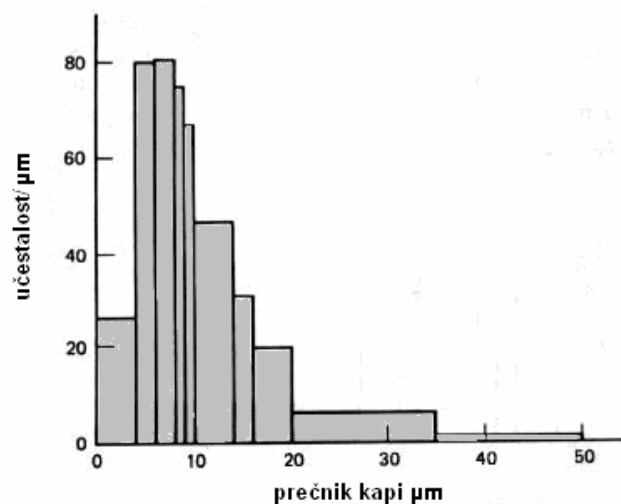
Kod histograma širina pravougaonika predstavlja usvojenu širinu intervala, a njegova visina predstavlja broj čestica zastupljenih u tom intervalu, slika 35. Kod ovog načina prikazivanja visina pravougaonika zavisi od njegove širine, što uzrokuje rasipanje funkcije raspodele i onemogućava međusobno poređenje pojedinačnih frakcija.



**Slika 35.** Histogram (ordinata – učestalost (broj))

Da bi poređenje frakcija bilo moguće, histogram se normalizuje tako što se visina pravougaonika podeli sa njegovom širinom, odnosno broj čestica u nekom intervalu podeli se sa širinom tog intervala, ( $\Delta d$ ), slika 36. Tada visina svakog pravougaonika ( $h$ ), data u jedinicama (broj/ $\mu\text{m}$ ), postaje jednaka broju čestica po jedinici širine intervala ( $\mu\text{m}$ ), dok je njegova površina jednaka broju čestica u tom intervalu. Ukupna površina svih pravougaonika jednaka je ukupnom broju svih čestica u uzorku  $N$ , jednačina (19):

$$N = \sum (h_i \Delta d_i) \quad (19)$$



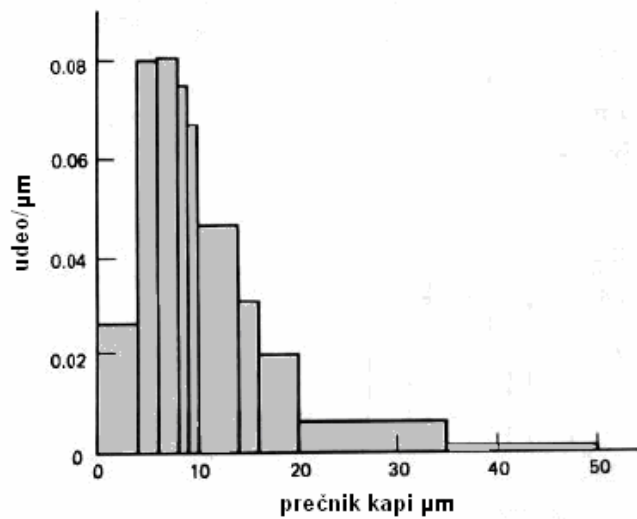
**Slika 36.** Histogram (ordinata- učestalost / $\mu\text{m}$  (broj/ $\mu\text{m}$ ))

Histogram se često standardizuje deljenjem visine pravougaonika ukupnim brojem čestica u uzorku, i tada se na ordinati dobija udeo date frakcije po jedinici intervala (udeo/ $\mu\text{m}$ ), a površina svakog pravougaonika, jednaka je udelu pojedinih frakcija  $f_i$  čestica definisanih širinom intervala. Ukupna površina ovih pravougaonika jednaka je 1, jednačina (20, 21):

$$f_i = n_i / N = (h_i \Delta d_i) \quad (20)$$

$$\sum f_i = \sum (h_i \Delta d_i) = 1 \quad (21)$$

Kao što se vidi na slici 4.3. oblik raspodele jednak je obliku prikazanom na slici 37., ali je na ordinati sada udeo date frakcije po jedinici intervala.

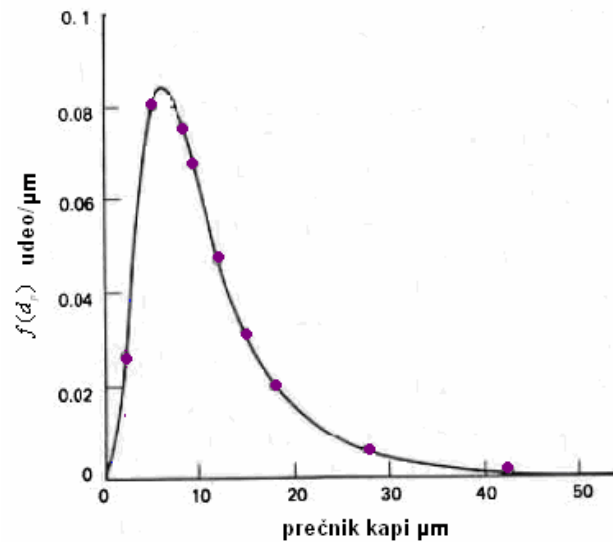


**Slika 37.** Histogram (ordinata- udeo/ $\mu\text{m}$ )

Kada se kod histograma uglovi susjednih pravougaonika spoje, dobija se kriva raspodele veličina čestica koja je grafički prikaz funkcije učestalosti, slika 38., ili funkcije verovatne gustine.

Udeo pojedinih frakcija u ukupnom broju čestica ( $df$ ) koje imaju prečnik između  $d_p$  i  $d_p + dd_p$  dat je jednačinom (22):

$$df = f(d_p) dd_p \quad (22)$$



**Slika 38.** Kriva raspodele za histogram sa slike 37.

gde je:  $f(d_p)$  - funkcija učestalosti,  
 $dd_p$  - diferencijal intervala veličine čestica.

Ova funkcija je matematički prikaz krive prikazane u grafiku, slika 38. Površina ispod krive je uvek definisana kao integral, jednačina (23):

$$\int_0^{\infty} f(d_p) dd_p = 1 \quad (23)$$

Pri analizi funkcije učestalosti treba imati u vidu koji se interval posmatra. Interval može biti od 0 do beskonačnosti, kao što je slučaj u jednačini (23), ili može biti između datih vrednosti  $a$  i  $b$  ili pak uskog intervala  $dd_p$ .

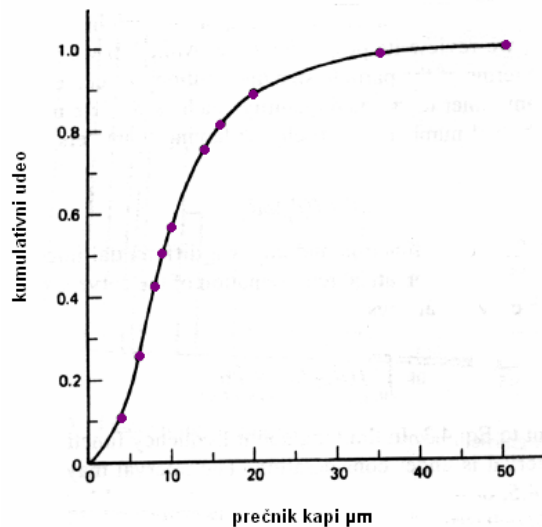
Površina ispod krive koju opisuje funkcija učestalosti između vrednosti  $a$  i  $b$  jednaka je udelu čestica čiji prečnici upadaju u ovaj interval, jednačina (24):

$$f_{ab} = \int_a^b f(d_p) dd_p \quad (24)$$

Distribucija veličina može biti prikazana i funkcijom kumulativne raspodele koja se definiše sledećom jednačinom, (25):

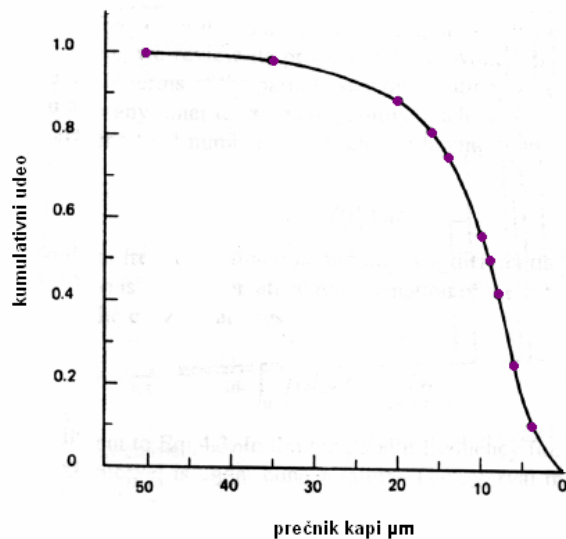
$$f(a) = \int_0^a f(d_p) dd_p \quad (25)$$

Funkcija kumulativne raspodele,  $f(a)$ , prikazuje udeo čestica koje imaju prečnike manje od odabrane vrednosti ( $a$ ). Grafički prikaz funkcije  $f(a)$  zove se kumulativna kriva, slika 39.



**Slika 39.** Kumulativna kriva

Postoji još jedan oblik kumulativne raspodele, koji prikazuje udeo čestica koje imaju prečnike veće od odabrane vrednosti, ( $a$ ), umesto manje. Kriva ovakve funkcije daje jednake informacije kao i predhodna, jedino što ona ima obrnut S - oblik. Slika 40. U literaturi se češće sreće prvi tip kumulativne raspodele, dobijen po principu „manje od odabrane veličine“.



**Slika 40.** Obrnuta kumulativna kriva

Kumulativna distribucija omogućava da se lako očitaju kvantitativne informacije o raspodeli veličina čestica. Udeo čestica koje su manje od odabrane veličine može se direktno očitati sa grafika, dok se udeo čestica čiji su prečnici između veličina (a) i (b), dobija oduzimanjem kumulativnog udela očitano sa grafika za veličinu (a) od udela očitano za veličinu (b) jednačina (26):

$$f_{ab} = f(b) - f(a) \quad (26)$$

### **Prečnici čestica**

U cilju daljeg sažimanja podataka, pored funkcije matematičke distribucije računaju se i parametri koji definišu ovu funkciju. Funkcija raspodele najčešće zahteva određivanje dva parametra, jedan koji definiše lokaciju ili centar raspodele i drugi koji karakteriše širinu ili prostiranje raspodele [155-158].

Veličine koje definišu lokaciju raspodele veličina čestica su mean, mode, median i geometric mean prečnici.

Mean prečnik predstavlja aritmetički srednji prečnik  $\overline{d_p}$ , koji se računa prema datim formulama (27):

$$\overline{d_p} = \frac{\sum d}{N} = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} = \int_0^{\infty} d_p f(d_p) dd_p \quad (27)$$

gde su:  $n_i$  - broj čestica u grupi  $i$

$d_i$  - aritmetička srednja vrednost prečnika u grupi  $i$

$N$  - ukupan broj čestica u svim grupama

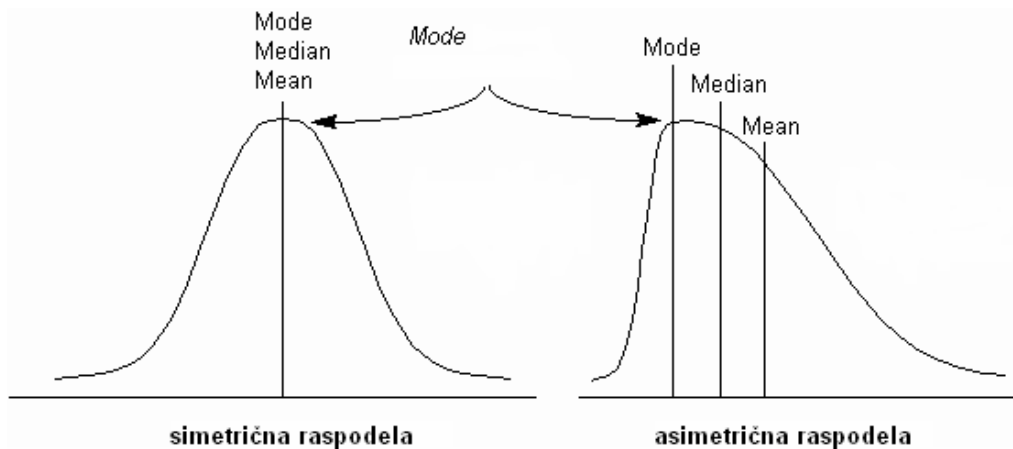
Median je prečnik do kojeg je polovina od ukupnog broja čestica manja, a druga polovina veća. On je prečnik koji deli krivu raspodele na dva dela jednakih površina, i prečnik koji odgovara kumulativnom udelu od 0.5.

Mode je prečnik koji ima najveći broj čestica, tj. najzastupljeniji prečnik. On se određuje izjednačavanjem funkcije učestalosti sa nulom, a zatim njenim rešavanjem po  $d$ .



Kod simetrične raspodele mean, median i mode prečnici imaju jednake vrednosti, koje se nalaze na sredini apscise, na osi simetrije, dok kod asimetrične raspodele, ovi prečnici imaju različite vrednosti, slika 41. *Median* prečnik se najčešće koristi kod nesimetrične raspodele, pošto ekstremne vrednosti koje obuhvata rep krive imaju manji efekat na *median* nego na mean prečnik. Većina aerosola ima nesimetričnu raspodelu sa dugim repom na desnoj strani kao na slici 38. Kod asimetričnih distribucija, za polidispresne aerosole važi odnos među veličinama kao što je dato:

$$\text{mode} < \text{median} < \text{mean}$$



**Slika 41.** Karakteristični prečnici

Pored ovih prečnika, postoji još i geometrijski mean prečnik. On je definisan kao N-ti koren proizvoda N vrednosti, jednačina (28):

$$d_g = (d_1 d_2 d_3 \dots d_N)^{1/N} \quad (28)$$

Za grupu podataka u intervalu "I" geometrijski prečnik se računa pomoću formule (29):

$$d_g = (d_1^{n_1} d_2^{n_2} d_3^{n_3} \dots d_I^{n_i})^{1/N} \quad (29)$$

gde su:  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$  - broj čestica u intervalima od 1 do I,  
 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_i$  - srednje vrednosti, ili neki drugi karakteristični prečnici u intervalu od 1 do i.

Kod monodisperznih aerosola, aritmetički srednji prečnik je jednak geometrijskom srednjem prečniku, jednačina (30):

$$\overline{d_p} = d_g \quad (30)$$

dok je kod polidisperznih aerosola aritmetički srednji prečnik veći od geometrijskog srednjeg prečnika, jednačina (31):

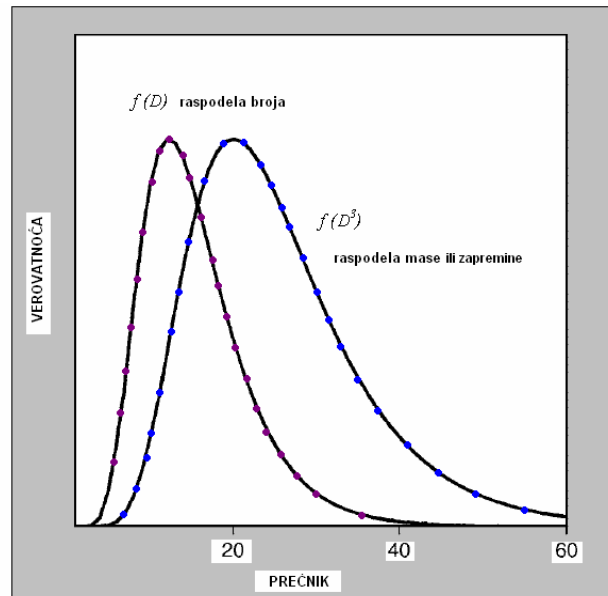
$$d_g < \overline{d_p} \quad (31)$$

Geometrijski srednji prečnik se koristi za karakterizaciju aerosola kod lognormalne raspodele veličina.

### **Momenti i prosečni momenti, pojam i primena**

Predhodno opisana raspodela veličine čestica dobijena je brojanjem čestica, odnosno na bazi brojne statistike. Međutim, veličina čestice se može određivati i indirektnim merenjem. Kada je merenje indirektno, veličina koja se meri mora biti proporcionalna veličini čestica, odnosno prečniku čestice,  $d$ . Tako je površina proporcionalna drugom stepenu prečnika  $d^2$ , masa i zapremina su proporcionalni trećem stepenu prečnika,  $d^3$ . Veličina koja se meri naziva se snaga ili momenat. Kada je  $d$  na prvi stepen to je prvi momenat, kada je  $d^2$  to je drugi momenat, kada je  $d^3$  to je treći momenat. U slučaju kada se raspodela veličina aerosola određuje direktno, brojanjem tada je u pitanju nulti momenat, jer broj nije proporcionalan sa prečnikom, te je tada stepen 0,  $d^0$ .

Kada se veličina čestice meri indirektno, radi minimiziranja greške merenja, koristi se raspodela te indirektno veličine po prečnicima. Tako u slučaju kada se meri masa, treba koristiti grafik raspodele mase, koji prikazuje raspodelu mase po česticama različitih veličina. Raspodela mase, ili neke druge indirektno veličine i raspodela broja čestica za isti uzorak daje različite numeričke vrednosti svih opisanih prečnika i grafičkih prikaza, slika 42.



**Slika 42.** Krive raspodele brojčane količine i mase po prečnicima čestica

Tako se mean prečnik u slučaju indirektnog merenja preko mase računa po formuli (32), i naziva se maseni *mean* prečnik, MMD:

$$\text{MMD} = d_{mm} = \left( \frac{m_1}{M} d_1 + \frac{m_2}{M} d_2 + \dots + \frac{m_i}{M} d_i \right) \quad (32)$$

Ako se pretpostavi sferičan oblik čestice uniformne gustine, jednačina se može napisati i kao:

$$d_{mm} = \frac{\sum m_i d_i}{M} = \frac{(\pi \rho_p / 6) \sum n_i d_i^3 d_i}{(\pi \rho_p / 6) \sum n_i d_i^3} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} \quad (33)$$

Kada je indirektna veličina koja se meri površina, onda se mean prečnik zove površinski mean prečnik,  $d_{sm}$ , poznatiji kao Sauter prečnik (ili pak zapreminskopovršinski prečnik), a računa se analogno formulom (34), kao:

$$d_{sm} = \frac{\sum s_i d_i}{S} = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \quad (34)$$

Brojilac i imenilac su dati kao sume trećeg i drugog momenta stoga se lako mogu preformulisati preko srednjih momenata, i tada se formula za Sauter prečnik može izraziti i preko srednjeg masenog i površinskog prečnika na sledeći način:

$$d_m = \left( \frac{\sum n_i d_i^3}{N} \right)^{1/3} \quad (35)$$

$$\sum n_i d_i^3 = N(d_m)^3 \quad (36)$$

$$\sum n_i d_i^2 = N(d_s)^2 \quad (37)$$

$$d_{sm} = \frac{N(d_m)^3}{N(d_s)^2} = \frac{(d_m)^3}{(d_s)^2} \quad (38)$$

Opšti oblik funkcije raspodele koja daje udeo veličine proporcionalan sa  $d_p^x$  u intervalu između  $d_p$  i  $d_p + dd_p$  je:

$$df_x = f_x(d_p) dd_p = \frac{d_p^x f(d_p)}{\int_0^\infty d_p^x f(d_p) dd_p} dd_p \quad (39)$$

Postoji grupa prosečnih momenata za svaku njihovu raspodelu. Opšta formula za prosečan moment-p raspodele momenta q je data jednačinom (40):

$$(d_{qm})_p = \left( \frac{\sum n_i d_i^q d_i^p}{\sum n_i d_i^q} \right)^{1/p} \quad (40)$$

Kada je  $p=1$  i  $q=0$  dobija se srednja aritmetička vrednost, a merenje je vršeno na osnovu broja kapi, dok u slučaju  $p=1$  i  $q=3$ , dobija se prosečan maseni prečnik, a merenje je vršeno preko mase čestica.

Ako se izmeri masa svake pojedinačne čestice i sabere ukupna masa, a zatim podeliti sa brojem čestica, (41) dobija se prosečna masa, ili prosečan treći momenat. Ako se pretpostavi da je čestica sferičnog oblika, onda je prosečna masa aerosola povezna sa prečnikom čestice formulom (42):

$$\bar{m} = \frac{\sum m_i}{N} \quad (41)$$

$$\bar{m} = \frac{\pi}{6} \rho d_m^3 \quad (42)$$

gde je:  $\rho_p$ -gustina diskontinualne faze odnosno čestice

Na osnovu predhodne dve formule, dobija se prečnik prosečne mase uzoraka.

$$d_m = \left( \frac{6\bar{m}}{\rho_p \pi N} \right)^{1/3} = \left( \frac{6\pi\rho \sum d^3}{\rho\pi N 6} \right)^{1/3} = \left( \frac{\sum d^3}{N} \right)^{1/3} \quad (43)$$

Treba razlikovati prečnik prosečne mase od masenog mean prečnika. Pri računanju prečnika prosečne mase, veličina koja se uprosečuje je masa iz koje se zatim računa prečnik (formula 42. i 43). Dok je kod masenog mean prečnika, veličina koja se uprosečuje prečnik, i on se meri na osnovu njegovog udela mase ukupnoj masi čestica, formula 33.

Prečnik prosečne mase je korisna veličina jer daje vezu između broja i mase agregata čestica aerosola u uzorku, kao i vezu između brojne  $C_N$  i masene  $C_m$  koncentracije.

$$C_m = C_N \bar{m} = C_N \frac{\rho\pi}{6} d_m^3 \quad (44)$$

Ukupna masa čestica u aerosolu,  $M$ , jednaka je:

$$M = N\bar{m} = N \frac{\rho\pi}{6} d_m^3 \quad (45)$$

Prečnik čestice preko prosečne površine, kao i preko prosečne brzine taloženja se definišu slično. Opšta formula za prečnik na osnovu neke prosečne osobine proporcionalne,  $d_p$  dat je formulom (46), a za grupisane vrednosti formulom (47):

$$d_p = \left( \frac{\sum d^p}{N} \right)^{1/p} \quad (46)$$

$$d_p = \left( \frac{\sum n_i d_i^p}{N} \right)^{1/p} \quad (47)$$

Kod istog sistema iste distribucije što je viši momenat, veći je i prosečni prečnik momenta, relacija 48.

$$\bar{d} < d_s < d_m \quad (48)$$

gde su:  $\bar{d}$  - prečnik prvog momenat  
 $d_s$  - prečnik drugog momenat  
 $d_m$  - prečnik trećeg momenat

Nazivi prečnika koji se ovde koriste se najčešće koriste, ali treba napomenuti da u literaturu ne postoje standardizovani nazivi što često dovodi do zabune.

## **EKSPERIMENTALNI DEO**

### **EKSPERIMENTALNI PROGRAM**

Da bi se zaštitilo zdravlje radnika koji obslužuju mašine alatke uvode se zatvorene i poluzatvorene komore u kojima je formiranje aerosola lokalizovano. Te komore moraju da se ventilišu. Često se u ventilacionu cev mašine postavljaju filtri za uklanjanje kapi iz struje vazduha. Ovaj eksperimentalni rad ima za cilj da da doprinos u upoznavanju osobina i ponašanja aerosola formiranih od komercijalnih SHP, kako u komori tako i u ventilacionoj cevi pri različitim brzinama vazduha. Poznavanje specifičnosti ovih aerosola su podloga za uspešnije projektovanje filtera za njihovu separaciju.

U realizovanim eksperimentima nema kontakta metal/metal, isključen je uticaj toplote kao posledice trenja, te je formiranje aerosola mehanizmom isparavanje/kondezacija svedeno na minimum. Pri tim uslovima se formira aerosol dominantno centrifugalnom silom [100, 101]. Pored toga isključeno je prisutvo čvrstih čestica mirkonskih veličina koje potiču od metalnog odlivka koji se obrađuje, kao i prisutvo plivajućeg hidrauličnog ulja, kao i mikroorganizama koje uvek prati realan industrijski fluid.

Eksperimentalni program je realizovan na komercijalnim SHP sredstvima koja se koriste kao emulzije ulja u vodi. Voda koja je korišćena za pripremu emulzija je iz vodovoda grada Beča. Ispitivana su tri komercijalna ulja različitih proizvođača. Ulja su bila različitog porekla, i to mineralnog, UO3, polusintetičkog, UO5, i biljnog, UO2. Proučavani su aerosoli, AO3, AO5, AO2, formirani atomiziranjem emulzije tri različite koncentracije uljne faze: 1, 6 i 10 % . Pri jednakim eksperimentalnim uslovima ispitivan je i aerosol formiran, od vode, AOO, korišćene za pripremu emulzija.

Određivane su osobine ulja i emulzija koje su od značaja za formiranje aerosola atomiziranjem emulzije. Kako je prilikom atomiziranja centrifugalnom silom fluid izložen smicanju, bilo je neophodno proučiti reološke osobine korišćenih ulja kao i emulzija svih koncentracija.

Pored ispitivanja aerosola formiranih atomiziranjem emulzija, proučavan je i uticaj brzine ventilacionog vazduha na njihove osobine. Brzine vazduha su bile 1, 3, 6, 8 m/s, koje su označene redom V1, V3, V6, V8. Svaki pojedinačni ogled je ostvaren pri konstantnoj koncentraciji emulzije EO3, EO5, EO2, sobne temperature i konstantnoj brzini vazduha.

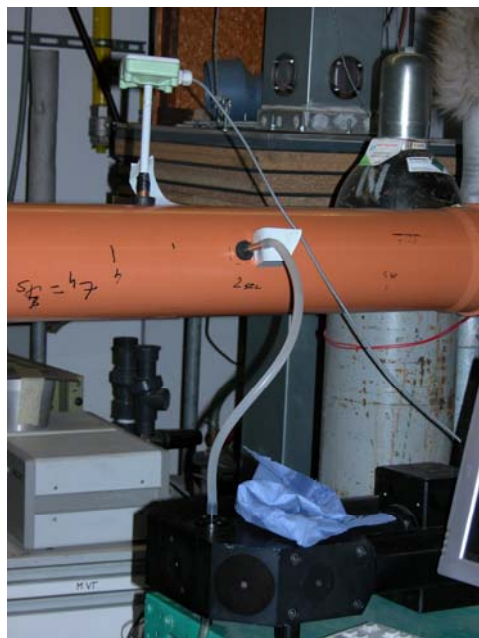
Uzorkovanje aerosola je realizovano u komori, na ulazu u ventilacioni vod i duž ventilacione cevi dužine 8m na pet mernih tačaka koje se nalaze na 0,5 , 1, 2, 4, 6, 8 m u odnosu na komoru.

## **METODE RADA I EKSPERIMENTALNE TEHNIKE**

Eksperimenti su analizirani su preko više različitih veličina. Određivane veličine se mogu podeliti na: osobine aerosola, osobine ulja, osobine emulzije i radne promenljive. Način merenja pojedinih veličina, uslovi rada i aparatura prikazani su dalje u tekstu.

### **Osobine aerosola - veličina kapi, masena i brojna koncentracija**

Za određivanje osobina aerosola, kao što su raspodela veličine čestica aerosola, masena i brojna koncentracija korišćen je optički spektrometar “Particle Size Analyzer PCS 2010”, proizvođača Palas, Nemačka. Uređaj se sastoji od sonde za uzorkovanje, optičkog mernog dela i kompjutera sa softverom za obradu podataka, slika 43.



**Slika 43.** Optički spektrometar “Particle Size Analyzer PCS 2010”, Palas



Uređaj određuje veličinu čestica aerosola u rasponu od 0,2  $\mu\text{m}$  do 50  $\mu\text{m}$ . Dok broj ili koncentraciju čestica određuje u rasponu od 1 do  $10^6$  P/cm<sup>3</sup>.

### **Temperatura i vlaga**

Temperatura i vlaga su mereni integrisanim digitalnim meračem EE15 proizvođača E+E Elektronik, koji vlagu meri u opsegu 0-100 % pri temperaturnom opsegu od 0-50 °C, slika 44.

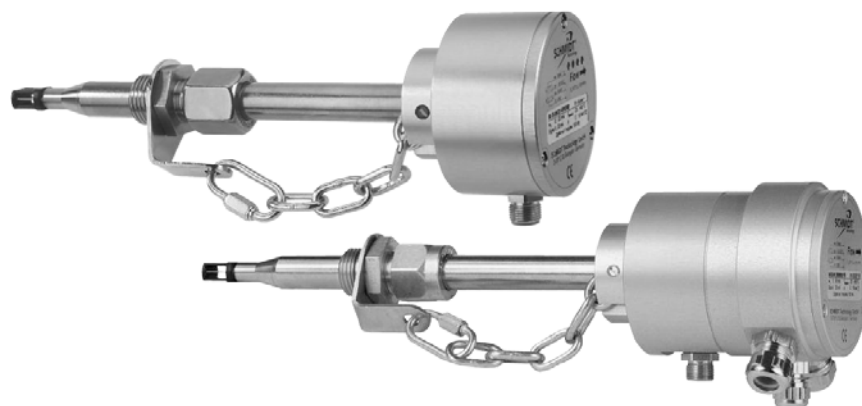


**Slika 44.** Merač temperature i vlage

Merenje vlage u prostoru u kojem se nalazi aerosol dispergovane tečnosti može biti često otežano, pa čak i neizvodljivo, što je slučaj kada je masena koncentracija aerosola visoka. Razlog je osetljivost mernog uređaja na kapi tečnosti koje se zadržavaju na mernoj površini odakle difuzijom stižu do senzora uređaja dajući pogrešnu informaciju o sadržaju vlage u prostoru. Zato je uređaj kojim je merena vlaga bio zaštićen.

### **Brzina vazduha**

Brzina vazduha je merena digitalnim senzorom SS 20.60 proizvođača Schmidt technology, Nemačka, slika 45. Opseg mernog uređaja je 0-150 m/s.



Slika 45. Merač brzine strujanja vazduha

### Osobine ulja i emulzija

Za analizu fizičko-hemijskih osobina dispergovane faze korišćene su brojne metode i tehnike rada kako bi se odredila: gustina, viskoznost, molska masa, površinski napon.

Gustina ulja i emulzija korišćenih u eksperimentima određivana je metodom kapilarne oscilometrije na Anton Paar-ovom digitalnom gustinomeru tipa DMA 46. Gustina je određivana na 20 °C.

Viskoznost korišćenih SHP sredstava određivana je standardnom Kanon-Fenske metodom, ASTM D 445-64, dok je viskoznost njihovih emulzija računata računskim putem, Arrhenius–Kendall-ovom formulom (49) [121]:

$$\log \mu_E = \phi_U \log \mu_U + (1 - \phi_U) \log \mu_V \quad (49)$$

gde je:  $\mu_E$  – viskoznost emulzije

$\mu_U$  – viskoznost ulja

$\mu_V$  – viskoznost vode

$\Phi_U$  – zapreminski udeo ulja u emulziji

Molska masa ulja određivana je standardnom metodom ASTM D 2502-67.

Površinski napon svih korišćenih tečnosti određen je stalagmometrijski, tj. metodom brojanja kapi.

Veličina kapi emulzije je određena pomoću "Zetasizer ZS Nano" instrumenta proizvođača Malvern, Engleska UK.

Reološke osobine ispitivanih tečnosti su određene rotacionim viskozimetrom RV tipa 2 proizvođača VEB MLW Prüfgerate- Werk Medingen, Sitz Freital, Nemačka.

## **EKSPERIMENTALNI UREĐAJ I USLOVI RADA**

Aparatura se sastoji od aerosol generatora (rotor), ventilacione cevi i ventilatora smeštenog na kraju cevi. Aerosol generator korišćen za realizaciju eksperimentalnog programa, slika 46., razvijen je od strane tima Prof. Wilhelm Hoeflinger-a, a kao deo disertacije dipl.ing Bernard Neumann-a [160] i patentno je zaštićen pod brojem DE 102004050372 (A1) [161]. Predhodnim eksperimentalnim ispitivanjima proučavan je uticaj brzine rotora aerosol generatora na osobine formiranog aerosola sa ciljem da se odabere broj obrtaja pri kojem će biti realizovan dalje eksperimentalni program. Utvrđeno je da povećanjem broja obrtaja rotora (2000, 5000, 7500 obrt/min) masena koncentracija aerosola raste, a prečnici (MMD, SMD i ostali) opadaju. Opadanje prečnika je kod nekih ispitivanih tečnosti manje, a kod nekih više izraženo. Usvojeni broj od 7500 obrt/min, obezbedio je formiranje aerosola sličnih osobina (masene koncentracije i raspona veličina kapi) aerosolima formiranih od emulzionih SHP sredstava u industrijskim uslovima proučavanih od strane GM grupe. Rotor je smešten u poluzatvorenu pleksiglas komoru bez krova. Emulzija određene koncentracije pripremana je uvek na dan ogleđa. Voda korišćena za pripremu emulzije je iz vodovoda grada Beča predhodo temperirana na sobnoj temeparturi. Emulzija je transportovana pumpom kroz horizontalno orijentisanu kružnu mlaznicu prečnika 3 mm, konstantnim protok od 560 ml/min iz rezervoara zapremine 35 l smeštenog ispod komore. Mlaznica je postavljena pod uglom od 45° u odnosu na rotor. Višak emulzije koji se slivao niz zidove komore vraćao se u rezervoar. Komora je spojena sa ventilacionom cevi dužine 8 m, prečnika 16 cm. Na kraju cevi je postavljen ventilator koji omogućava ventilaciju komore različitim brzinama vazduha. Uređaj za merenje brzine vazduha je postavljen na kraju cevi. Temperatura i vlaga su mereni u prostoriji na dan ogleđa i ne odstupaju značajnije među danima. Tokom svakog uzorkovanja praćena je temperatura i sadržaj vlage u cevi koje su bile konstantne nakon uspostavljanja stacionarnog stanja.



**Slika 46.** Eksperimentalna aparatura

Pre početka merenja bilo je neophodno postići stacionarne uslove. Predhodnim istaživanjima je utvrđeno da se posle 30 minuta uspostavljaju stacionarni uslovi kako u komori tako i u ventilacionoj cevi. Stoga su merenja počinjala 45 minuta od pokretanja ogleda. Prilikom promene mernog mesta uzorkovanje je vršeno nakon 10 minuta što je bilo dovoljno da se sistem ponovo uravnoteži. Kada su stacionarni uslovi postignuti, formiran aerosol je uzorkovan na dva merna mesta u komori i pet u ventilacionoj cevi.

Ispitivani aerosol se formira u komori od stabilne emulzije ulja u vodi, koncentracije 1, 6 i 10 % , pomoću aerosol generatora. Korišćena su tri komercijalna SHP sredstva, čije su osnovne karakteristike na 20 °C date u tabeli 3, dok su osobine njihovih emulzija, date u tabeli 4.

Aerosol iz komore je usisivan ventilatorom u ventilacionu cev. Eksperimenti su vršeni pri četiri brzine vazduha u ventilacionoj cevi, i to 1, 3, 6 i 8 m/s.

## PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

### PRIKAZ REZULTATA

#### Osobine ulja i emulzija

U datom poglavlju su tabelarno prikazane numeričke vrednosti osobina ispitivanih fluida ulja i njihovih emulzija različitih koncentracija.

U praksi je retko moguće menjati jednu osobinu tečnosti, a da se ne utiče na njene ostale osobine. Ispitivana komercijalna ulja su izabran da budu različite prirode. Pored mineralnog ulja UO3, ispitivano je jedno estarsko (polusintetičko) UO5 i jedno ulje biljnog porekla UO2 koje se koristi i kao hidraulično ulje.

Osobine ulja date su u tabeli 3, odakle se može uočiti da ulje UO5 ima najveću gustinu, dok mu je površinski napon najniži od svih ispitivanih ulja. Sa druge strane ulje UO3 ima najnižu gustinu, a najviši površinski napon. Ulje UO2 je na prvom mestu po vrednosti viskoznosti i molske mase, zatim ulje UO5 i na kraju ulje UO3.

**Tabela 3.** Fizičko-hemijske osobine SHP sredstava

Analiza/uzorak	UO3	UO5	UO2	interval
Gustina 20 °C, kg/m <sup>3</sup>	870	995	923	870-995
Viskoznost na 20 °C, mPa s	6,00	6,79	10,52	6-11
Molska masa, g/mol	456	660	667	456-667
Površinski napon, mN/m	32	25	31	25-32

Osobine emulzije su date u tabeli 4. Gustina, a naročito površinski napon emulzija opadaju povećanjem zapreminske koncentracije ulja u njima. Ako se uporede vrednosti površinskog napona emulzija istih koncentracija međusobno, onda se može uočiti da najviši površinski napon imaju emulzije EO2, dok emulzije EO5 imaju najniži. Zašto emulzije EO3 nemaju najviši površinski napon, kada njihovo ulje UO3 ima najviši površinski napon u odnosu na ostala dva ispitivana ulja? Povećanjem koncentracije ulja u emulzijama se istovremeno povećava i koncentracija aditiva, od kojih neki utiču na smanjenje površinskog napona. Kod ispitivanih emuzija jednakih koncentracija nisu različite samo prirode uljne faze već i aditivi prisutni u različitim količinama.

Priroda i koncentracija ovih aditiva u uljima su nepoznate pošto su proučavani komercijalni proizvodi.

**Tabela 4.** Osobine emulzije

<b>Osobine emulzije</b>				
	<b>Koncentracija (%)</b>	<b>Viskoznost 20 °C (mPas)</b>	<b>Gustina 20 °C (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Površinski napon (mN/m)</b>
<b>EO3</b>	<b>01</b>	1,02	998,70	44,4
	<b>06</b>	1,12	992,21	39
	<b>10</b>	1,20	987,02	36,45
<b>EO5</b>	<b>01</b>	1,02	999,95	34,74
	<b>06</b>	1,12	999,71	30,62
	<b>10</b>	1,21	999,51	29,80
<b>EO2</b>	<b>01</b>	1,03	999,23	54,97
	<b>06</b>	1,15	995,39	44,5
	<b>10</b>	1,27	992,31	43,47

**Tabela 5.** Veličina kapi ulja u emulziji

<b>veličina kapi u emulziji 25 °C</b>		
<b>Emulzija</b>	<b>koncentracija (%)</b>	<b>d (nm)</b>
<b>EO3</b>	<b>01</b>	168,7
	<b>06</b>	188,6
	<b>10</b>	196,8
<b>EO3</b>	<b>01</b>	168,7
<b>EO5</b>		252,4
<b>EO2</b>		194,4

Veličina kapi ulja u emulziji je izrazito mala i kreće se od 150-250 nm, tabela 5. Emulzija EO3 ima najmanje kapi, a emulzija EO5 najveće. Porastom koncentracije ulja u emulziji veličina kapi zanemarljivo raste.

### **Reološke osobine ispitivanih tečnosti**

Reološke osobine ispitivanih SHP sredstava i njihovih emulzija prikazane su u narednim tabelama, tabele 6-9.

**Tabela 6.** Reološke karakteristike komercijalnih SHP sredstava

<b>Reologija ulja</b> Temperatura 20 °C			
<b>Napon smicanja <math>\tau</math> (Pa)</b>			
<b>Brzina smicanja Dr (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>UO3</b>	<b>UO5</b>	<b>UO2</b>
16,2	1,49	0,89	2,38
48,6	2,97	3,56	5,64
145,8	8,91	10,40	15,74
437,4	26,14	29,70	42,17
1312	74,25	88,51	118,80

**Tabela 7.** Reološke karakteristike emulzije EO3 koncentracije 1 %, 6 % i 10 %

<b>Reologija emulzije EO3</b> Temperatura 20 °C			
<b>Napon smicanja <math>\tau</math> (Pa)</b>			
<b>Brzina smicanja Dr (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>01</b>	<b>06</b>	<b>10</b>
16,2	0,25	0,25	0,25
48,6	0,28	0,28	0,28
145,8	0,34	0,46	0,49
437,4	0,93	0,77	0,86
1312	2,01	1,85	2,16

**Tabela 8.** Reološke karakteristike emulzije EO5 koncentracije  
1 %, 6 % i 10 %

<b>Reologija emulzije EO5</b> Temperatura 20 °C			
<b>Napon smicanja <math>\tau</math> (Pa)</b>			
<b>Brzina smicanja Dr (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>01</b>	<b>06</b>	<b>10</b>
16,2	0,25	0,25	0,28
48,6	0,28	0,28	0,31
145,8	0,31	0,37	0,55
437,4	0,68	0,68	0,89
1312	1,60	1,85	1,97

**Tabela 9.** Reološke karakteristike emulzije EO2 koncentracije  
1 %, 6 % i 10 %

<b>Reologija emulzije EO2</b> Temperatura 20 °C			
<b>napon smicanja <math>\tau</math> (Pa)</b>			
<b>brzina smicanja Dr (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>01</b>	<b>06</b>	<b>10</b>
16,2	0,28	0,25	0,25
48,6	0,31	0,28	0,28
145,8	0,65	0,55	0,46
437,4	1,20	0,89	0,89
1312	2,40	2,00	2,19



## Osobine ispitivanih aerosola

U ovom poglavlju dat je prikaz rezultata ispitivanih aerosola u tri serije tabela: u komori, ka cevi i u cevi za sve ispitivane brzine i koncentracije emulzija. U svakoj tabeli date su vrednosti sledećih prečnika:  $d_{10}$ ,  $d_{50}$  (MMD),  $d_{90}$  i SMD, kao i masena koncentracija i broj kapi aerosola.

### *Osobine aerosola u komori*

Niz tabela od 10. do 19. daje prikaz osobina aerosola merenog u komori.

**Tabela 10.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO3 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 01</b>						
<b>V</b>	<b><math>d_{10}</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>d_{50}</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>d_{90}</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,29</b>	<b>3,28</b>	<b>6,26</b>	<b>2,415</b>	<b>8,65</b>	<b>5023</b>
<b>V3</b>	<b>1,45</b>	<b>3,96</b>	<b>6,41</b>	<b>2,741</b>	<b>8,50</b>	<b>3670</b>
<b>V6</b>	<b>1,19</b>	<b>2,55</b>	<b>4,97</b>	<b>2,079</b>	<b>3,23</b>	<b>2293</b>
<b>V8</b>	<b>1,20</b>	<b>2,52</b>	<b>5,53</b>	<b>2,089</b>	<b>4,14</b>	<b>2908</b>

**Tabela 11.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO3 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 06</b>						
<b>V</b>	<b><math>d_{10}</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>d_{50}</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>d_{90}</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,66</b>	<b>3,93</b>	<b>7,62</b>	<b>3,029</b>	<b>23,24</b>	<b>7054</b>
<b>V3</b>	<b>1,85</b>	<b>4,20</b>	<b>7,09</b>	<b>3,287</b>	<b>23,94</b>	<b>5482</b>
<b>V6</b>	<b>2,08</b>	<b>4,67</b>	<b>7,98</b>	<b>3,666</b>	<b>23,64</b>	<b>4073</b>
<b>V8</b>	<b>1,75</b>	<b>3,94</b>	<b>7,54</b>	<b>3,136</b>	<b>17,06</b>	<b>4504</b>

**Tabela 12.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO3 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 10</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>2,24</b>	<b>4,95</b>	<b>8,12</b>	<b>3,879</b>	<b>20,01</b>	<b>3107</b>
<b>V3</b>	<b>1,75</b>	<b>4,23</b>	<b>8,17</b>	<b>3,236</b>	<b>12,22</b>	<b>3253</b>
<b>V6</b>	<b>1,69</b>	<b>3,90</b>	<b>6,61</b>	<b>3,021</b>	<b>11,55</b>	<b>3293</b>
<b>V8</b>	<b>1,93</b>	<b>4,24</b>	<b>6,86</b>	<b>3,366</b>	<b>12,06</b>	<b>2409</b>

**Tabela 13.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO5 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 01</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,28</b>	<b>3,13</b>	<b>6,46</b>	<b>2,380</b>	<b>7,71</b>	<b>4587</b>
<b>V3</b>	<b>1,38</b>	<b>3,04</b>	<b>5,02</b>	<b>2,368</b>	<b>5,15</b>	<b>2477</b>
<b>V6</b>	<b>1,50</b>	<b>3,45</b>	<b>5,90</b>	<b>2,662</b>	<b>5,25</b>	<b>2049</b>
<b>V8</b>	<b>1,14</b>	<b>2,35</b>	<b>4,12</b>	<b>1,940</b>	<b>3,22</b>	<b>2555</b>

**Tabela 14.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO5 komora 1</b>						
<b>koncentracija emulzije 06</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,56</b>	<b>3,58</b>	<b>5,90</b>	<b>2,740</b>	<b>22,25</b>	<b>7975</b>
<b>V3</b>	<b>1,78</b>	<b>4,45</b>	<b>7,80</b>	<b>3,320</b>	<b>24,98</b>	<b>6194</b>
<b>V6</b>	<b>2,00</b>	<b>4,74</b>	<b>7,31</b>	<b>3,576</b>	<b>24,26</b>	<b>4677</b>
<b>V8</b>	<b>1,63</b>	<b>3,75</b>	<b>6,42</b>	<b>2,907</b>	<b>14,48</b>	<b>4382</b>

**Tabela 15.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO5 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 10</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,79</b>	<b>3,97</b>	<b>5,98</b>	<b>3,100</b>	<b>28,88</b>	<b>7039</b>
<b>V3</b>	<b>2,07</b>	<b>4,99</b>	<b>7,83</b>	<b>3,746</b>	<b>37,00</b>	<b>6495</b>
<b>V6</b>	<b>2,01</b>	<b>4,57</b>	<b>7,23</b>	<b>3,563</b>	<b>29,96</b>	<b>5206</b>
<b>V8</b>	<b>2,31</b>	<b>5,08</b>	<b>8,30</b>	<b>4,009</b>	<b>29,34</b>	<b>3769</b>

**Tabela 16.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO2 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 01</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
V1	1,12	2,69	6,30	2,105	5,35	4181
V3	1,23	2,71	5,47	2,183	3,16	2009
V6	1,10	2,47	4,79	1,968	3,29	2722
V8	1,17	2,49	5,04	2,021	2,91	2122

**Tabela 17.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO2 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 06</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
V1	1,48	4,52	10,43	3,090	23,28	9173
V3	1,64	3,93	6,63	2,992	27,55	8543
V6	1,55	3,73	6,57	2,841	15,97	5393
V8	2,17	6,34	11,28	4,264	21,18	3676

**Tabela 18.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AO2 komora</b>						
<b>koncentracija emulzije 10</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>2,05</b>	<b>5,55</b>	<b>10,05</b>	<b>3,968</b>	<b>41,24</b>	<b>7855</b>
<b>V3</b>	<b>2,30</b>	<b>5,00</b>	<b>7,19</b>	<b>3,891</b>	<b>41,48</b>	<b>5364</b>
<b>V6</b>	<b>2,08</b>	<b>4,56</b>	<b>6,82</b>	<b>3,577</b>	<b>40,31</b>	<b>6702</b>
<b>V8</b>	<b>2,96</b>	<b>6,63</b>	<b>9,90</b>	<b>5,012</b>	<b>20,90</b>	<b>1648</b>

**Tabela 19.** Prikaz osobina aerosola AOO (voda) u komori za sve brzine

<b>Aerosol AOO komora</b>						
<b>koncentracija emulzije</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,54</b>	<b>2,91</b>	<b>4,07</b>	<b>2,238</b>	<b>0,29</b>	<b>270</b>
<b>V3</b>	<b>2,17</b>	<b>3,99</b>	<b>5,24</b>	<b>2,993</b>	<b>0,52</b>	<b>307</b>
<b>V6</b>	<b>2,56</b>	<b>4,71</b>	<b>6,68</b>	<b>3,522</b>	<b>0,63</b>	<b>295</b>
<b>V8</b>	<b>2,12</b>	<b>3,75</b>	<b>4,79</b>	<b>2,792</b>	<b>0,49</b>	<b>317</b>

**Osobine aerosola ka ventilacionoj cevi**

Niz tabela od 20. do 29. daje prikaz osobina aerosola merenog ka ventilacionoj cevi.

**Tabela 20.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO3 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,16</b>	<b>2,73</b>	<b>6,10</b>	<b>2,154</b>	<b>6,73</b>	<b>6,73</b>
<b>V3</b>	<b>1,33</b>	<b>3,04</b>	<b>5,70</b>	<b>2,390</b>	<b>3,88</b>	<b>3,88</b>
<b>V6</b>	<b>1,13</b>	<b>2,30</b>	<b>3,87</b>	<b>1,899</b>	<b>2,17</b>	<b>2,17</b>
<b>V8</b>	<b>1,14</b>	<b>2,28</b>	<b>3,94</b>	<b>1,909</b>	<b>2,35</b>	<b>2,35</b>

**Tabela 21.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO3 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,64</b>	<b>3,74</b>	<b>6,81</b>	<b>2,941</b>	<b>24,00</b>	<b>24,00</b>
<b>V3</b>	<b>2,05</b>	<b>4,70</b>	<b>7,87</b>	<b>3,636</b>	<b>16,83</b>	<b>16,83</b>
<b>V6</b>	<b>1,73</b>	<b>3,84</b>	<b>5,91</b>	<b>2,995</b>	<b>8,75</b>	<b>8,75</b>
<b>V8</b>	<b>1,47</b>	<b>3,12</b>	<b>4,86</b>	<b>2,471</b>	<b>4,31</b>	<b>4,31</b>

**Tabela 22.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO3 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,90</b>	<b>4,56</b>	<b>7,87</b>	<b>3,482</b>	<b>23,42</b>	<b>5076</b>
<b>V3</b>	<b>2,33</b>	<b>5,14</b>	<b>8,13</b>	<b>3,987</b>	<b>13,43</b>	<b>2013</b>
<b>V6</b>	<b>2,06</b>	<b>4,61</b>	<b>7,43</b>	<b>3,608</b>	<b>6,20</b>	<b>1061</b>
<b>V8</b>	<b>1,61</b>	<b>3,43</b>	<b>5,02</b>	<b>2,712</b>	<b>3,05</b>	<b>977</b>

**Tabela 23.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO5 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,27</b>	<b>1,27</b>	<b>9,00</b>	<b>2,373</b>	<b>7,33</b>	<b>4481</b>
<b>V3</b>	<b>1,25</b>	<b>1,25</b>	<b>4,59</b>	<b>2,153</b>	<b>2,64</b>	<b>1645</b>
<b>V6</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>4,13</b>	<b>2,049</b>	<b>1,63</b>	<b>1079</b>
<b>V8</b>	<b>1,09</b>	<b>1,09</b>	<b>3,71</b>	<b>1,832</b>	<b>0,89</b>	<b>768</b>

**Tabela 24.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO5 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,75</b>	<b>3,92</b>	<b>5,58</b>	<b>3,017</b>	<b>25,17</b>	<b>6678</b>
<b>V3</b>	<b>1,70</b>	<b>4,10</b>	<b>6,91</b>	<b>3,108</b>	<b>12,64</b>	<b>3538</b>
<b>V6</b>	<b>1,53</b>	<b>3,37</b>	<b>5,36</b>	<b>2,624</b>	<b>4,11</b>	<b>1618</b>
<b>V8</b>	<b>1,39</b>	<b>2,93</b>	<b>4,81</b>	<b>2,330</b>	<b>3,13</b>	<b>1531</b>

**Tabela 25.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO5 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>2,13</b>	<b>4,90</b>	<b>7,40</b>	<b>3,744</b>	<b>47,33</b>	<b>7923</b>
<b>V3</b>	<b>1,92</b>	<b>4,61</b>	<b>7,54</b>	<b>3,504</b>	<b>16,93</b>	<b>3384</b>
<b>V6</b>	<b>1,74</b>	<b>3,98</b>	<b>6,25</b>	<b>3,069</b>	<b>6,42</b>	<b>1662</b>
<b>V8</b>	<b>1,75</b>	<b>3,62</b>	<b>5,13</b>	<b>2,880</b>	<b>2,39</b>	<b>633</b>



**Tabela 26.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO2 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,20</b>	<b>3,12</b>	<b>6,58</b>	<b>2,328</b>	<b>3,90</b>	<b>2510</b>
<b>V3</b>	<b>1,17</b>	<b>2,54</b>	<b>6,07</b>	<b>2,036</b>	<b>2,18</b>	<b>1552</b>
<b>V6</b>	<b>1,20</b>	<b>2,49</b>	<b>4,56</b>	<b>2,046</b>	<b>0,72</b>	<b>499</b>
<b>V8</b>	<b>1,03</b>	<b>2,22</b>	<b>3,50</b>	<b>1,785</b>	<b>0,41</b>	<b>388</b>

**Tabela 27.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO2 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,27</b>	<b>3,16</b>	<b>7,35</b>	<b>2,403</b>	<b>14,17</b>	<b>8203</b>
<b>V3</b>	<b>1,37</b>	<b>3,18</b>	<b>5,83</b>	<b>2,470</b>	<b>8,73</b>	<b>4207</b>
<b>V6</b>	<b>1,28</b>	<b>2,80</b>	<b>8,12</b>	<b>2,326</b>	<b>3,85</b>	<b>2340</b>
<b>V8</b>	<b>1,22</b>	<b>2,64</b>	<b>4,25</b>	<b>2,097</b>	<b>1,95</b>	<b>1230</b>

**Tabela 28.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AO2 ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10</b>						
<b>V</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>2,03</b>	<b>4,91</b>	<b>8,73</b>	<b>3,746</b>	<b>53,54</b>	<b>9393</b>
<b>V3</b>	<b>1,94</b>	<b>4,26</b>	<b>6,73</b>	<b>3,382</b>	<b>21,17</b>	<b>3856</b>
<b>V6</b>	<b>1,56</b>	<b>3,30</b>	<b>5,20</b>	<b>2,632</b>	<b>7,52</b>	<b>2510</b>
<b>V8</b>	<b>1,42</b>	<b>2,87</b>	<b>4,66</b>	<b>2,343</b>	<b>3,83</b>	<b>1683</b>

**Tabela 29.** Prikaz osobina aerosola AOO (voda) na ulazu u ventilacionu cev za sve brzine

<b>Aerosol AOO ka cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije</b>						
<b>V</b>	<b>D<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
<b>V1</b>	<b>1,60</b>	<b>3,71</b>	<b>5,62</b>	<b>2,549</b>	<b>0,41</b>	<b>397</b>
<b>V3</b>	<b>1,28</b>	<b>4,04</b>	<b>5,11</b>	<b>2,293</b>	<b>0,16</b>	<b>209</b>
<b>V6</b>	<b>0,44</b>	<b>0,85</b>	<b>1,63</b>	<b>0,725</b>	<b>0,01</b>	<b>118</b>
<b>V8</b>	<b>0,41</b>	<b>0,73</b>	<b>1,25</b>	<b>0,647</b>	<b>0,01</b>	<b>69</b>

**Osobine aerosola duž ventilacione cevi**

Niz tabela od 30. do 69. daje prikaz osobina aerosola merenog duž ventilacione cevi.

**Tabela 30.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,53	4,15	7,36	2,95	10,39	3801
4	1,37	3,61	7,41	2,63	7,83	3862
6	1,23	2,81	6,18	2,21	8,04	5301
8	1,14	2,51	4,40	1,99	5,41	4261
10	1,19	2,62	4,48	2,08	4,88	3362

**Tabela 31.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,36	6,39	8,99	4,43	14,53	2151
4	1,30	2,75	4,85	2,22	2,71	1546
6	1,53	3,56	9,36	2,86	3,67	1335
8	1,23	2,73	4,76	2,14	4,19	2722
10	1,23	2,73	4,46	2,13	4,26	2771

**Tabela 32.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,39	3,06	5,70	2,40	1,96	978
4	1,20	2,53	4,60	2,05	2,11	1475
6	1,45	3,25	6,90	2,56	3,22	1425
8	1,36	2,91	4,58	2,29	2,81	1477
10	1,56	3,59	5,81	2,77	1,48	566

**Tabela 33.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,53	3,47	8,26	2,787	1,09	423
4	1,48	3,22	7,09	2,568	2,47	994
6	1,32	2,83	4,78	2,267	2,56	1414
8	1,40	3,08	6,24	2,427	2,64	1242
10	1,45	3,15	4,96	2,484	2,75	1171

**Tabela 34.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,76	3,97	6,75	3,12	28,43	7379
4	1,98	4,37	7,03	3,46	23,69	4434
6	1,68	3,96	6,53	3,03	22,90	6691
8	1,78	3,96	6,23	3,12	25,20	6356
10	1,94	4,47	7,07	3,45	30,34	6182

**Tabela 35.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,19	4,75	7,13	3,71	17,26	2773
4	1,93	4,18	5,98	3,27	17,30	3577
6	2,61	5,58	9,54	4,40	39,19	4610
8	2,49	4,71	6,69	3,86	32,50	3872
10	2,28	5,01	8,16	3,91	27,00	4069

**Tabela 36.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	2,30	4,68	6,59	3,72	8,77	1263
4	2,36	5,07	8,00	4,01	14,01	1875
6	2,78	5,54	8,51	4,47	12,33	1187
8	2,57	5,22	8,64	4,22	11,90	1325
10	2,12	4,56	7,07	3,59	11,96	2029

**Tabela 37.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	3,18	5,51	7,34	4,55	6,32	548
4	2,56	5,26	8,33	4,21	11,94	1411
6	1,98	4,36	7,22	3,43	8,70	1767
8	2,00	4,34	6,95	3,46	8,19	1548
10	2,26	4,82	7,15	3,76	9,94	1520

**Tabela 38.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,66	3,90	6,31	3,00	21,60	6324
4	1,65	3,82	6,23	2,27	19,52	5852
6	1,80	4,31	7,75	3,31	24,79	6118
8	2,11	5,04	8,05	3,81	36,83	6464
10	1,81	4,38	7,44	3,31	23,55	5806

**Tabela 39.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,33	5,17	8,35	4,02	17,59	2501
4	2,18	4,81	7,73	3,76	17,15	2849
6	1,86	4,31	7,17	3,33	13,26	3036
8	2,22	4,63	7,13	3,69	12,13	1871
10	2,36	5,17	8,82	4,11	22,32	3134

**Tabela 40.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	2,42	2,42	7,37	3,989	6,15	898
4	2,40	2,40	8,56	4,168	11,00	1502
6	2,07	2,07	7,36	3,643	10,12	1850
8	2,09	2,09	7,72	3,694	7,38	1242
10	2,44	2,44	9,46	4,195	9,99	1282

**Tabela 41.** Prikaz osobina aerosola AO3 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO3 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	2,10	4,69	7,04	3,69	1,73	294
4	2,45	4,79	6,66	3,87	5,73	685
6	2,16	4,80	8,21	3,75	7,57	1225
8	2,73	5,40	7,96	4,34	7,91	738
10	2,22	4,95	7,92	3,69	7,06	1000



**Tabela 42.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,13	2,39	4,23	1,94	5,71	4640
4	1,22	2,81	4,84	2,18	5,95	3891
6	1,22	2,81	4,95	2,18	6,77	4447
8	1,32	3,05	4,89	2,32	6,74	3798
10	1,29	3,05	5,09	2,28	6,10	3609

**Tabela 43.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,33	3,01	4,89	2,32	3,61	1971
4	1,60	3,72	5,56	2,84	3,76	1184
6	1,46	3,44	5,65	2,60	4,70	1946
8	1,28	2,96	5,21	2,28	4,03	2330
10	1,32	3,06	5,49	2,36	4,12	2254

**Tabela 44.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,41	3,12	5,42	2,43	1,52	723
4	1,48	3,32	5,66	2,56	2,78	1139
6	1,32	2,97	5,14	2,30	2,01	1101
8	1,48	3,29	5,45	2,55	1,91	811
10	1,40	3,26	5,51	2,47	2,83	1344

**Tabela 45.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,80	3,94	6,90	3,11	1,71	474
4	1,49	3,53	6,77	2,71	2,18	872
6	1,27	2,82	4,56	2,19	1,89	1139
8	1,46	3,31	5,39	2,57	2,29	952
10	1,44	3,12	4,91	2,46	2,27	988

**Tabela 46.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	1,49	3,48	6,37	2,69	18,08	7212
4	1,75	4,10	6,07	3,11	26,31	6886
6	1,77	4,22	6,55	3,19	30,45	7899
8	1,73	4,18	6,77	3,15	28,85	7949
10	1,55	3,73	6,42	2,83	21,33	7698

**Tabela 47.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	1,78	4,22	6,66	3,20	13,51	3353
4	1,77	4,23	7,42	3,25	17,30	4380
6	1,76	4,23	7,58	3,25	17,38	4366
8	2,14	5,02	8,27	3,84	21,93	3568
10	1,68	4,06	7,03	3,09	14,59	4175

**Tabela 48.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,86	4,30	7,00	3,31	3,70	948
4	2,08	4,51	7,16	3,56	11,47	2021
6	1,86	4,49	7,20	3,38	10,79	2444
8	2,31	5,48	9,71	4,18	16,19	2213
10	2,21	5,03	8,00	3,88	15,86	2378

**Tabela 49.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,40	5,14	7,67	4,01	3,68	475
4	1,94	4,05	5,93	3,25	6,96	1342
6	2,24	5,12	7,85	3,93	11,79	1739
8	2,10	4,81	7,83	3,71	10,88	1889
10	1,80	4,11	6,88	3,21	7,46	1769

**Tabela 50.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	3,70	6,52	8,68	5,40	158,64	8477
4	1,78	4,16	7,09	3,21	34,08	8610
6	1,97	4,70	7,62	3,57	42,28	8450
8	1,47	3,38	5,80	2,60	17,79	7441
10	2,11	5,10	8,47	3,83	47,39	8426

**Tabela 51.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,38	5,01	6,99	3,92	27,84	3537
4	2,38	5,60	9,18	4,22	30,93	4141
6	1,93	4,54	7,65	3,49	20,99	4264
8	1,72	4,06	7,12	3,12	14,48	3921
10	2,44	5,67	9,25	4,31	34,48	4325

**Tabela 52.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,75	5,51	8,71	4,46	7,03	676
4	2,43	5,26	8,29	4,16	22,83	2619
6	2,44	5,79	9,29	4,35	21,75	2636
8	2,17	5,00	7,75	3,81	17,07	2628
10	1,87	4,24	6,87	3,32	11,40	2446

**Tabela 53.** Prikaz osobina aerosola AO5 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO5 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	4,16	7,27	9,72	6,06	10,71	393
4	2,87	6,09	8,77	4,72	23,99	2100
6	2,71	5,59	8,24	4,42	21,55	2187
8	2,98	6,28	9,57	4,90	24,56	2103
10	2,30	5,18	8,76	4,03	15,03	2101

**Tabela 54.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,09	2,58	6,36	2,04	4,61	3877
4	0,96	2,12	4,1	1,74	3,63	3988
6	1	2,30	4,05	1,81	3,67	3696
8	1,11	2,59	4,67	2,01	4,07	3243
10	1,14	2,68	4,63	2,04	3,16	2389

**Tabela 55.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,35	3,10	6,14	2,43	3,93	1973
4	1,22	2,80	5,64	2,19	3,20	2063
6	1,36	3,12	5,33	2,40	3,81	1931
8	1,15	2,60	4,36	2,02	2,91	2226
10	1,24	2,73	4,53	2,13	1,72	1087

**Tabela 56.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,57	5,77	11,42	3,27	2,53	874
4	1,45	3,38	8,25	2,65	2,36	982
6	1,24	2,81	4,76	2,18	1,74	1110
8	1,38	2,96	4,98	2,35	1,39	676
10	1,36	3,10	5,25	2,40	2,50	1288

**Tabela 57.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 1 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 01 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>	<b>SMD (μm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	1,53	3,37	5,48	2,64	0,92	367
4	1,25	2,81	5,05	2,21	1,57	969
6	1,34	3,06	5,44	2,36	1,72	920
8	1,25	2,78	4,50	2,16	1,56	994
10	1,34	2,93	4,72	2,31	1,25	640



**Tabela 58.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	1,64	4,80	8,89	3,30	31,42	9701
4	1,75	4,81	9,94	3,47	33,01	8458
6	1,57	3,89	8,56	3,00	25,31	8675
8	1,44	3,41	6,30	2,63	21,76	9317
10	1,49	3,75	9,27	2,86	17,97	7092

**Tabela 59.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	1,41	3,22	6,10	2,520	11,83	5431
4	1,53	3,73	9,19	2,877	15,86	5864
6	1,80	4,20	7,52	3,231	21,67	5399
8	1,36	3,16	5,45	2,435	10,68	5380
10	1,41	3,33	5,61	2,545	12,12	5489

**Tabela 60.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	3,53	7,54	9,89	5,763	30,19	1523
4	1,65	3,70	5,94	2,903	9,75	2895
6	1,51	3,53	5,93	2,722	9,00	3273
8	1,65	3,83	5,89	2,940	13,41	4139
10	1,90	4,34	6,58	3,322	17,81	4029

**Tabela 61.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 6 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 06 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,44	5,97	10,99	4,455	5,11	643
4	1,75	4,05	10,88	3,193	8,79	2298
6	1,66	3,75	6,32	2,934	7,12	2096
8	1,58	3,64	5,97	2,842	6,22	2006
10	1,66	3,93	6,30	3,028	9,04	2671

**Tabela 62.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,15	5,30	10,36	4,00	64,88	10913
4	1,89	4,37	6,92	3,37	47,59	9891
6	1,70	4,23	7,98	3,19	36,32	9800
8	1,57	3,69	6,56	2,85	28,29	9307
10	1,82	4,30	7,48	3,33	42,79	9280

**Tabela 63.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>Mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,10	4,92	9,25	3,83	33,94	5692
4	2,25	4,92	8,00	3,86	30,91	4318
6	1,91	4,26	7,87	3,41	21,17	4227
8	2,36	5,43	7,95	4,10	36,14	4557
10	2,31	5,30	8,57	4,08	31,36	4220

**Tabela 64.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,43	5,31	8,49	4,17	14,79	1835
4	2,11	4,92	8,41	3,81	16,10	2528
6	2,41	5,23	7,95	4,08	20,06	2438
8	2,14	4,75	7,98	3,77	15,70	2416
10	2,11	4,54	7,03	3,60	16,07	2675

**Tabela 65.** Prikaz osobina aerosola AO2 (emulzija 10 %) duž ventilacione cevi za brzinu V8

<b>Aerosol AO2 u cevi</b>						
<b>koncentracija emulzije 10 brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	3,89	7,51	10,49	6,07	23,02	840
4	2,56	5,90	9,79	4,51	25,31	2752
6	2,61	5,77	9,36	4,52	13,48	1201
8	2,55	5,68	10,10	4,47	15,29	1597
10	2,45	5,38	9,44	4,24	19,76	2397

**Tabela 66.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V1

<b>Aerosol AOO u cevi</b>						
<b>brzina vazduha V1</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,39	3,86	5,81	3,28	1,06	386
4	1,35	4,31	6,26	2,64	0,38	442
6	2,91	4,90	6,46	3,49	0,60	330
8	0,71	3,66	4,60	1,77	0,15	345
10	0,47	1,01	2,54	0,86	0,05	356

**Tabela 67.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V3

<b>Aerosol AOO u cevi</b>						
<b>brzina vazduha V3</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (µm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (µm)</b>	<b>SMD (µm)</b>	<b>mas.kon. (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>broj kapi (N/cm<sup>3</sup>)</b>
2	2,39	3,86	5,81	3,28	1,06	386
4	1,35	4,31	6,26	2,64	0,38	442
6	2,91	4,90	6,46	3,49	0,60	330
8	0,71	3,66	4,60	1,77	0,15	345
10	0,47	1,01	2,54	0,86	0,05	356

**Tabela 68.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V6

<b>Aerosol AOO U cevi</b>						
<b>brzina vazduha V6</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	2,40	5,09	6,16	3,33	0,27	161
4	0,66	3,04	4,07	1,56	0,07	187
6	2,95	5,01	5,97	3,59	0,40	163
8	0,76	4,18	5,04	1,77	0,08	161
10	0,64	2,22	3,77	1,39	0,05	137

**Tabela 69.** Prikaz osobina aerosola AOO duž ventilacione cevi za brzinu V8

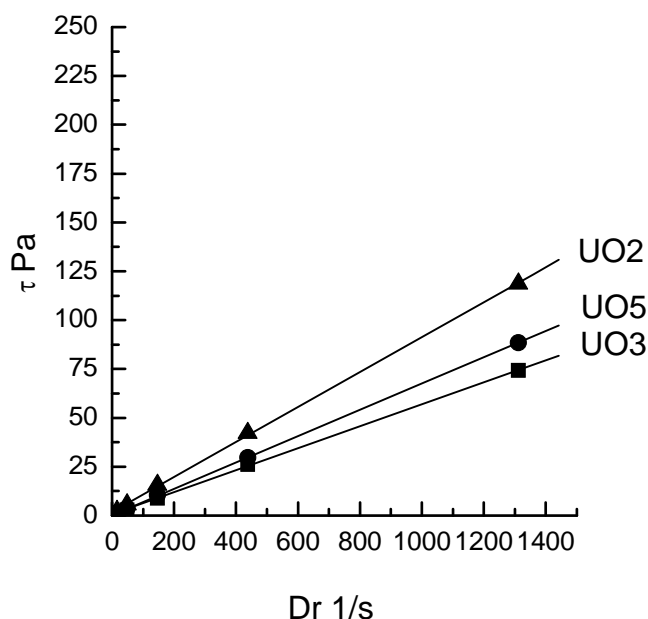
<b>Aerosol AOO u cevi</b>						
<b>brzina vazduha V8</b>						
<b>L (m)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>SMD (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>mas.kon. (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>broj kapi (<math>\text{N}/\text{cm}^3</math>)</b>
2	2,85	7,69	8,41	4,73	0,69	103
4	2,91	4,66	5,71	3,50	0,35	162
6	0,81	3,97	5,02	2,10	0,09	147
8	2,75	5,16	5,84	3,58	0,34	139
10	0,53	1,40	3,09	1,02	0,03	154

## ANALIZA REZULTATA

### Reologija ispitivanih tečnosti

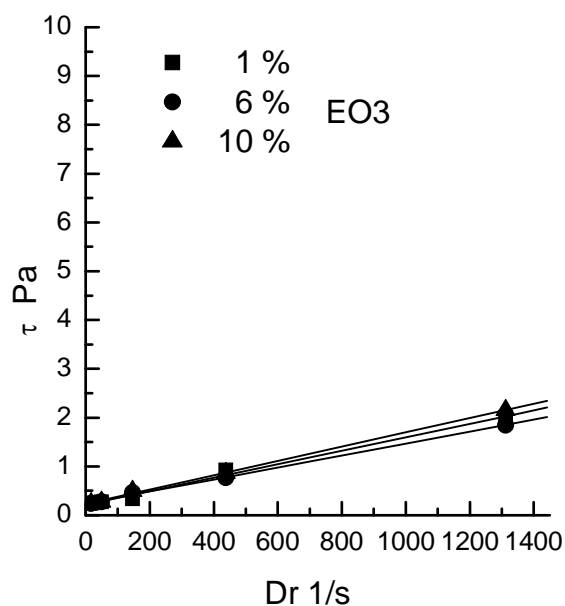
Na samom početku neophodno je ispitati reološke osobine korišćenih ulja i emulzija o čemu je bilo reč i u teorijskom delu, vezanom za atomiziranje. Prilikom atomiziranja centrifugalnom silom tečnost je izložena smicanju, te je njeno ponašanje uslovljeno njenom reološkom prirodom. Bitno je znati da li se radi o njutnovskim fluidima kod kojih viskoznost ne zavisi od brzine smicanja, ili o nenjutnovskim kod kojih viskoznost ne samo da zavisi od brzine smicanja nego može da zavisi i od dužine izlaganja tečnosti smicanju.

Rezultati reoloških ispitivanja tri komercijana ulja UO3, UO5 i UO2 prikazani su na slici 47. Kako su zavisnosti napona smicanja od brzine smicanja za sva ulja opisane jednačinom prave koje idu iz koordinatnog početka može se konstatovati da su ulja njutnovski fluidi. To znači da njihova viskoznost ne zavisi od brzine smicanja, što je bitna informacija kod njihovog atomiziranja centrifugalnom silom. Maksimalni napon smicanja za ulje UO3 iznosi 74,25 Pa, za ulje UO5 88,51 Pa, dok je za ulje UO2 to 118,80 Pa.



**Slika 47.** Grafički prikaz reoloških osobina ispitivanih ulja

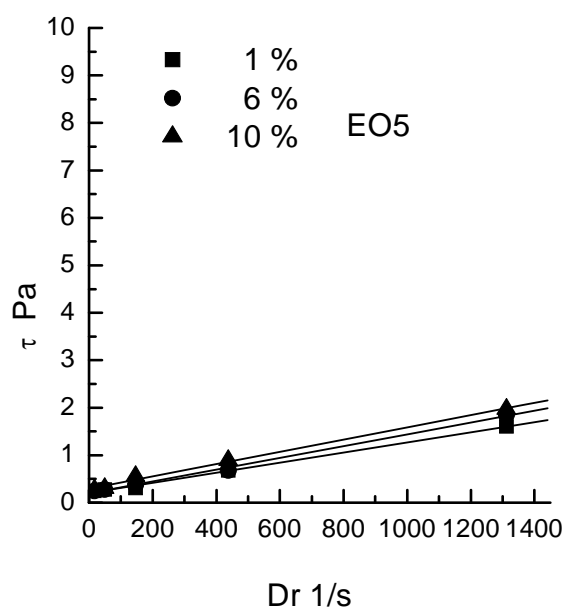
Reološke osobine emulzija EO3 koncentracija 1 %, 6 % i 10 % za ulje UO3 date su na slici 48. Kako su ispitivane emulzije izrazito razblažene bilo je za očekivati da su naponi smicanja niski i bliski međusobno za sve ispitivane koncentracije. Maksimalna vrednost napona smicanja iznosi 2,16 Pa. Sve emulzije EO3 su takođe njutnovski fluidi.



**Slika 48.** Grafički prikaz reoloških osobina emulzija EO3

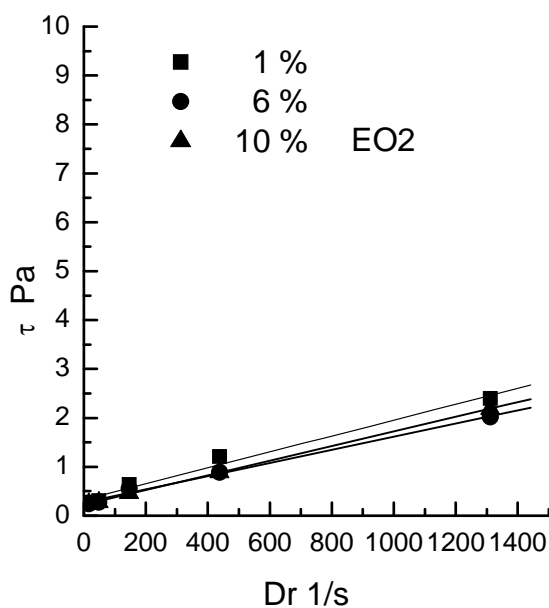
Reološke osobine emulzija EO5 koncentracija 1 %, 6 % i 10 % za ulje UO5 date su na slici 49. Maksimalna vrednost napona smicanja kod ovih emulzija iznosi 1,97 Pa. Sve emulzije EO5 su takođe njutnovski fluidi.





**Slika 49.** Grafički prikaz reoloških osobina emulzija EO5

Reološke osobine emulzija EO2 koncentracija 1 %, 6 % i 10 % za ulje UO2 date su na slici 50. I emulzije EO2 imaju izrazito niske vrednosti napona smicanja. Maksimalna vrednost napona smicanja kod ovih emulzija iznosi 2,19 Pa. Sve emulzije EO5 su takođe njutnovski fluidi.



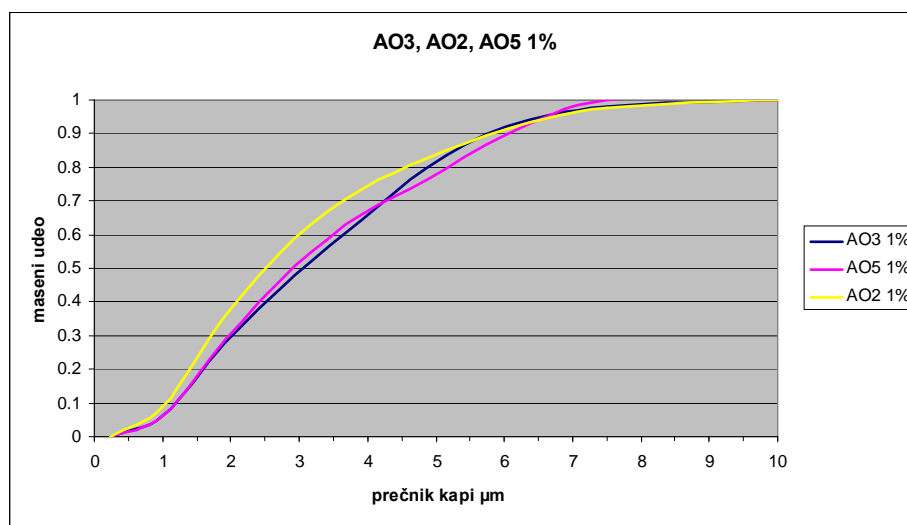
**Slika 50.** Grafički prikaz reoloških osobina emulzija EO2

## Atomiziranje emulzije

### *Atomiziranje*

Analiza rezultata osobina i ponašanja aerosola rađena je na bazi kumulativnih krivih, krivih raspodele veličine kapi, vrednosti Sauter prečnika, SMD, vrednosti masenog median prečnika, MMD, i udela čestica manjih od 2,5  $\mu\text{m}$ , PM2.5.

Atomiziranje vode i emulzije praćeno je na mernom mestu u komori. Veličina kapi ispitivanih aerosola nalaze se u opsegu od 0,3 do 12,5  $\mu\text{m}$ , kao što se vidi iz prikazane kumulativne krive. Treba istaći da aerosol formiran od stabilne emulzije u uslovima našeg eksperimenta spada u toričnu frakciju, slika 51.



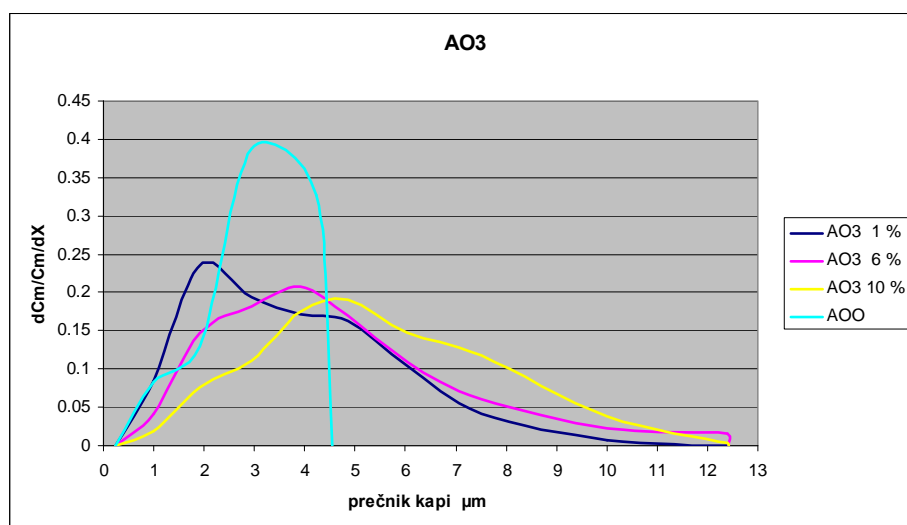
**Slika 51.** Kumulativne krive aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 1 % emulzija

Udeo čestica manjih od 2,5  $\mu\text{m}$ , PM2.5, za sve ispitivane aerosole je prikazan u tabeli 70. Može se uočiti da je PM2.5, kod svih ulja, za koncentraciju emulzije 1 % zastupljen u opsegu 40 % - 49 %, da bi za koncentraciju emulzije od 10 % zastupljenost opala na 15-25 %.

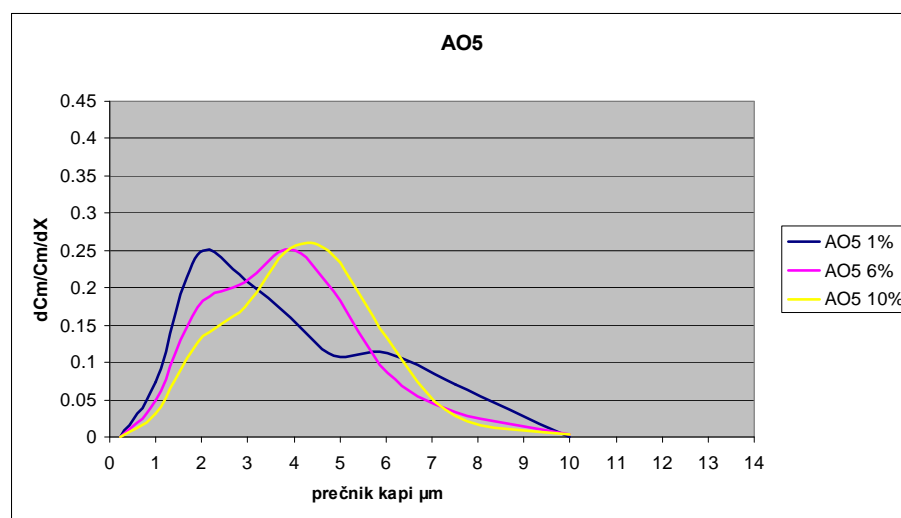
**Tabela 70.** Udeo čestica manjih od  $2,5\mu\text{m}$ , PM.2.5, za ispitivane aerosole

PM 2.5 (%) AEROSOL	koncentracija		
	1	6	10
AO3	40	27	15
AO5	43	32	25
AO2	49	28	16

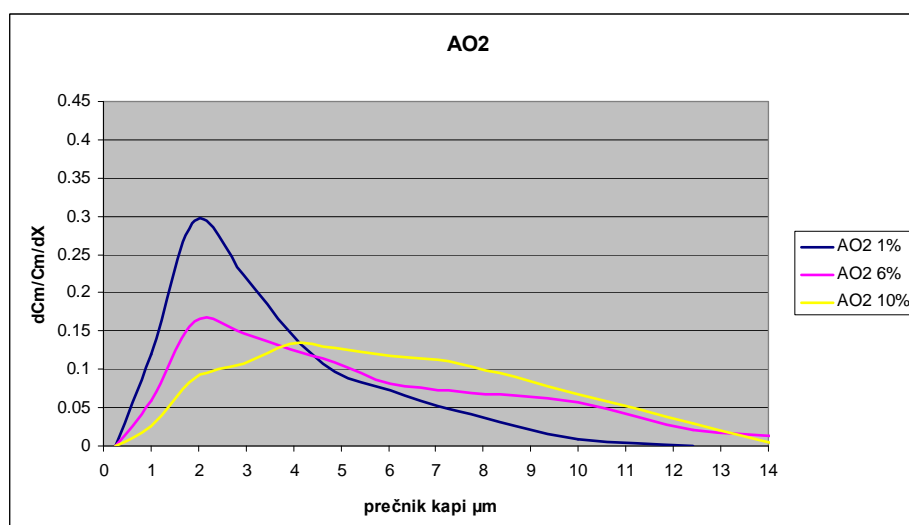
Pomeranje krive raspodele ka većim prečnicima porastom koncentracije emulzije jasno se vidi na sledećim slikama, slike 52. 53. i 54.



**Slika 52.** Krive raspodele aerosola vode AOO i aerosola AO3 formiranih od 1 %, 6 % i 10 % emulzije



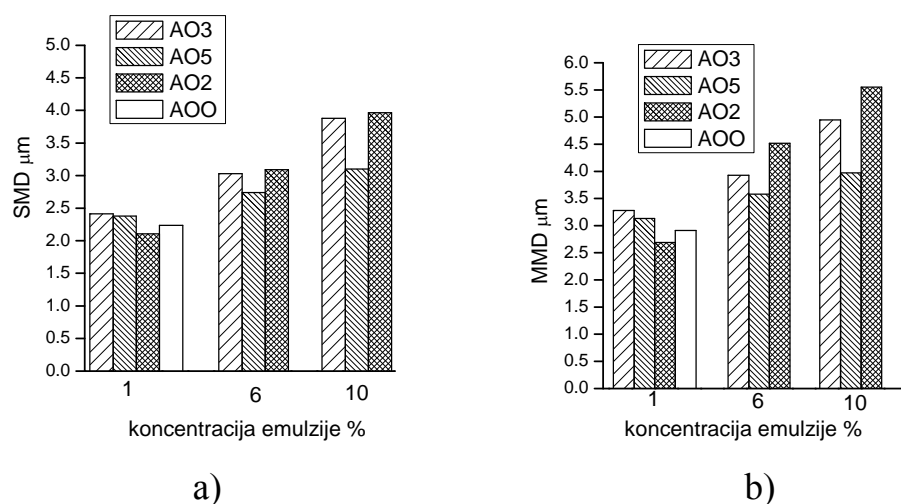
**Slika 53.** Krive raspodele aerosola AO5 formiranih od 1 %, 6 % i 10 % emulzije



**Slika 54.** Krive raspodele aerosola AO2 formiranih od 1 %, 6 % i 10 % emulzije

Analizirajući raspodelu veličina kapi aerosola formiranog od vode, AOO, uočava se da je ona znatno uža i da se nalazi u oblasti sitnijih kapi u odnosu na aerosole emulzija. Veličina kapi aerosola vode, AOO, nalazi se u opsegu od 0,3 do 4,5  $\mu\text{m}$ . Aerosol vode manje je polidisperzan od aerosola emulzija. Razblažene emulzije koncentracije 1 % formiraju aerosole čiji su SMD i

MMD približni vrednostima aerosola vode, AOO, dok porastom koncentracije ulja u emulziji SMD i MMD prečnici aerosola rastu slika, 55. a) i b).

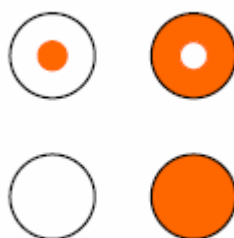


**Slika 55.** Poređenje: a) SMD prečnika i b) MMD prečnika za sve ispitivane aerosole

Broniarz-Press et. [121] su takođe uočili porast SMD prečnika porastom koncentracije emulzije, iako su njihove emulzije bile koncentrovane, a način atomiziranja drugačiji. Oni su ovaj fenomen povezali sa viskoznošću emulzije koja raste porastom njene koncentracije u njihovim ogledima. U našim okolnostima se radi o razblaženim emulzijama, koje su njutnovski fluidi i čije su viskoznosti bliske za sve uzorke, a iznose oko 1,00 mP s. I pored toga što se viskoznosti naših emulzija ne razlikuju međusobno, prečnici kapi aerosola rastu porastom koncentracije emulzije. Ostaje otvoreno pitanje zbog čega dolazi do porasta prečnika kapi aerosola porastom koncentracije emulzije koja se atomizira, ako isparavanja gotovo da nema, a viskoznost emulzije takođe ostaje nepromenjena.

Grupa autora koja je uočeni fenomen objasnila isparavanjem vodene faze iz kapi aerosola pošla je od pretpostavke da je svaka kap aerosla emulzija [101, 115]. Da li svaka kap aerosola nastalog atomiziranjem emulzije mora biti emulzija?

Emulzije su i hemijski i fizički heterogeni sistemi, dok su SHP kompleksne smeše većeg broja jedinjenja. Aditivi koji se dodaju su takođe složene supstance koje se neravnomerno raspoređuju u zapremini emulzije, različito u vodi nego u ulju. Fizička heterogenost emulzije, kao što je poznato, ogleda se u tome što su kapi dispergovane faze distribuirane u nekim tačkama zapremine kontinualne faze. Logično se može postaviti hipoteza da je aerosol nastao od emulzije takođe heterogen. To bi značilo da sve kapi aerosola ne moraju biti jednake prirode. Teorijski posmatrano kapi aerosola nastalog od emulzije mogu biti pored kapi emulzije (i to kako ulja u vodi, tako i vode u ulju) i kapi čistog ulja, kao i kapi vode u kojoj su sigurno rastvoreni aditivi, slika 56.



**Slika 56.** Teorijski mogući tipovi kapi aerosola

Mogućnost nastajanja navedenog asortimana kapi aerosola mogao bi se objasniti atomiziranjem centrifugalnom silom na sledeći način. Prilikom atomiziranja tečnosti centrifugalnom silom dolazi do formiranja filma, ligamenata i kapi [122, 135]. Ako je intenzitet centrifugalne sile kojoj su izloženi ovi delovi emulzije, veći od sternog odbijanja kapi ulja opkoljenih površinski aktivnim materijama, moglo bi doći do pregrupisavanja dve tečnosti koje grade emulziju na taj način da će tečnost manje gustine da se pomera bliže osi rotacije, a tečnost veće gustine dalje od ose, slika 57. Tako postoji mogućnost da film i ligament fluida ima segmente u kojima se nalazi ulje, zatim segmente u kojima ima i ulja i vode, i na kraju segmente samo vode. Raspadanjem ovako raslojenih fragmenata fluida mogu se dobiti sva četiri tipa navedenih kapi u aerosolu.



**Slika 57.** Grafički prikaz atomiziranja emulzije i formiranje heterogenog aerosola

Kako su merene veličine kapi u ispitivanim emulzijama može se istaći da su one izrazito male i kreću se oko 200 nm, tabela 5. Ta činjenica takođe dovodi u sumnju tvrdnju istraživača da kapi ulja nastaju u aeroslu tako što voda ispari, a ulje ostaje. U tim okolnostima bi kapi ulja bile mnogo sitnije. Kako merenja pokazuju, tabela 70, da porastom koncentracije emulzije opada udeo frakcije PM2.5 kod svih ispitivanih ulja, to ukazuje da se kapi ulja ukрупnjavaju pre atomiziranja ili pri atomiziranju, a to je jedino moguće premeštanjem uljne faze u zapremini emulzije.

Ako emulzija kao heterogen sistem formira heterogen aerosol koji sadrži i kapi čistog ulja onda bi i broj tih kapi rastao porastom koncentracije ulja u emulziji. Ulje kao vizkozni fluid, uslovljava formiranje krupnijih kapi u aerosolu. Kada je tih kapi više, tada su i SMD i MMD veći. Porast veličine kapi aerosola direktno je proporcionalan porastu viskoznosti ulja koje grade emulzije, iako to ne mora da povećava viskoznost same emulzije kao što je slučaj u ovim istraživanjima.

Zavisnost porasta kapi aerosola porastom koncentracije emulzije može se povezati još sa jednom osobinom, a to je površinski napon emulzije. Kako je površinski napon vode visok, 72,8 mN/m, a ulja nizak, 25-32 mN/m, tabela 3., povećanjem koncentracije ulja očekivano opada površinski napon emulzije. Tako je kod emulzije EO3, za 1 % površinski napon 44,4 mN/m, dok za 10 % opada na 36,45 mN/m, tabela 4. Znači da su koncentracija emulzije i njen površinski

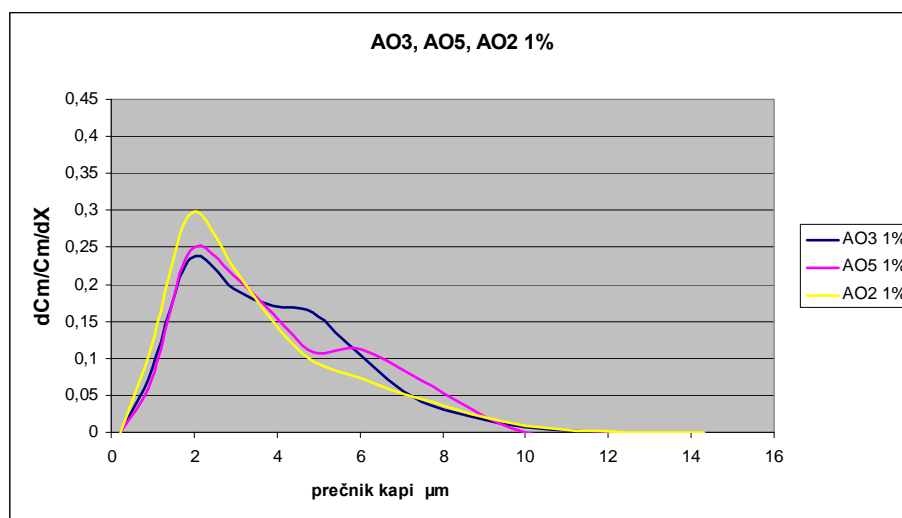
napon povezane veličine. Rezultati pokazuju da opadanjem površinskog napona emulzije rastu kapi aerosola. Međutim u literaturi postoji suprotno mišljenje da opadanjem površinskog napona tečnosti opada i veličina kapi aerosola [100]. Data zavisnost dobijena je teorijski izjednačavanjem centrifugalne sile, i sile površinskog napona, a moguće je da ona ne važi za heterogene tečnosti.

General Motors grupa je radila svoja istraživanja [96, 101, 111, 114] u industrijskim uslovima gde je veliki broj faktora promenljiv čime je značajno otežano donošenje generalnih zaključaka o fenomenima koji se dešavaju. Sa druge strane su Broniarz-Press i saradnici radili u laboratorijskim uslovima, eksperimentišući na koncentrovanim model emulzijama mineralnog ulja koristeći uvek isti emulgator pa je time priroda aditiva bila jednaka [121]. Viskoznost emulzija određivana je računskim putem i kretala se u intervalu 1.92 - 32.50 mPs. Međutim naša istraživanja su iako rađena u laboratorijskim uslovima bila usmerena na komercijalna SHP sredstva različite prirode čime su se i aditivi među ispitivanim emulzijama razlikovali, dok je viskoznost uzoraka bila bliska. Na taj način ova istraživanja imaju praktičan značaj jer su bliska realnim uslovima u industriji.

### ***Uticao prirode ulja i emulzija na osobine aerosola***

Uticao prirode ispitivanih SHP ulja, na osobine formiranih aerosola analiziran je pri konstantnoj koncentraciji emulzije. Na slici 58. prikazani su aerosoli AO3, AO2 i AO5 formirani atomiziranjem 1 % emulzija EO3, EO5 i EO2. Raspon veličina čestica aerosola je jednak kod svih aerosola, i nalazi se u opsegu od 0,2  $\mu\text{m}$  do 11  $\mu\text{m}$ . Krive raspodele za sva tri aerosola su slične, kao i mode prečnici koji iznose 2,2  $\mu\text{m}$ . Pored toga broj kapi aerosola je blizak, [tabela 71.](#), dok se masene koncentracije međusobno razlikuju.



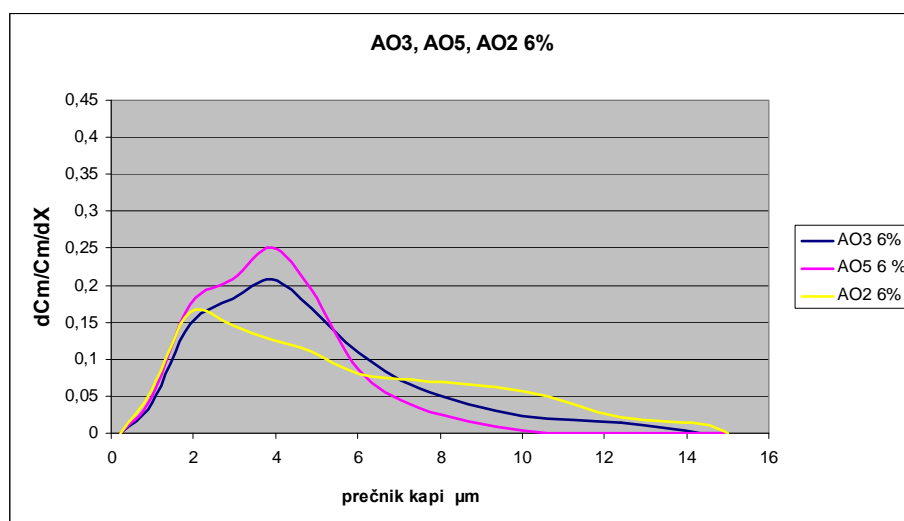


**Slika 58.** Krive raspodele aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 1 % emulzija

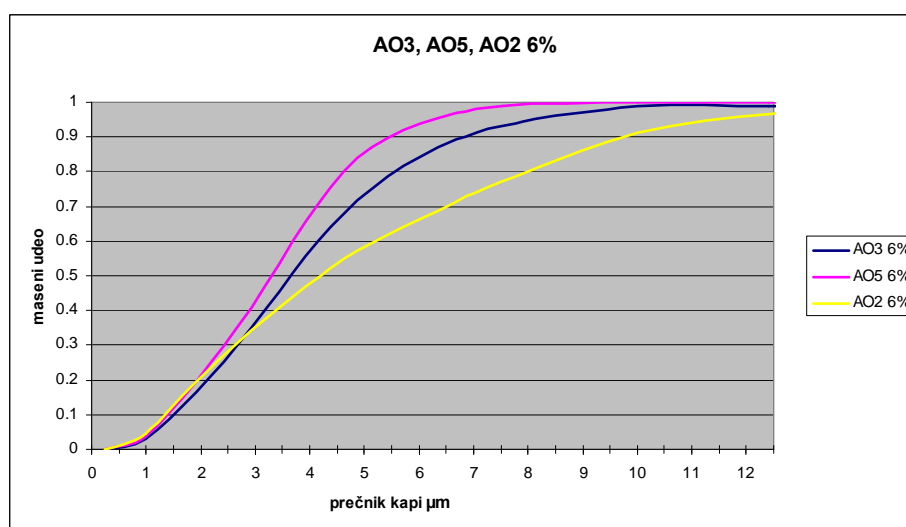
**Tabela 71.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 pri različitim koncentracijama atomiziranja emulzije

koncentracija emulzije (%)	NC/MC	aerosol		
		AO3	AO5	AO2
1	NC ( $P/cm^3$ )	5023	4587	4181
	MC ( $mg/m^3$ )	2,42	7,71	5,35
6	NC ( $P/cm^3$ )	7054	7975	9173
	MC ( $mg/m^3$ )	23,24	22,25	23,28
10	NC ( $P/cm^3$ )	3107	7039	7855
	MC ( $mg/m^3$ )	20,01	28,88	41,24

Aerosoli formirani od 6 % emulzija međusobno se razlikuju, slika 59. Aerosol AO5 ima najužu raspodelu, dok aerosol AO2 ima najširu krivu raspodelu. Mode prečnici aerosola AO5 i AO3 su jednaki i iznose 4  $\mu m$ , ali je udeo u AO5 veći nego kod AO3. Iako aerosol AO2 ima najmanji mode, 2,1  $\mu m$ , njegove kapi u aerosolu su najkрупnije, što je uočljivije na kumulativnoj krivoj, slika 60. Masena koncentracija ovih aerosola je približno jednaka, tabela 71.



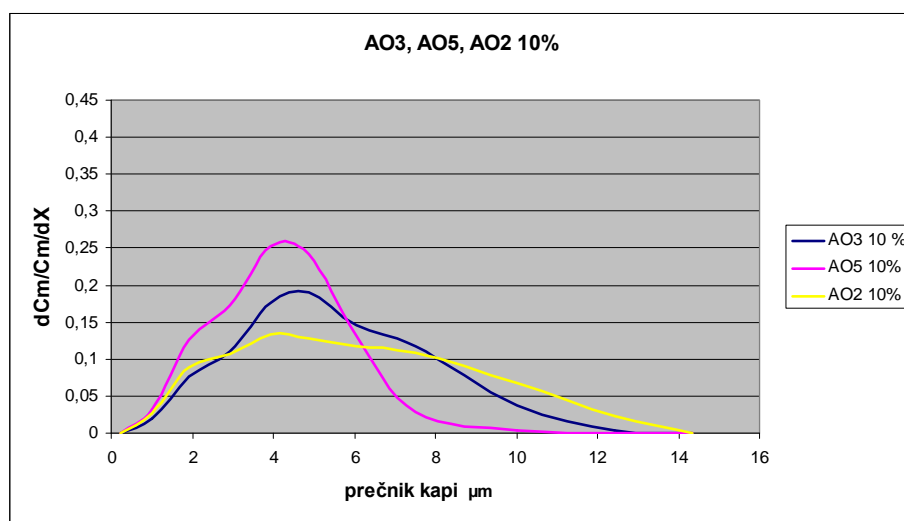
**Slika 59.** Krive raspodele aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 6 % emulzija



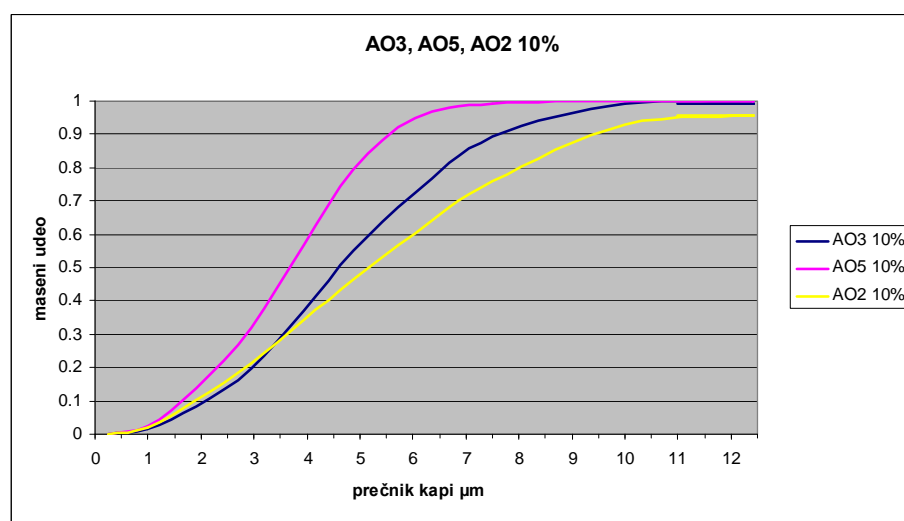
**Slika 60.** Kumulativne krive aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 6 % emulzija

Pri koncentraciji emulzije od 10 %, formirani aerosoli se najviše razlikuju međusobno, slika 61. i 62. Iako imaju približno jednake mode prečnike, za AO2 je 4 μm, a za AO3 i AO5 4,5 μm, rasponi krivih raspodele, kao i kumulativne krive im se bitno razlikuju. Aerosol AO5 ima najužu krivu raspodele, zatim aerosol AO3, i na kraju AO2. Maseni *median* prečnik, MMD, je najveći za aerosol AO2 i iznosi 5 μm, a najmanji je za AO5 iznosi 3,5 μm. Kada je reč o

masenoj koncentraciji, ona je najniža za aerosol AO3, i iznosi 20,01 mg/m<sup>3</sup>, tabela 71., a najviša je za aerosol AO2, 41,24 mg/m<sup>3</sup>, tabela 71.



**Slika 61.** Krive raspodele aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 10 % emulzija



**Slika 62.** Kumulativne krive aerosola AO3, AO5 i AO2 formiranih od 10 % emulzija

Mogući uzrok zašto se aerosoli pri koncentraciji od 10 % emulzije najviše razlikuju međusobno, može biti taj da pri ovoj koncentraciji emulzije ima najviše kapi ulja u aerosolu, te priroda ulja ovde ima najveći uticaj.

Ako se uporede osobine SHP sredstava od kojih su izgrađene emulzije onda ulje UO2 ima najvišu viskoznost i molsku masu, a njegove emulzije najviši površinski napon. To bi mogao biti razlog zašto su kapi aerosola AO2 formirane od emulzija EO2 6 % i 10 % najkrupnije. Sa druge strane kapi aerosola AO5 formirane od emulzija EO5 6 % i 10 % su najsitnije. Ako se analizira ulje UO5 kao i njegove emulzije, primećuje se da one imaju najniži površinski napon, dok je viskoznost ulja UO5 znatno niža od viskoznosti ulja UO2, a molska masa je bliska molskoj masi ulja UO2.

Može se konstatovati da su viskoznost i površinski napon i u ovim okolnostima osobine tečnosti koje dominantno utiču na veličinu formiranih kapi u aerosolu. Kao što je već istaknuto u teorijskom delu, tečnosti više viskoznosti formiraju krupnije kapi. Treba podvući da se viskoznosti ispitivanih emulzija ne razlikuju međusobno, a ipak im se razlikuju veličine kapi u aerosolu. Ako se krene od pretpostavke da je aerosol formiran od emulzije heterogen, i da u njemu ima i kapi ulja, onda su te kapi krupnije kod aerosola formiranog od emulzije izgrađene od viskoznijeg ulja.

Na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata urađena je multivarijaciona regresiona analiza za SMD i MMD prečnik u zavisnosti od osobina ulja i koncentracije emulzije. Dobijene su sledeće regresione jednačine:

$$\text{SMD} = 16,22 \mu_{\text{ulja}}^{0,195} C_{\text{emulzije}}^{0,183} M_{\text{ulja}}^{-0,37} \quad (\text{R} = 0,92) \quad (50)$$

$$\text{MMD} = 2,02 \mu_{\text{ulja}}^{-0,02} \sigma_{\text{ulja}}^{0,32} C_{\text{emulzije}}^{0,16} M_{\text{ulja}}^{-0,1} \quad (\text{R} = 0,94) \quad (51)$$

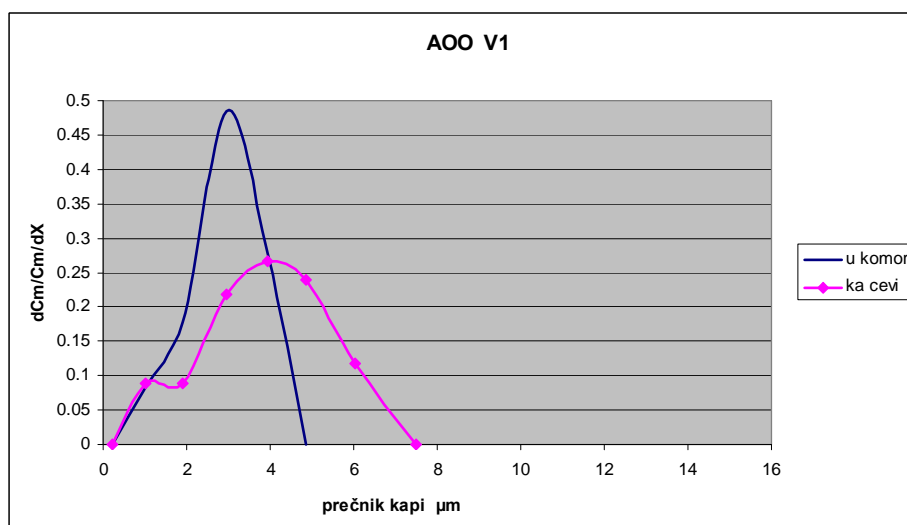
## Strujanje aerosola u komori

Strujanje aerosola praćeno je kako unutar komore prilikom njegovog kretanja prema ventilacionoj cevi, tako i u samoj ventilacionoj cevi.

### *Uticaj brzine vazduha na aerosole formirane od vode*

Atomiziranje vode i ispitivanje osobina njenog aerosola služi kao polazna osnova ili referentni nivo iz dva razloga. Prvo, voda je homogena tečnost i drugo voda je kontinualna faza u emulzijama koje su ispitivane. Voda koja se atomizira je čista voda iz vodovoda, dok voda kao kontinualna faza u emulziji sadrži veću ili manju koncentraciju rastvorenih aditiva.

Posmatrajući uticaj ispitivanih brzina na aerosol, AOO formiran od čiste vode, može se uočiti sledeće. Aerosol AOO pri brzini  $V1=1$  m/s, ima užu raspodelu u komori, nego na ulazu u ventilacionu cev, slika 63. Sa obzirom da broj kapi i masena koncentracija takođe rastu na ulazu u cev tabela 72. vrlo je verovatno da dolazi do kondenzacije kapi prema ulazu u cev. Pri ovako maloj brzini vazduha nije intenzivno odnošenje vlage, te je atmosfera u komori zasićena i uslovi za kondenzaciju postoje.

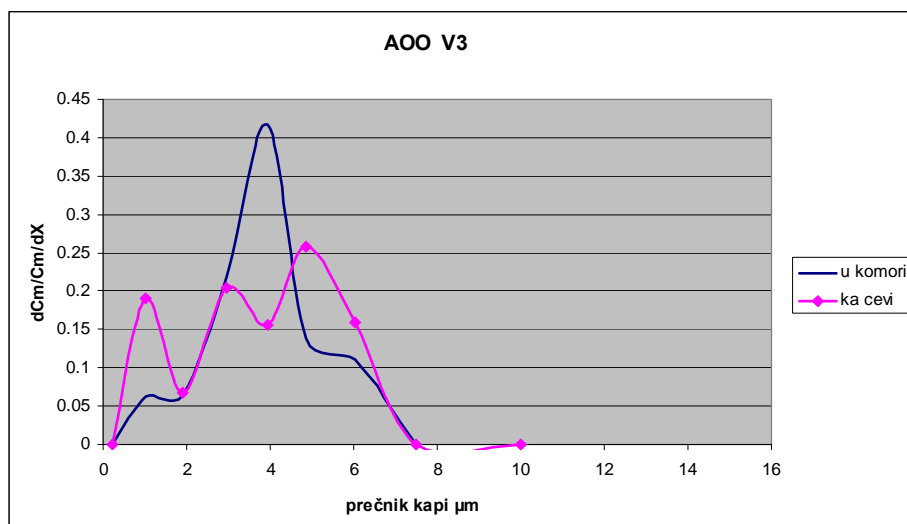


**Slika 63.** Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V1

Tabela 72. Brojna i masena koncentracija za aerosol AOO u komori

aerosol		mesto	
AOO			
brzina	NC / MC	u komori	ka cevi
V1	NC ( $P/cm^3$ )	270	397
	MC ( $mg/m^3$ )	0,29	0,41
V3	NC ( $P/cm^3$ )	307	209
	MC ( $mg/m^3$ )	0,52	0,16
V6	NC( $P/cm^3$ )	295	118
	MC ( $mg/m^3$ )	0,63	0,01
V8	NC ( $P/cm^3$ )	317	69
	MC ( $mg/m^3$ )	0,49	0,01

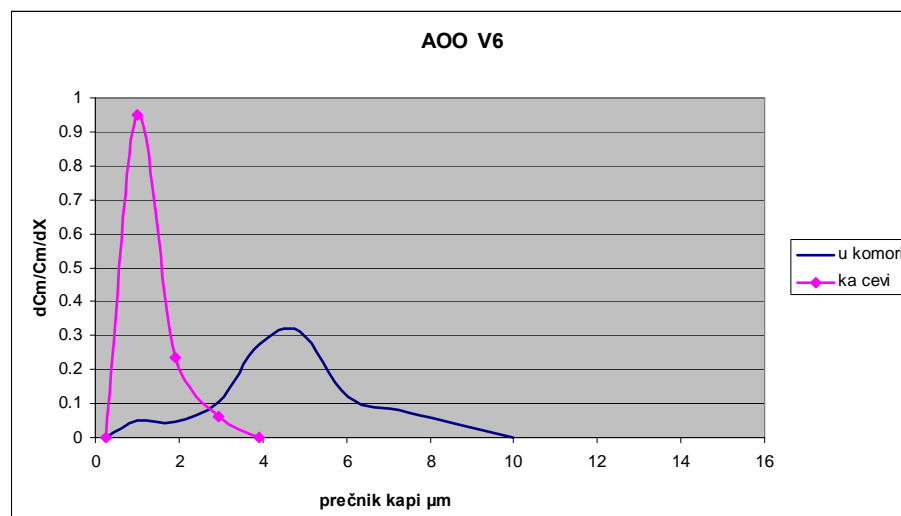
Pri brzini  $V3 = 3$  m/s uočavaju se tri maksimuma, koji su intenzivnije izraženi na ulazu u ventilacionu cev nego u samoj komori slika 64. Maksimumi se mogu pojaviti kao posledica neravnornog isparavanja različitih frakcija. Oni su izraženiji na mestu gde je isparavanje intenzivnije, a to je tamo gde je ventilacija bolja odnosno na ulazu u ventilacionu cev. Broj kapi i masena koncentracija pri ovoj brzini opadaju na ulazu u ventilacionu cev, što potvrđuje da dolazi do intenzivnog isparavanja kapi na putu ka cevi.



Slika 64. Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V3

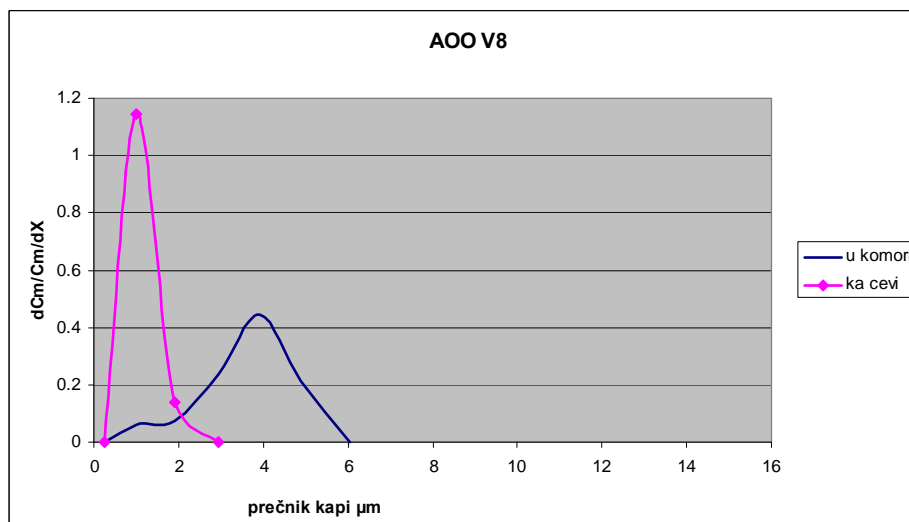
Kod brzine  $V6 = 6$  m/s dolazi do još intenzivnijeg isparavanja kapi na putu ka ventilacionoj cevi, što ukazuje značajano sužavanje krive raspodele od intervala

0.23 - 10  $\mu\text{m}$  na interval 0 - 4  $\mu\text{m}$ , slika 65., praćeno drastičnim smanjenjem broja kapi 295 - 118 P/cm<sup>3</sup>, kao i masene koncentracije 0,63 - 0,01 mg/m<sup>3</sup>, tabela 72.



**Slika 65.** Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V6

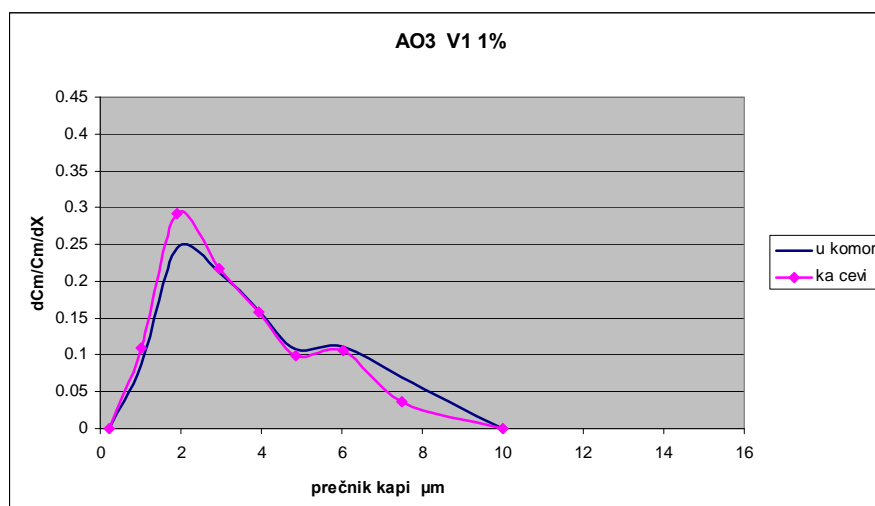
Situacija pri brzini V8 =8 m/s je jednaka kao pri V6 =6 m/s, ali intenzivnija, slika 66. Pri ovoj brzini dolazi do isparavanja kapi još u komori, što ukazuje sužavanje intervala u komori sa 0 - 10  $\mu\text{m}$  na 0 - 6  $\mu\text{m}$ .



**Slika 66.** Krive raspodele aerosola AOO u komori za brzinu V8

### Uticaj brzine vazduha na aerosole formirane od 1 % emulzija

Posmatrajući aerosole formirane od 1 % emulzije, pri ispitivanim brzinama, u komori i na samom ulazu u ventilacionu cev, može se uočiti sledeće. Kod aerosola AO3 brzina  $V1 = 1$  m/s ne utiče bitno na osobine aerosola. Njegova kriva raspodele između ova dva merna mesta ostaje gotovo nepromenjena, slika 67., dok broj kapi,  $5023 \text{ P/cm}^3$ , i masena koncentracija  $2,42 \text{ mg/m}^3$  minimalno opadaju, tabela 73.



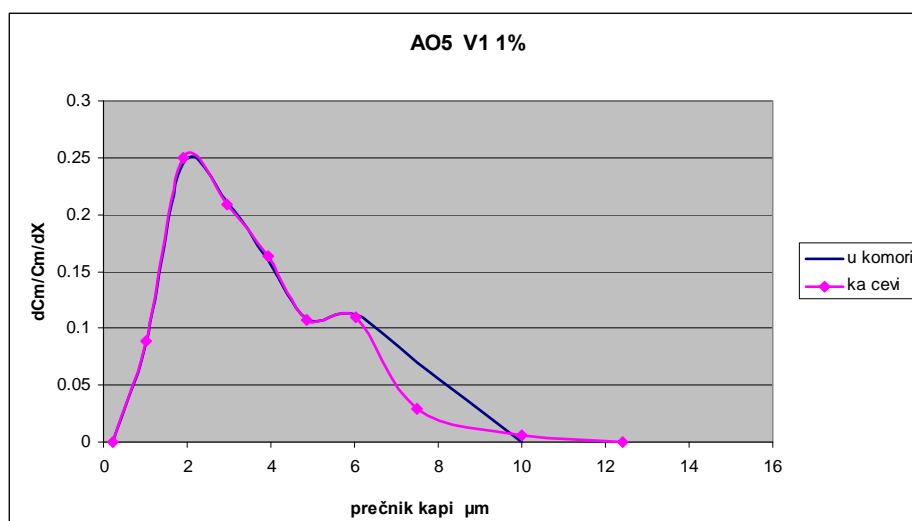
**Slika 67.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije

**Tabela 73.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 u komori formiranih od 1 % emulzije

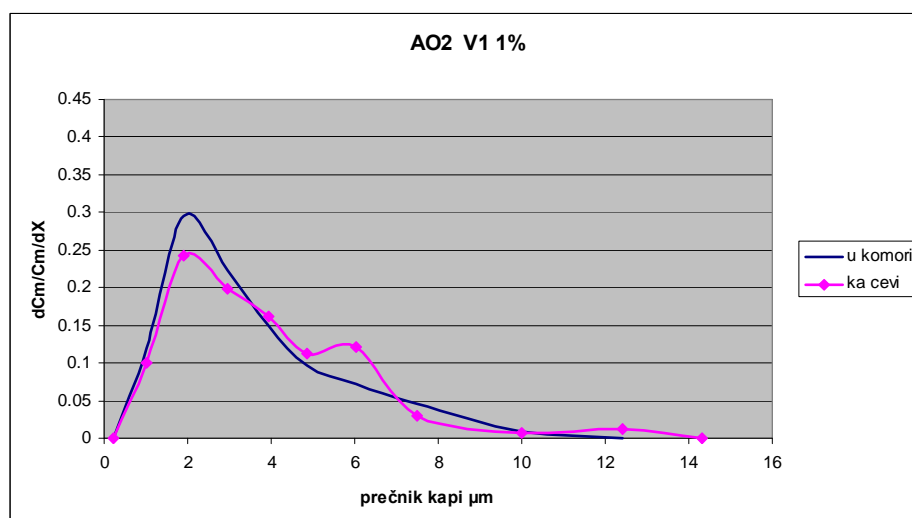
aerosol		AO3	AO5	AO2			
koncentracija		1 %	1 %	1 %			
brzina	NC / MC	mesto merenja					
		u komori	ka cevi	u komori	ka cevi	u komori	ka cevi
V1	NC ( $\text{P/cm}^3$ )	5023	4946	4587	4481	4181	2510
	MC ( $\text{mg/m}^3$ )	2,42	2,15	7,71	7,33	5,35	3,90
V3	NC ( $\text{P/cm}^3$ )	3670	2007	2477	1645	2009	1552
	MC ( $\text{mg/m}^3$ )	2,74	2,39	5,15	2,64	3,16	2,18
V6	NC ( $\text{P/cm}^3$ )	2293	1779	2049	1079	2722	499
	MC ( $\text{mg/m}^3$ )	2,08	1,91	5,25	1,63	3,29	0,72
V8	NC ( $\text{P/cm}^3$ )	2908	1850	2555	768	2122	388
	MC ( $\text{mg/m}^3$ )	2,09	1,91	3,22	0,89	2,91	0,41



Slična je situacija i kod aerosola AO5, kod kojeg se krive raspodele, brojna i masena koncentracija skoro da i ne razlikuju, dok kod aerosola AO2 to nije slučaj slika 68. i 69. Kod njega dolazi do većeg pada brojne koncentracije na ulazu u ventilacioni vod sa 4181 na 2510 P/cm<sup>3</sup>, što prati pad masene koncentracije sa 5,35 na 3,90 mg/m<sup>3</sup>, Tabela 73.



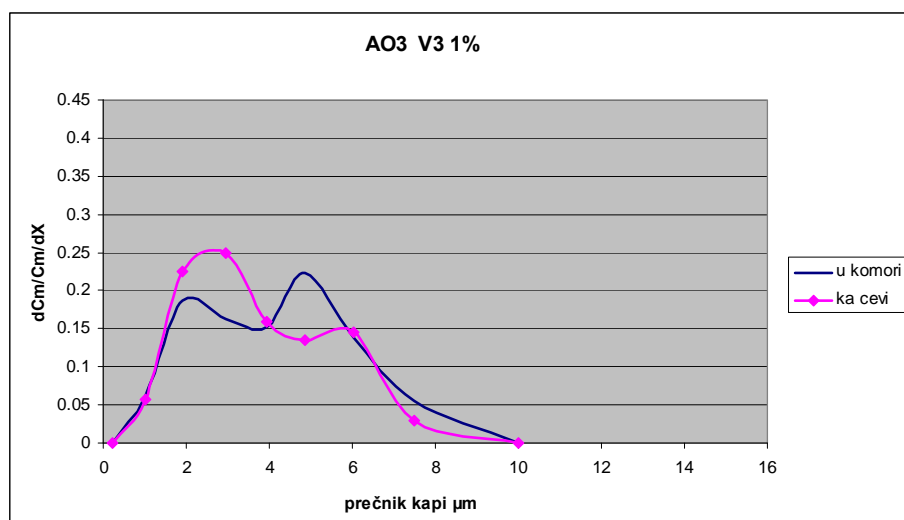
**Slika 68.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije



**Slika 69.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije

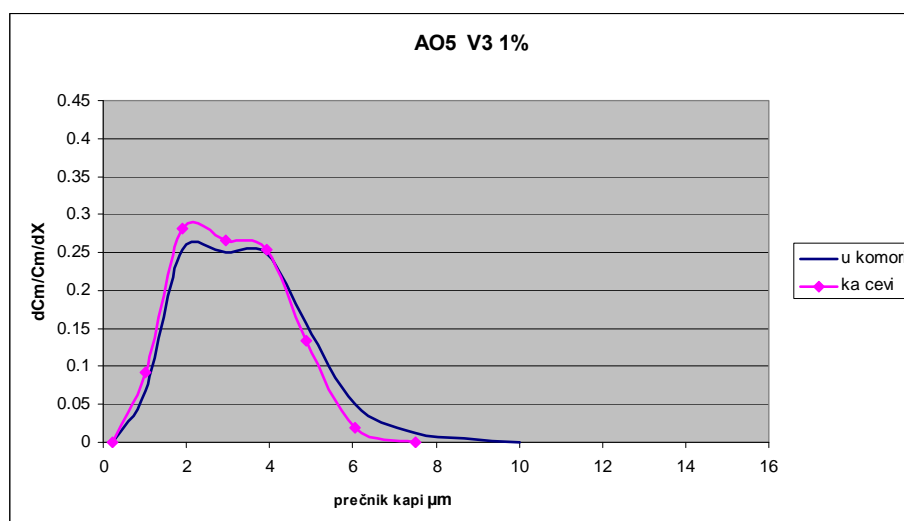
Krive raspodele AO2 se takođe uočljivije razlikuju, ali još uve ne jako. Primećuje se da krive raspodele na ovoj brzini za AO3 i AO5 u oba merna mesta pokazuju dva maksimuma (bimodalna raspodela), dok se ovi maksimumu kod AO2 javljaju samo na ulazu u ventilacionu cev.

Pri brzini  $V3=3$  m/s, AO3 ima još izraženija dva maksimuma. Kako krupnije kapi teže lete, njih ima više u komori, nego na ulazu u ventilacioni vod, što se jasno vidi iz krivih raspodele, slika 70. Masena koncentracija i broj kapi opadaju na ulazu u ventilacioni vod kod AO3 kao posledica bolje ventilacije, tabela 73.



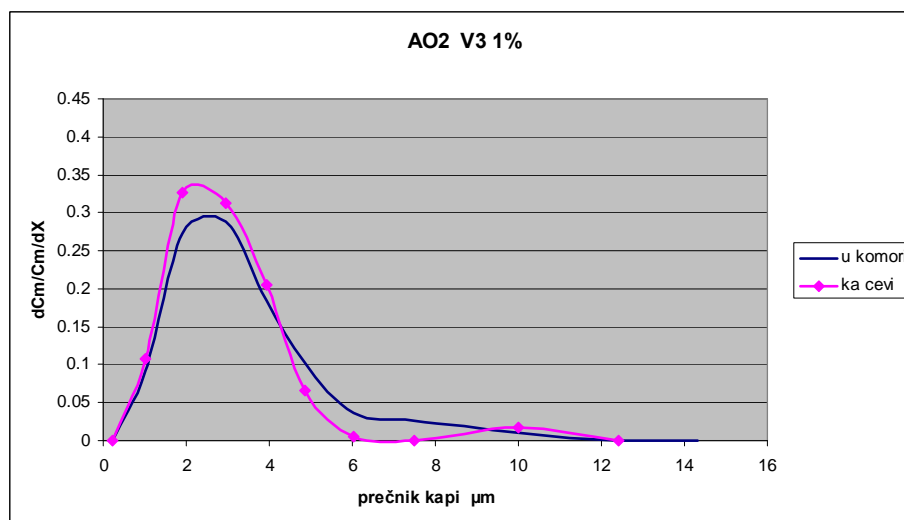
**Slika 70.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije

Aerosol AO5 na ovoj brzini, u komori i na ulazu u ventilacioni vod neznatno se razlikuje, slika 71. Dupli maksimum se skoro neprimetno javlja, a masena koncentracija i broj kapi opadaju na ulazu u ventilacionu cev iz istog razloga kao i kod aerosola AO3.



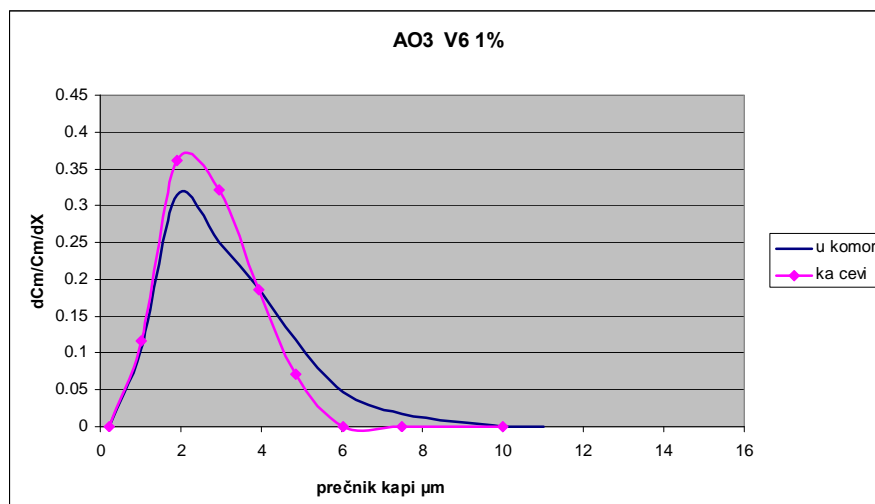
**Slika 71.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije

Kad je reč o aerosolu AO2 na ovoj brzini, promena raspodele veličine kapi je mala slika 72., i ogleda se u taloženju nekolicine najkrupnijih kapi na putu ka ventilacionom vodu. Ovo je praćeno blagim padom masene i brojne koncentracije, dodatno pojačano samom ventilacijom. Kod aerosola AO2, nasuprot aerosolima AO3 i AO5, nije izražena bimodalna raspodela.



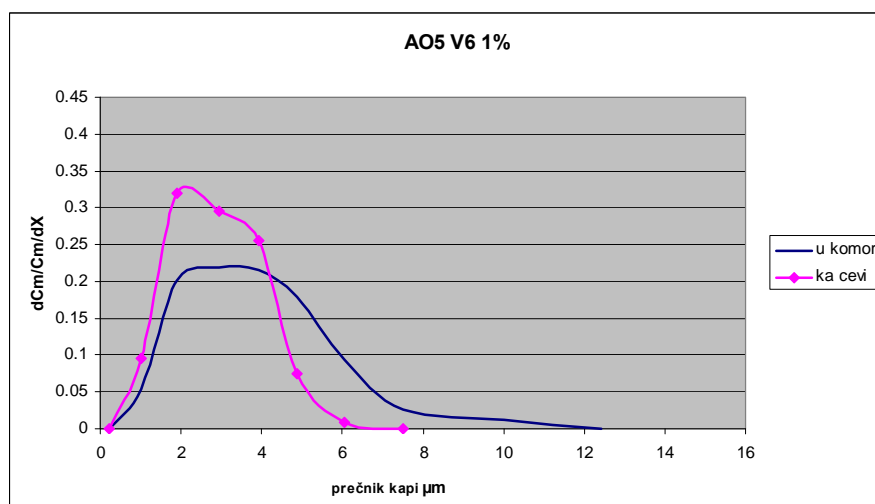
**Slika 72.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije

Za razliku od predhodne dve brzine kod aerosola AO3 na brzini  $V6 = 6$  m/s se ne javljaju više dva maksimuma, krive raspodele se i dalje ne razlikuju mnogo između mernih mesta, slika 73. Na ulazu u ventilacioni vod ne stignu neke od najkrupnijih kapi, koje se na putu iztalože, te se kriva raspodele malo sužava, uz blagi pad masene i brojne koncentracije.



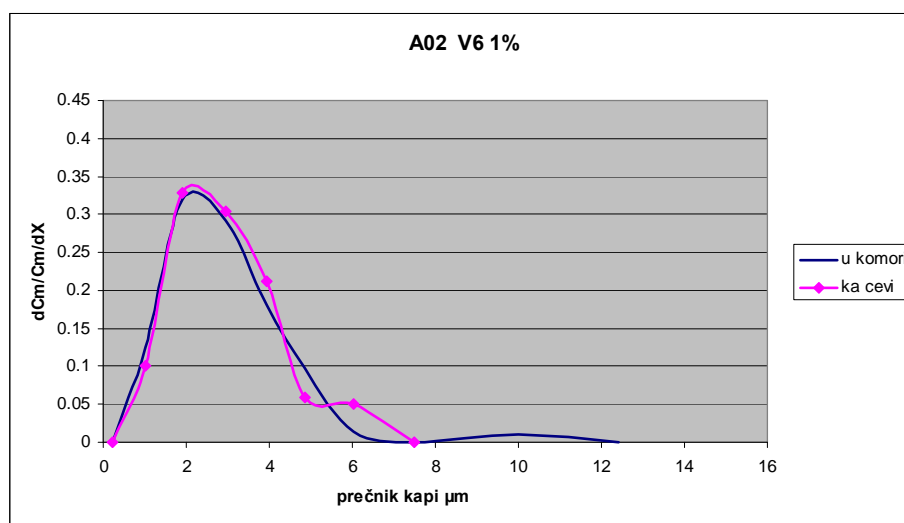
**Slika 73.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V6 formiranog od 1 % emulzije

Kod aerosola AO5 situacija je slična, ali je sužavanje krive, kao i pad masene i brojne koncentracije intenzivnije u odnosu na aerosol AO3, slika 74.



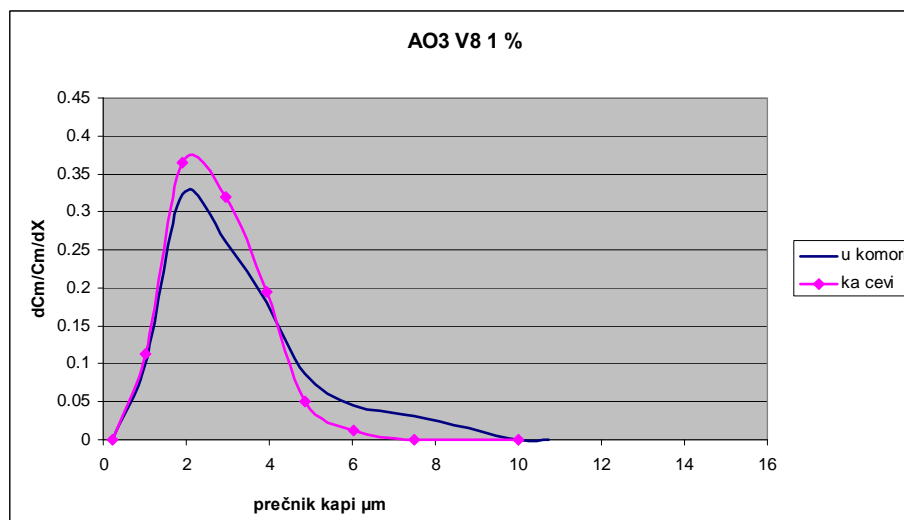
**Slika 74.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V6 formiranog od 1 % emulzije

Situacija kod aerosola AO2 na brzini  $V_6=6$  m/s je slična kao pri brzini  $V_3=3$  m/s, gde je promena raspodele veličine kapi mala slika 75.



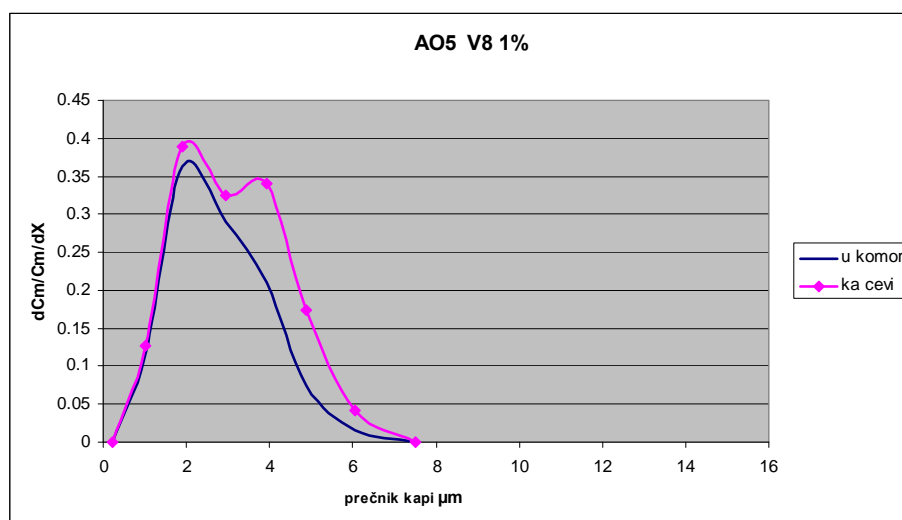
**Slika 75.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu  $V_6$  formiranog od 1 % emulzije

Aerosol AO3 se pri brzini  $V_8=8$  m/s ponaša jednako kao i pri brzini  $V_6=6$  m/s slika 76.



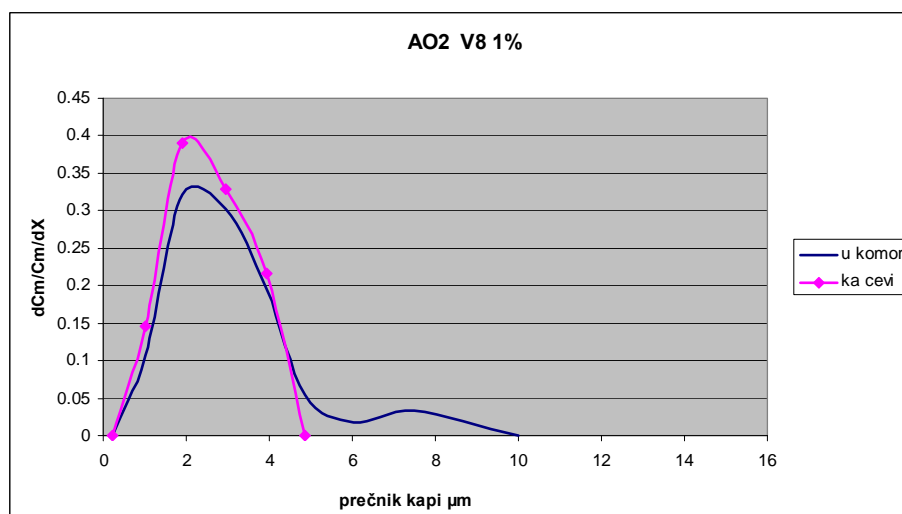
**Slika 76.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu  $V_8$  formiranog od 1 % emulzije

Treba istaći da se kod aerosola AO5 pri svim brzinama javljaju dva maksimuma na ulazu u ventilacioni vod, koji su najizraženiji pri ovoj brzini, V8 =8 m/s, slika 77. To prati pad masene i brojne koncentracije, tabela 73.



**Slika 77.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V8 formiranog od 1 % emulzije

Razlika aerosola AO2 između mernih mesta pri ovoj brzini je mala i ogleda se u taloženju najkrupnijih kapi na putu ka ventilacionom vodu, a kako je njih malo, krive raspodele se ne razlikuju mnogo, slika 78.

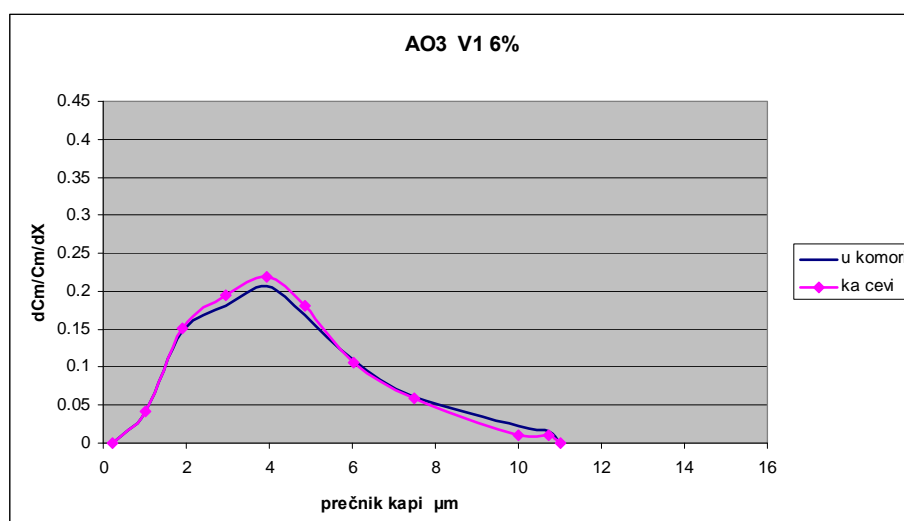


**Slika 78.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V8 formiranog od 1 % emulzije

Može se uočiti da kod svih aerosola formiranih od 1 % emulzija ne dolazi do koalescencije kapi ni pri jednoj ventilacionoj brzini. Višestruki maksimumi su često zastupljeni u krivama raspodele kod ispitivanih aerosola od 1 % emulzije kao posledica neravnomernog isparavanja različitih frakcija. Oni su ipak manje izraženi nego kod aerosola vode, iz čega se zaključuje da je kod ovih aerosola isparavanje manje.

### Uticaj brzine vazduha na aerosole formirane od 6 % emulzija

Analizirajući uticaj brzine  $V1 = 1$  m/s kao najniže ispitivane brzine na aerosol formiran od 6 % emulzije, uzorkovan na mernom mestu u komori, i na samom ulazu u ventilacioni vod, može se uočiti da ova brzina gotovo da nema nikakav uticaj na osobine aerosola AO3, slika 79. Raspodela, broj kapi i masena koncentracija ostaju nepromenjeni, tabela 74.

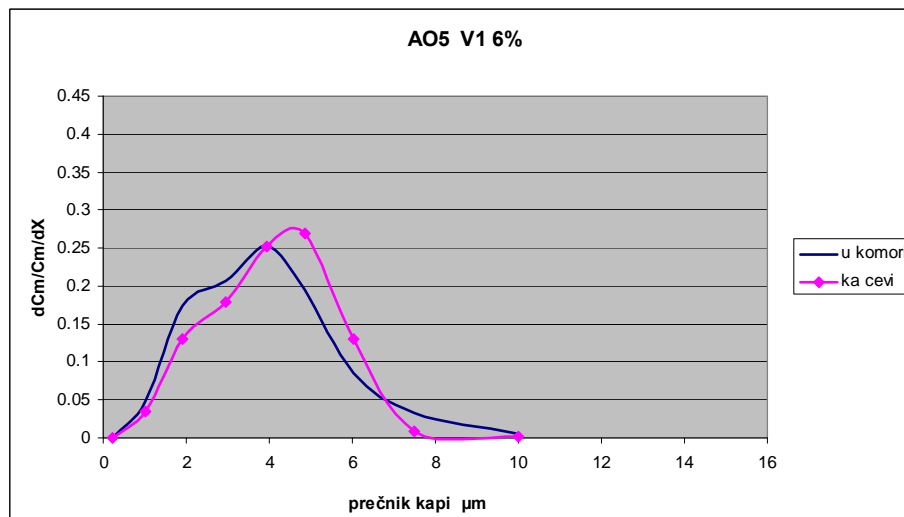


**Slika 79.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije

**Tabela 74.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 u komori formiranih od 6 % emulzije

aerosol		AO3		AO5		AO2	
koncentracija		6 %		6 %		6 %	
brzina	NC / MC	mesto merenja					
		u komori	ka cevi	u komori	ka cevi	u komori	ka cevi
V1	NC ( $P/cm^3$ )	7054	7391	7975	6678	9173	8203
	MC ( $mg/m^3$ )	23,24	24	22,25	25,17	23,28	14,17
V3	NC ( $P/cm^3$ )	5482	3105	6194	3538	8543	6194
	MC ( $mg/m^3$ )	23,94	16,83	24,98	12,64	27,55	24,98
V6	NC ( $P/cm^3$ )	4073	2355	4677	1618	5393	2340
	MC ( $mg/m^3$ )	23,64	28,00	24,26	4,11	15,97	3,85
V8	NC ( $P/cm^3$ )	4504	1842	4382	1531	3676	1230
	MC ( $mg/m^3$ )	17,06	4,13	14,48	3,13	21,18	1,95

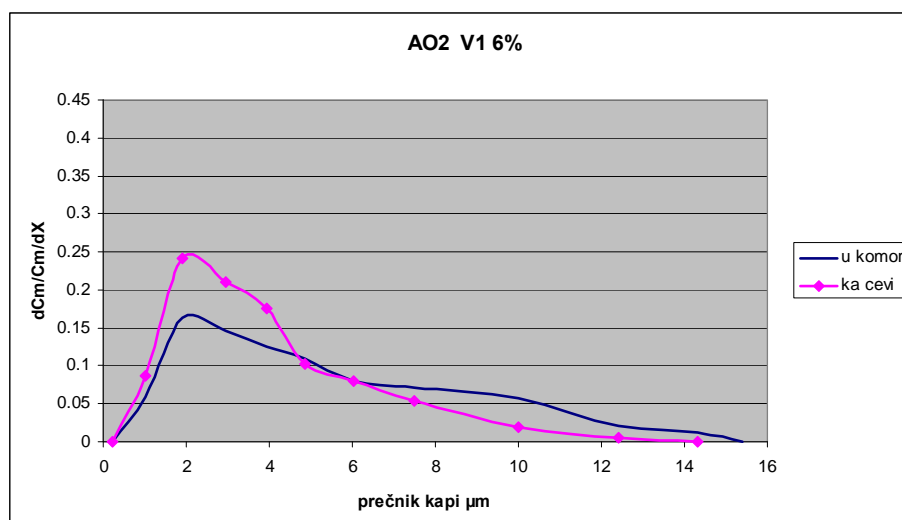
Kod aerosola AO5 dolazi do blage koalescencije kapi na ulasku u ventilacioni vod, slika 80.



**Slika 80.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije

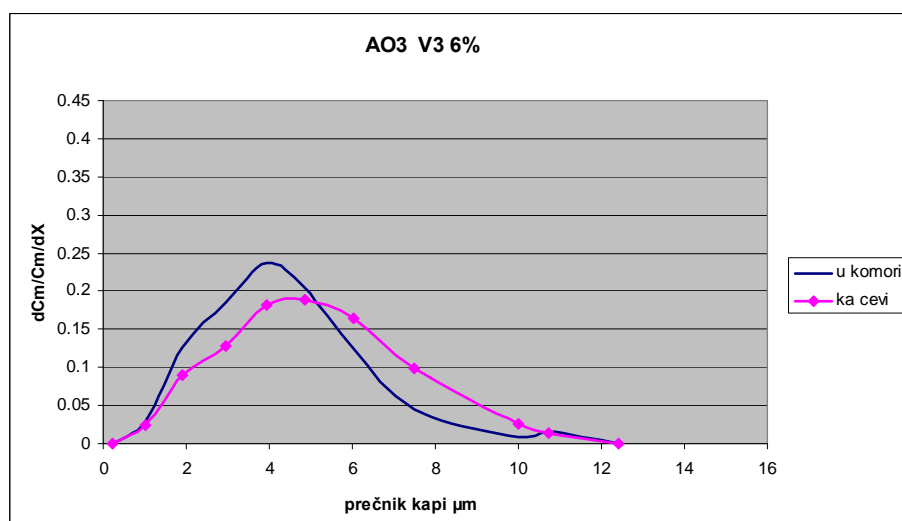


To prati blagi pad broja kapi i porast masene koncentracije. Situacija kod aerosola AO2, pri ovoj brzini, je značajno drugačija, slika 81. Kapi aerosola AO2 imaju znatno širu raspodelu u odnosu na aerosole formirane od druge dve emulzije, i to u oblasti krupnijih kapi. Pored toga njegova raspodela se razlikuje u komori u odnosu na ulaz u ventilacioni vod. U komori ima više krupnijih kapi. Razlog tome može biti što kapi u zapremini komore koalesciraju, i tako ukрупnjene se talože na putu ka ventilacionom vodu. To prati blagi pad broja kapi i značajan pad masene koncentracije, tabela 74.



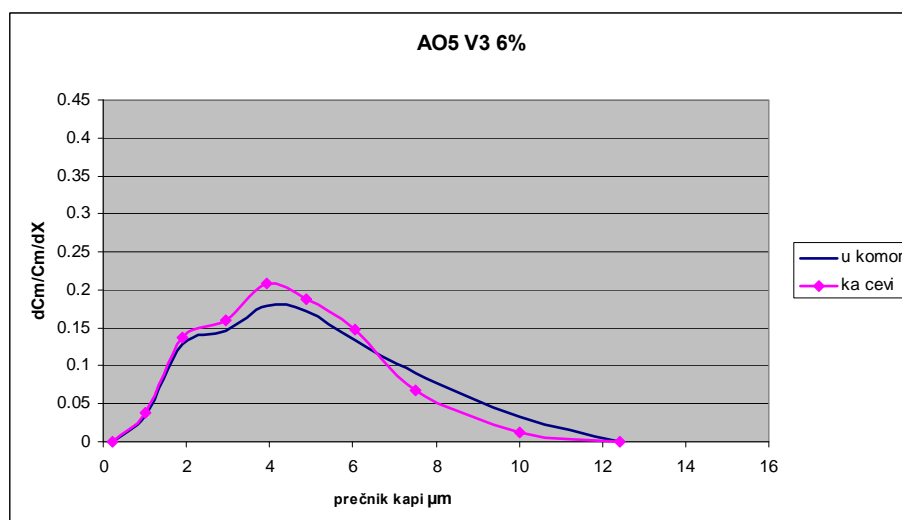
**Slika 81.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije

Za razliku od brzine  $V1 = 1 \text{ m/s}$ , brzina  $V3 = 3 \text{ m/s}$  izaziva promenu osobina aerosola AO3 u posmatranim mernim mestima. Pomeranje krive raspodele ka većim kapima na ulazu u ventilacioni vod posledica je koalescencije, slika 82.



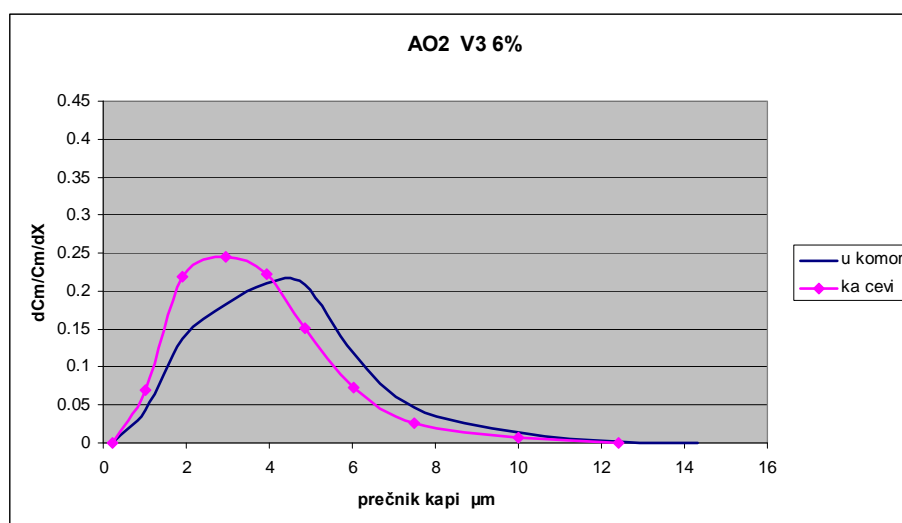
**Slika 82.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije

Međutim, promena raspodele veličine kapi kod aerosola AO5 je pri brzini  $V3 = 3$  m/s toliko mala, da može biti zanemarena. Njegova kriva raspodele se minimalno pomera u oblast sitnijih kapi, slika 83., što ukazuje da ne dolazi do koalescencije.



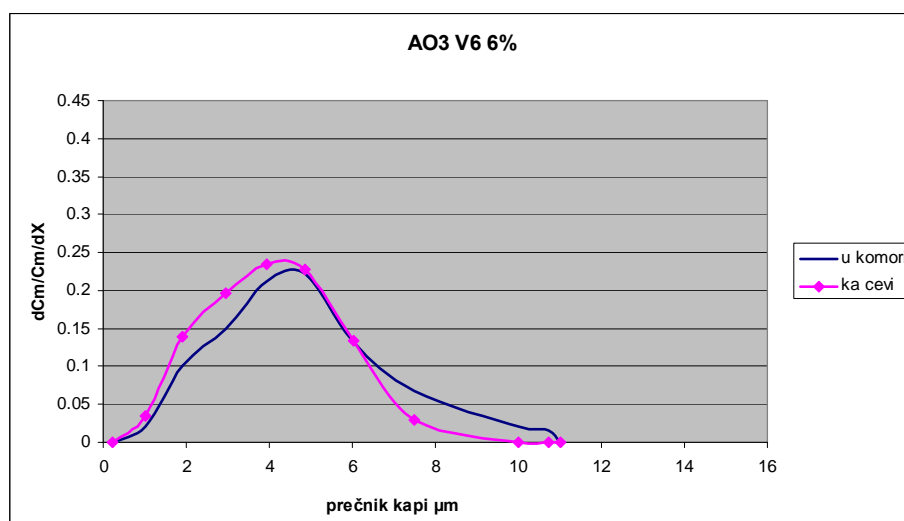
**Slika 83.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije

Na aerosol AO2 brzina,  $V3 = 3 \text{ m/s}$ , utiče slično kao i na aerosol AO3 podstičući koalescenciju na ulazu u ventilacioni vod, slika 84. Ono što je zanimljivo da kod aerosola AO2 pri ovoj brzini više nije uočljiva tolika razlika krive raspodele u odnosu na krive raspodele aerosola AO3 i AO5, kao što je bio slučaj kod brzine  $V1 = 1 \text{ m/s}$ .

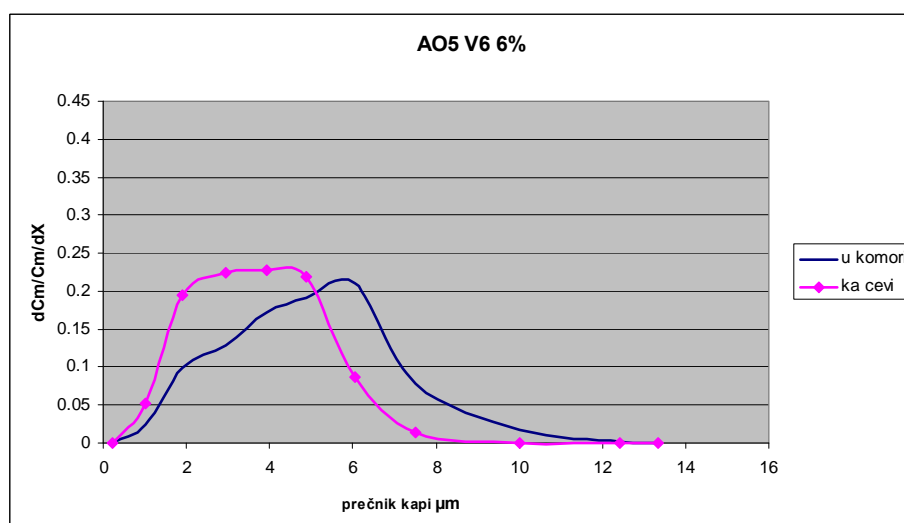


**Slika 84.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije

Pri brzini  $V6 = 6 \text{ m/s}$  dolazi do znatno brže koalescencije kod sva tri ispitivana aerosola, slike 85. 86. 87. Kapljice koalesciraju još u komori, i to do veličine da mogu lako da se istalože pre nego što stignu do ventilacionog voda, što ilustruje pomeranje krive raspodele u oblast manjih prečnika.

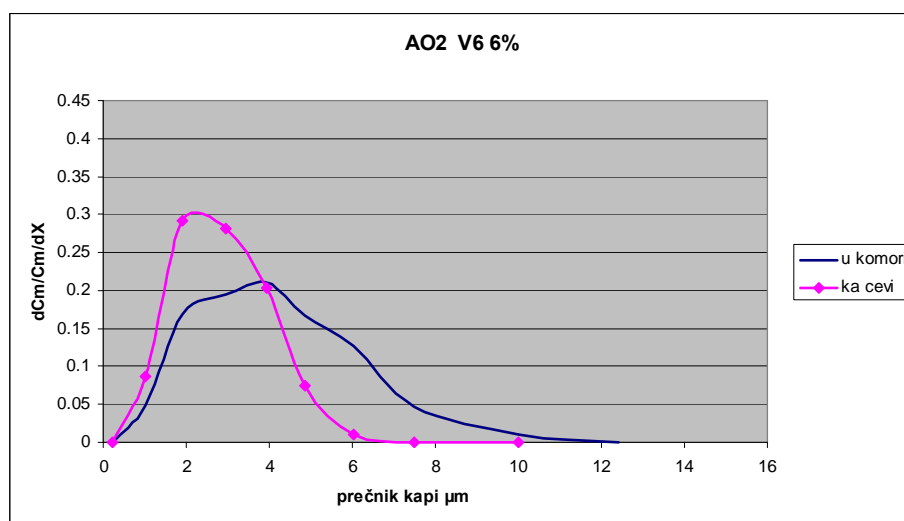


**Slika 85.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije



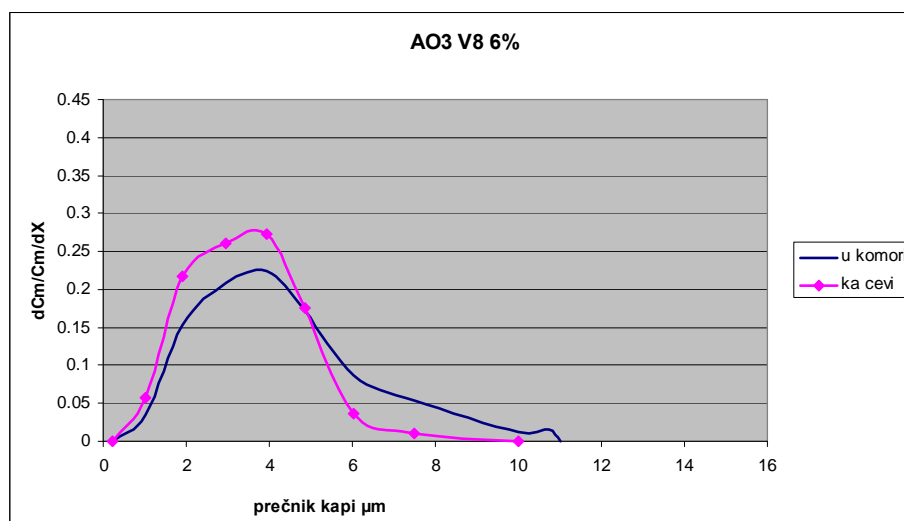
**Slika 86.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije

Situacija pri brzini V8 =8 m/s kod aerosola AO3 i AO5 je gotovo nepromenjena u odnosu na situaciju pri brzini V6 =6 m/s, slike 88. i 89.

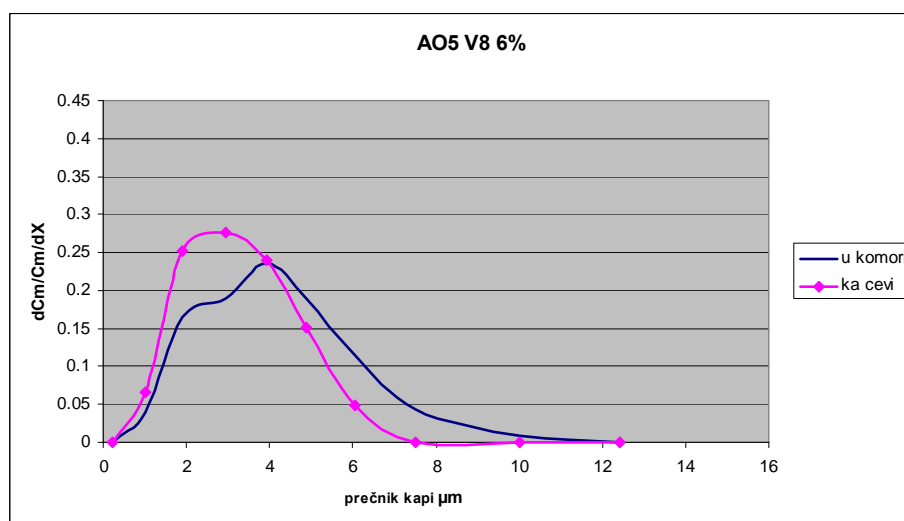


**Slika 87.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije

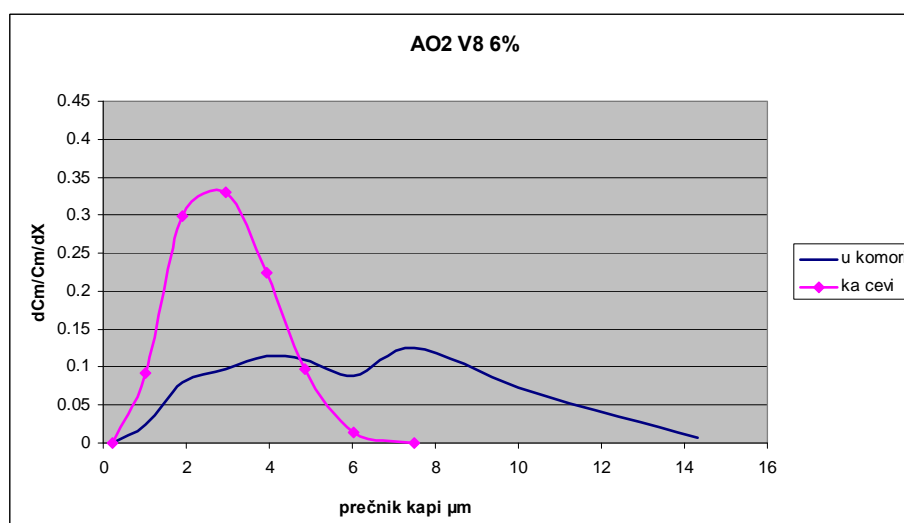
Međutim, aerosol AO2 pri brzini V8 = 8 m/s opet odstupa u odnosu na aerosole druge dve emulzije, slika 90. Kod njega je koalescencija intenzivnija, što se vidi iz razvučene krive raspodele aerosola merenog u komori. Ovo potvrđuje ne samo smanjenje broja kapi, već i značajan pad masene koncentracije sa 21,18 na 1,95  $\text{mg}/\text{m}^3$ , tabela 74.



**Slika 88.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V8 formiranog od 6 % emulzije



**Slika 89.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V8 formiranog od 6 % emulzije



**Slika 90.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V8 formiranog od 6 % emulzije

Na osnovu dobijenih rezultata može se uočiti da se porastom brzine vazduha kod aerosola formiranog od 6 % emulzije, podstiče koalescencija, iako je broj kapi smanjuje zbog većeg razređenja vazduhom. To se može objasniti time da

veća brzina omogućava bolje mešanje u aerosolu i tako dovodi do više slučajnih sudara između kapi koji rezultiraju koalescencijom, dok niže brzine vazduha dozvoljavaju da kapljice lete i da se ne približe dovoljno jedna drugoj kako bi mogle da koalesciraju.

Aerosol vode i emulzije 1 % nemaju tendenciju da koalesciraju porastom brzine vazduha kao aerosoli emulzije koncentracije 6 %.

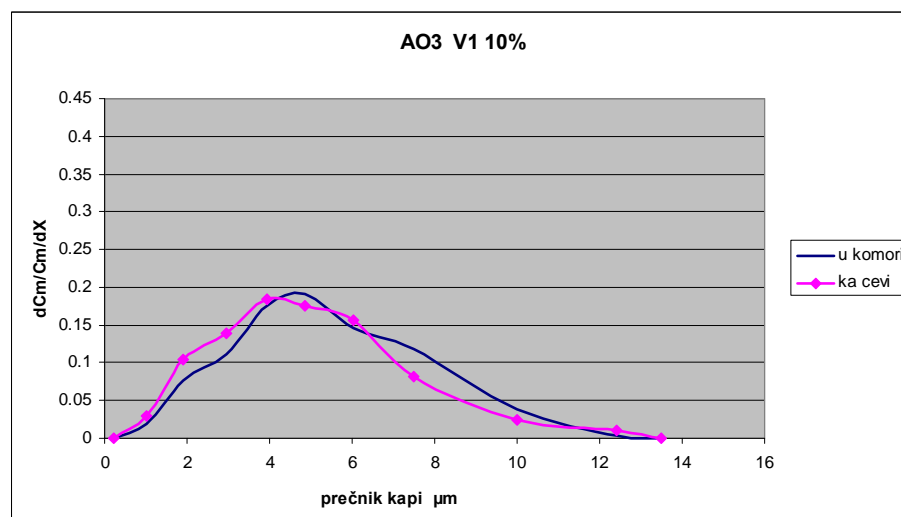
Daljom analizom rezultata uočava se da kod svakog ulja postoji jedna brzina pri kojoj se aerosol u komori najviše razlikuje od aerosola na ulazu u ventilacioni vod. Ta brzina se može nazvati specifična brzina. Za aerosol AO3 to je brzina  $V_3 = 3$  m/s, za aerosol AO5 brzina  $V_6 = 6$  m/s, dok je kod aerosola AO2 to brzina  $V_8 = 8$  m/s. Kako se radi o vrlo složenim fenomenima, na ovom stepenu istraživanja, nije moguće objasniti šta uzrokuje ovu pojavu, ali se može istaći da su viskoznost kao i molska masa ulja od kojih su pripremljene ispitivane emulzije najniže za ulje UO3, a najviše za ulje UO2, tabela 3., kao što je je specifična brzina kod aerosola AO3 najmanja, a kod aerosola AO2 najveća.

Dalja istraživanja bi trebalo voditi u tom smeru da se ispita uticaj viskoznosti i molske mase na specifičnu brzinu.

Ako se analiziraju svi ispitivani aerosoli formirani od 6 % emulzije međusobno pri svim brzinama, onda se aerosol AO2 pod uticajem strujanja vazduha u zapremini komore ponaša specifično u odnosu na druga dva ispitivana aerosola, dok se na ulazu u ventilacioni vod sva tri aerosola ponašaju slično. Specifično ponašanje aerosola AO2 moglo bi biti uslovljeno osobinama i prirodom ulja UO2, koje je značajno drugačije od ulja UO3 i UO5. Ulje UO2 je jedino biljnog porekla, pored toga ima najvišu vrednost viskoznosti i molske mase u odnosu na druge ispitivane uzorke. Slično ponašanje svih aerosola na ulazu u ventilacioni vod moglo bi biti uslovljeno intenzivnijim strujanjem vazduha, što uzrokuje nižu koncentraciju aerosola, čime se smanjuje uticaj prirode ulja.

### Uticaj brzine vazduha na aerosole formirane od 10 % emulzija

Kada se aerosol formira od 10 % emulzije ulja u vodi onda je situacija sledeća. Pri brzini  $V_1=1$  m/s, aerosol AO3 u komori se neznatno razlikuje u odnosu na aerosol na ulazu u ventilacionu cev slika 91., kao što je slučaj i kod aerosola AO3 formiranog od 6 % emulzije.



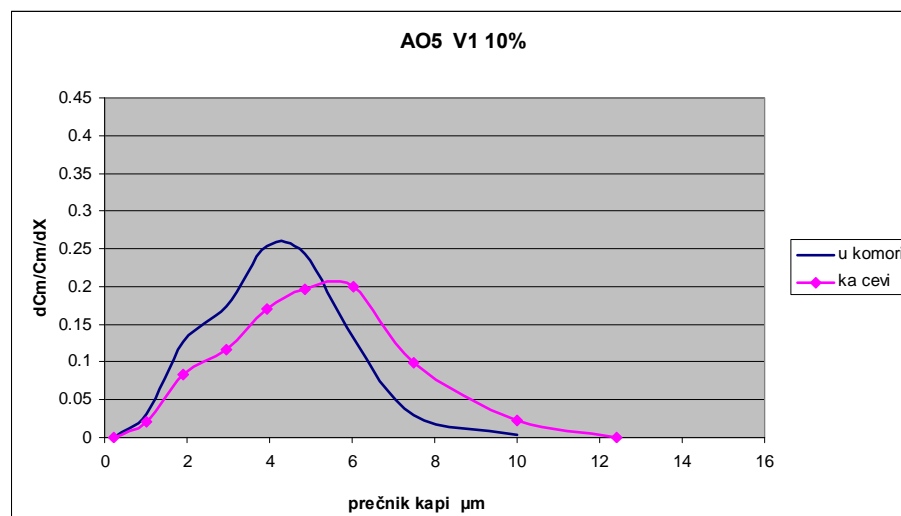
**Slika 91.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu  $V_1$  formiranog od 10 % emulzije

**Tabela 75.** Brojna i masena koncentracija aerosola AO3, AO5 i AO2 u komori formiranih od 10 % emulzije

aerosol		AO3	AO5	AO2			
koncentracija		10 %	10 %	10 %			
brzina	NC / MC	mesto merenja					
		u komori	ka cevi	u komori	ka cevi	u komori	ka cevi
V1	NC ( $P/cm^3$ )	3107	5076	7039	7923	7855	9393
	MC ( $mg/m^3$ )	20,01	23,42	28,88	47,33	41,24	53,54
V3	NC ( $P/cm^3$ )	3253	2013	6495	3384	5364	3856
	MC ( $mg/m^3$ )	12,22	13,43	37,00	16,93	41,48	21,17
V6	NC ( $P/cm^3$ )	3293	1061	5206	1662	6702	2510
	MC ( $mg/m^3$ )	11,55	6,02	29,96	6,42	40,31	7,52
V8	NC ( $P/cm^3$ )	2409	977	3769	633	1648	1683
	MC ( $mg/m^3$ )	12,06	3,05	29,34	2,39	20,90	3,83

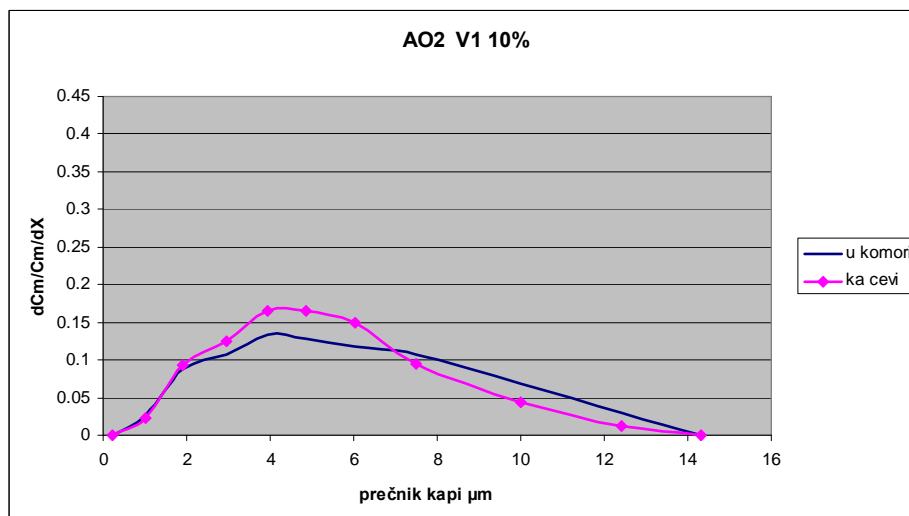


Kod aerosola AO5, krive raspodele se pomera ka većim prečnicima na ulazu u ventilacionu cev, a masena koncentracija raste, što može ukazati da je došlo do koalescencije već pri ovoj najnižoj brzini, slika 92.



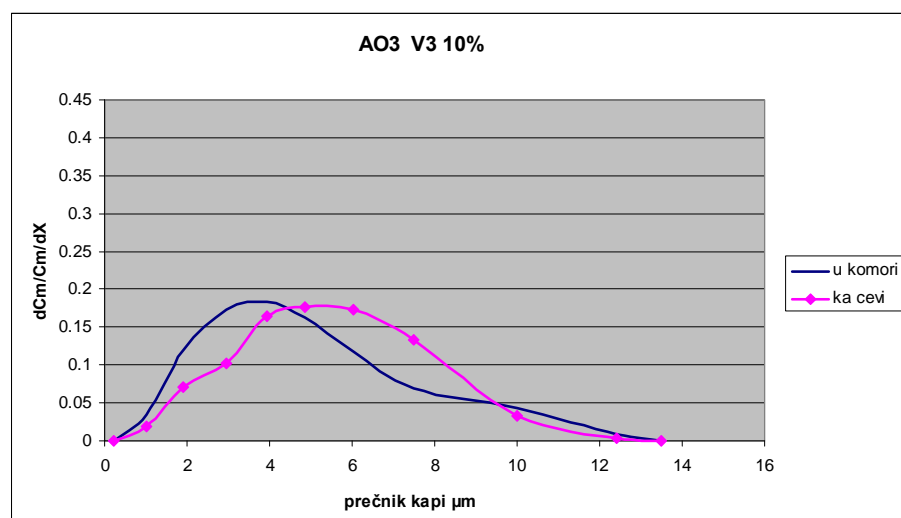
**Slika 92.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V1 formiranog od 10 % emulzije

Analizirajući aerosol AO2 primećuje se slična situacija kao i kod AO3, slika 93.



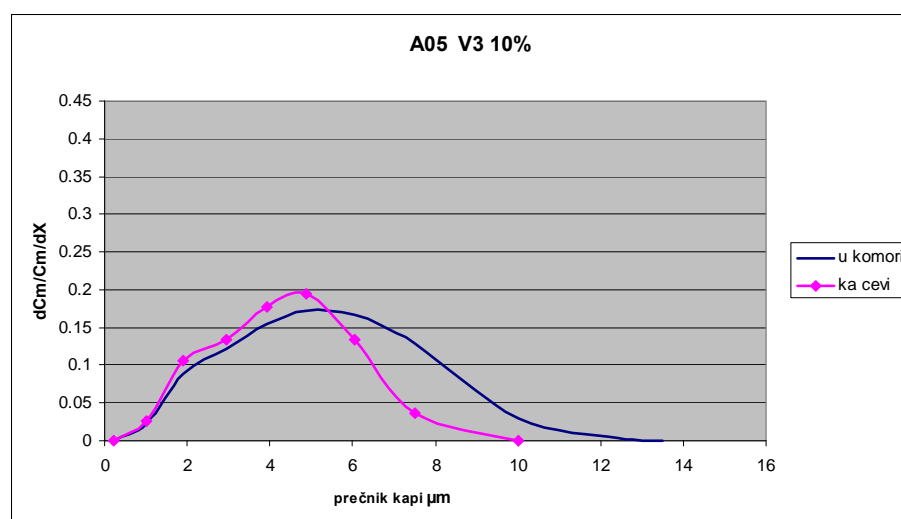
**Slika 93.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V1 formiranog od 10 % emulzije

Brzina  $V_3=3$  m/s izaziva koalescenciju aerosola AO3 na ulazu u ventilacioni vod, slika 94., što se vidi ne samo pomeranjem krive raspodele ka većim prečnicima, već i porastom masene koncentracije praćen padom broja kapi.



**Slika 94.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu  $V_3$  formiranog od 10 % emulzije

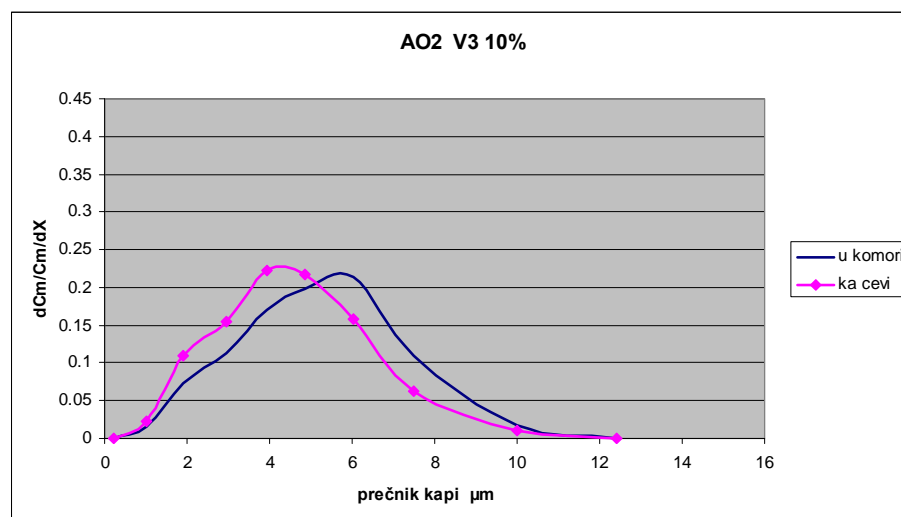
Kod aerosola AO5 pri ovoj brzini vazduha, kriva raspodele je šira u komori nego na ulazu u ventilacioni vod, pri čemu su i broj kapi kao i masena koncentracija veći u komori., slika 95. Razlog tome može biti što kapi koalesciraju još u



**Slika 95.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu  $V_3$  formiranog od 10 % emulzije

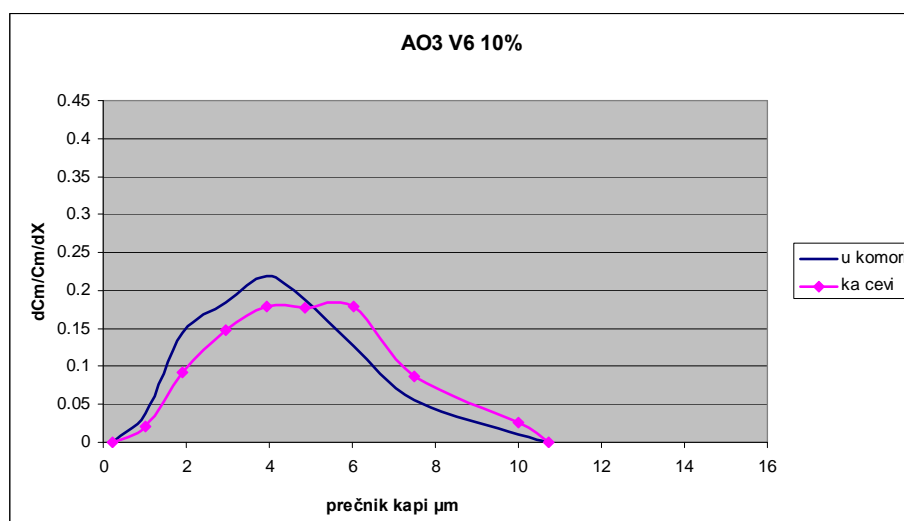
zapremini komore, i tako ukрупnjene se talože na putu ka ventilacionom vodu.

Kod aerosola AO2 situacija je slična kao kod AO5 samo što razlike u krivama raspodele u komori i ka cevi manje izražene nego što je slučaj kod AO2 slika 96.

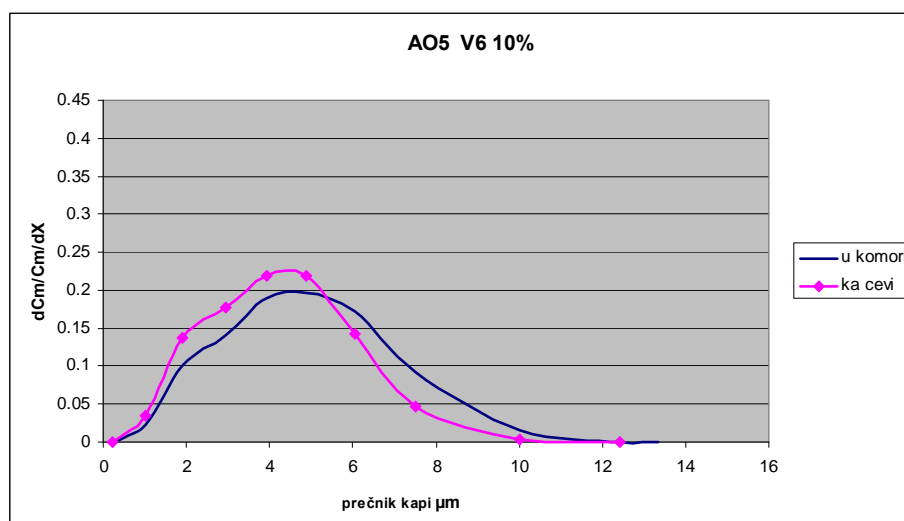


**Slika 96.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V3 formiranog od 10 % emulzije

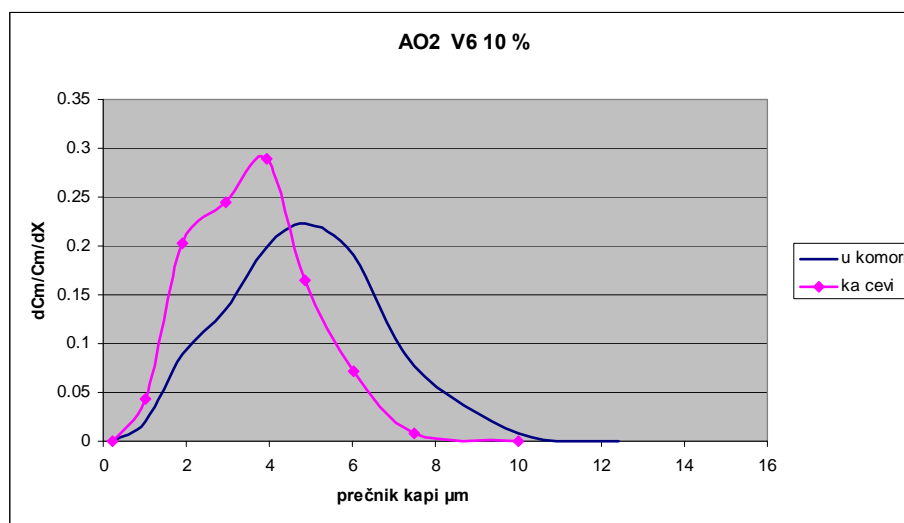
Situacija pri brzini  $V6=6$  m/s je slična situaciji pri brzini  $V3=3$  m/s i to za sva tri aerosola. Kod AO3 dolazi do koalescencije kapi na ulazu u ventilacioni vod, dok se kod AO5 i AO2 koalescencija dešava još u komori. Razlika između krivih raspodele u komori i na ulazu u ventilacionu cev za AO5 i AO2 je izraženija nego pri brzini  $V3=3$  m/s, slika 97., slika 98., slika 99.



**Slika 97.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije

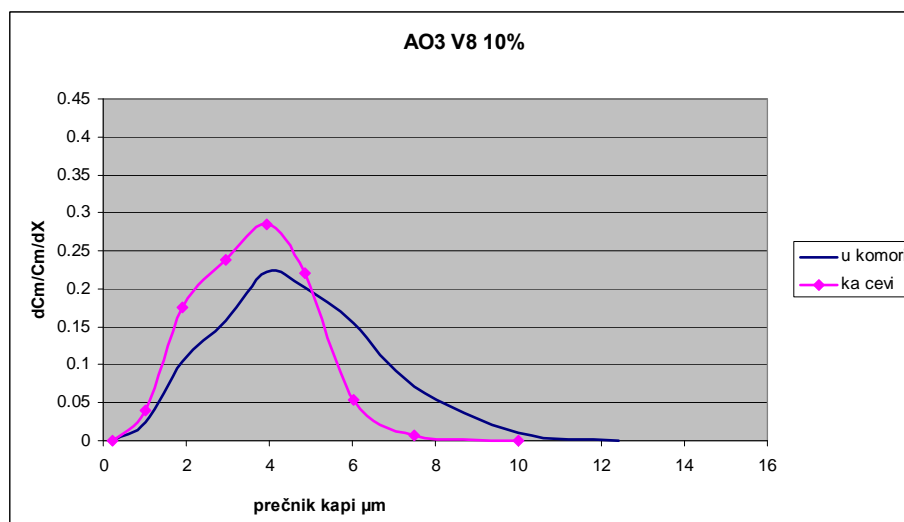


**Slika 98.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije



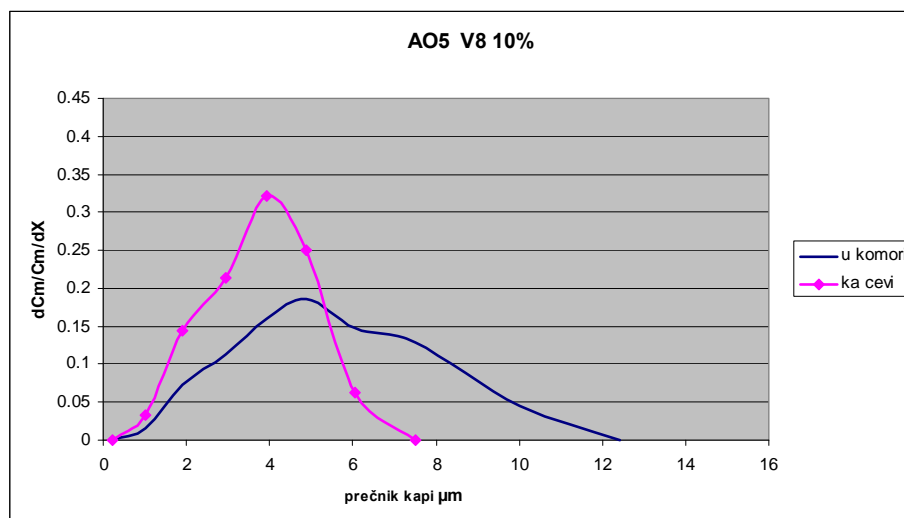
**Slika 99.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije

Za razliku od predhodne dve brzine, brzina  $V8 = 8 \text{ m/s}$  dovodi do koalescencije već u komori i aerosola AO3, slika 100.



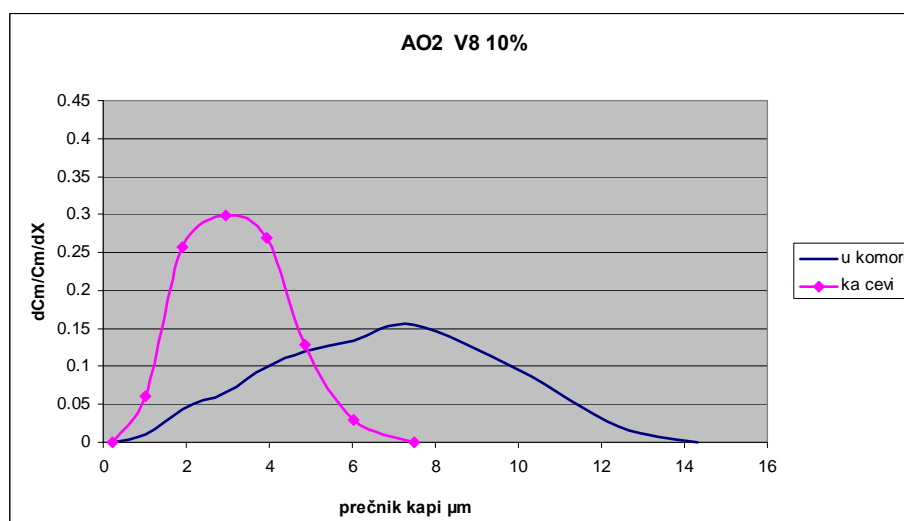
**Slika 100.** Krive raspodele aerosola AO3 u komori za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije

Pri ovoj brzini je razlika između krivih raspodele u komori i ka ventilacionom vodu najveća do sada, i to kod sva tri aerosola slika 100., slika 101., slika 102., te je ovo specifična brzina za sve ispitivane aerosole formiranih od 10 % emulzije.



**Slika 101.** Krive raspodele aerosola AO5 u komori za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije

Ponovo se uočava specifično ponašanje aerosola AO2. Kod ovog aerosola na brzini V8 = 8 m/s je koalescencija u komori najintenzivnija u odnosu na ostale brzine, kao i u odnosu na druge aerosole pri ovoj koncentraciji emulzije.



**Slika 102.** Krive raspodele aerosola AO2 u komori za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije

I ovde se potvrđuje da iako broj kapi opada pri većoj brzini jer je razređenje vazduhom veće, koalescencija je dominantnija pri većim brzinama. Specifična brzina kod aerosola formiranih od 10 % emulzije je jednaka za sva tri aerosola i iznosi  $V_8 = 8$  m/s.

### ***Završna razmatranja strujanja aerosola u komori***

Kod svih ispitivanih aerosola formiranih od 1 % emulzija ne dolazi do koalescencije kapi u komori ni pri jednoj ventilacionoj brzini, dok se kod aerosola od 6 % i 10 % emulzije javlja koalescencija skoro na svim brzinama. Kako raste koncentracija emulzije od koje se formira aerosol tako su višestruki maksimumi na krivama raspodele sve manje izraženi. Višestruki maksimumi se javljaju kao posledica neravnomernog isparavanja različitih frakcija kapi. Ako posmatramo aerosol formiran od čiste vode uočavamo da su kod njega višestruki maksimumi najizraženiji, što ukazuje da je isparavanje intenzivno, a koalescencija odsutna. Čini se da kapi vode brže isparavaju, dok kapi ulja pak bolje koalesciraju. Uočena pojava da je koalescencija aerosola u komori zastupljenija porastom koncentracije emulzije može ukazati na veću zastaupljenost kapi ulja u aerosolu koje lakše koalesciraju. To potvrđuje pretpostavku da su aerosoli formirani od emulzija heterogeni i da sa porastom koncentracije emulzije raste zastupljenost kapi ulja u njima. Porastom koncentracije ulja u emulziji, aerosol počinje da koalescira pri nižim brzinama strujanja vazduha.

Za razliku od aerosola formiranih od 6 % emulzije, kod kojih se specifična brzina razlikuje međusobno, pri koncentraciji emulzije od 10 % svi aerosoli imaju jednaku specifičnu brzinu i ona je  $V_8 = 8$  m/s. Kada je reč o specifičnoj brzini kod aerosola formiranih od 1 % emulzije, onda je za aerosol AO3 to brzina  $V_3 = 3$  m/s, za AO5 to je  $V_6 = 6$  m/s, dok se za AO2 ne može precizno odrediti. Čini se da je uticaj prirode ispitivanih komercijalnih SHP sredstava na osobine aerosola najupadljiviji kod aerosola formiranih od 6 % emulzija.

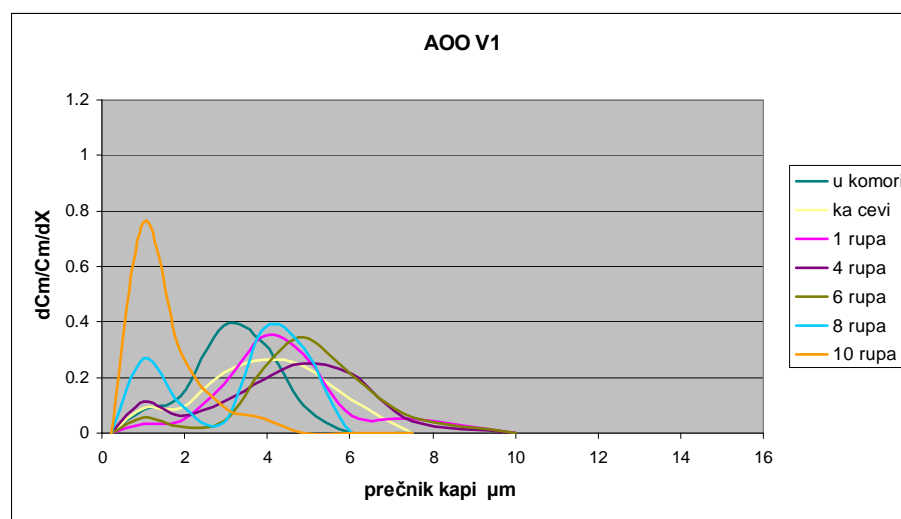
Aerosol AO2 se ponaša specifično u odnosu na druga dva aerosola pod uticajem strujanja vazduha u zapremini komore, dok je njegovo ponašanje na ulazu u ventilacioni vod slično sa ostalim aerosolima. Kako ulje UO2 ima najvišu molsku masu i viskoznost, kao i emulzija EO2 koja pored toga ima i najviši površinski napon specifično ponašanje aerosola AO2 moglo bi biti očekivano.

## Strujanje aerosola u cevi

### *Strujanje aerosola vode u cevi*

Za razliku od aerosola formiranih od emulzija, aerosol formiran od vode, ima znatno manji broj kapi, a time i masenu koncentraciju. Broj kapi kod aerosola vode se kreće u opsegu od 442 do 69, dok je taj opseg za aerosole emulzije od 9800 do 2500. Razlog tome može biti znatno viši površinski napon vode od površinskog napona emulzije.

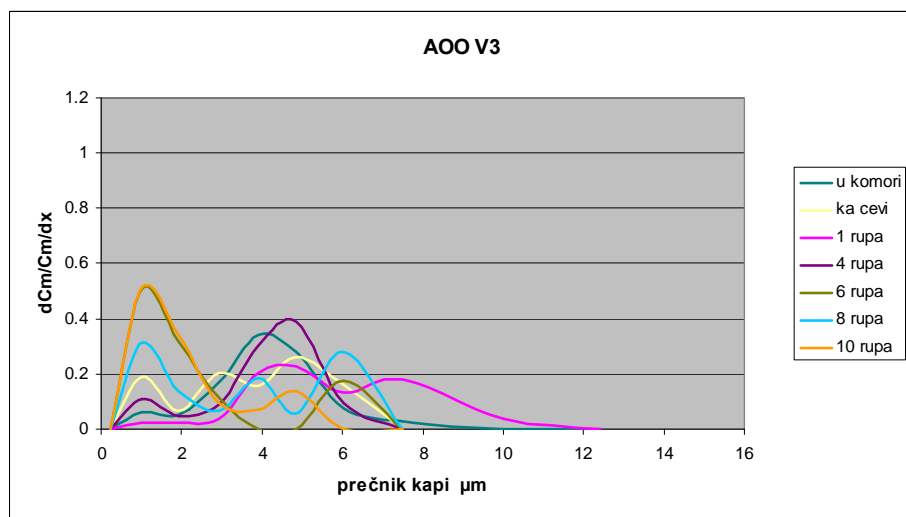
Pri brzini  $V_1 = 1$  m/s kapi aerosola vode AOO kondenzuju na početku cevi, što ukazuje povećanje masene koncentracije sa 0,41 na  $1,06 \text{ mg/m}^3$  prećeno nezatnom promenom broja kapi. Daljim strujanjem aerosola AOO isparavaju, na šta ukazuje i pojava duplih maksimuma. Isparavanje je intenzivnije u mernim mestima koja su dalje od komore, te je ono najintenzivnije u 10. rupi koja se nalazi na 8m od komore. Iako broj kapi ne opada bitnije, masena koncentracija na kraju ventilacione cevi iznosi samo  $0,05 \text{ mg/m}^3$ , što ukazuje da su najkrupnije kapi gotovo isparile, slika 103.



**Slika 103.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu  $V_1$

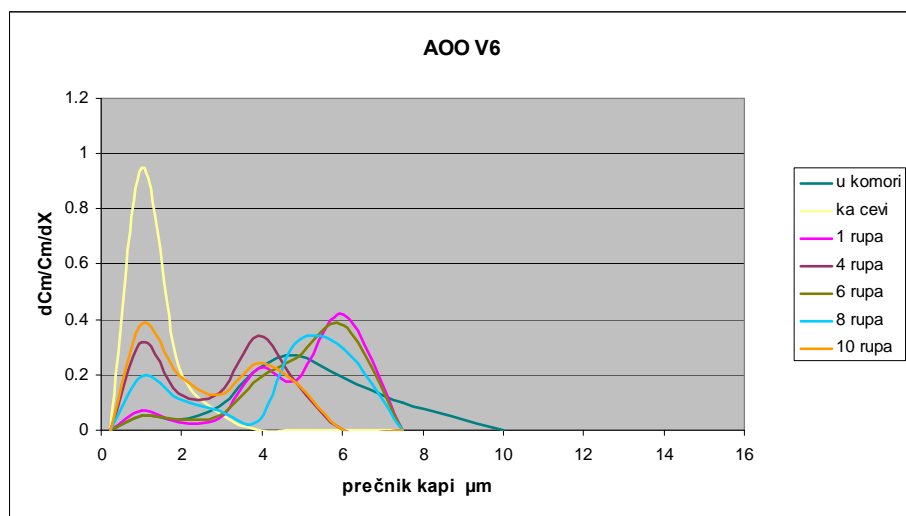
Što je brzina strujanja vazduha veća, kapi počinju ranije da isparavaju. Tako pri brzini  $V_3 = 3$  m/s isparavanje počinje već na ulazu ka cevi, gde se pojavljuju višestruki maksimumi. Međutim na početku ventilacione cevi (rupa 1.) i pri ovoj brzini dolazi do kondenzacije kapi. Višestruki maksimumi se dalje javljaju duž cevi, a najizraženiji su u rupi 8., koja se nalazi 6m od komore, slika 104.



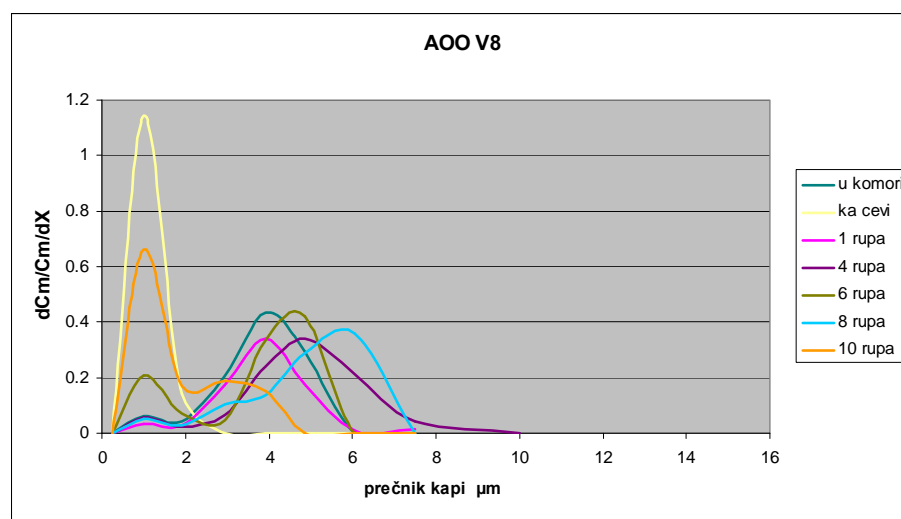


**Slika 104.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu V3

Pri brzinama  $V_6 = 6$  m/s i  $V_8 = 8$  m/s isparavanje je još dominantnije slika 105. i 106.



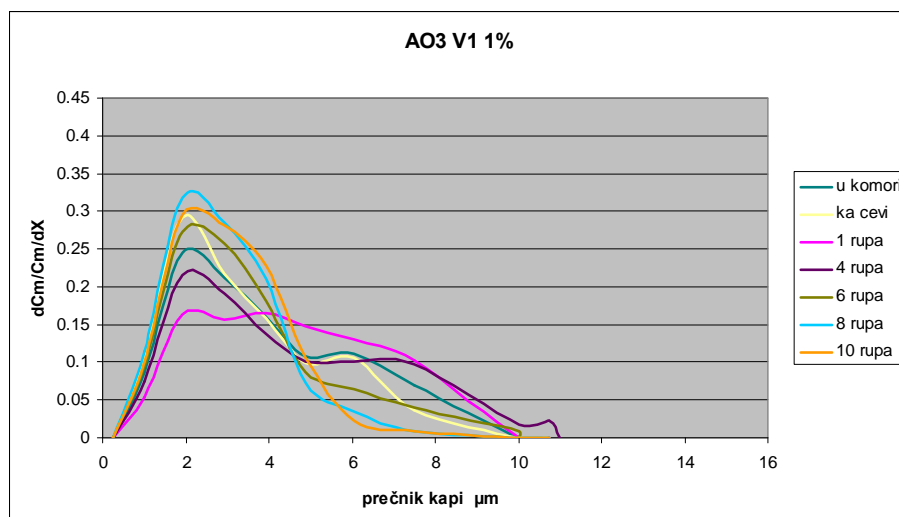
**Slika 105.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu V6



**Slika 106.** Krive raspodele aerosola AOO u cevi za brzinu V8

### *Strujanje aerosola u cevi formiranog od 1 % emulzije EO3*

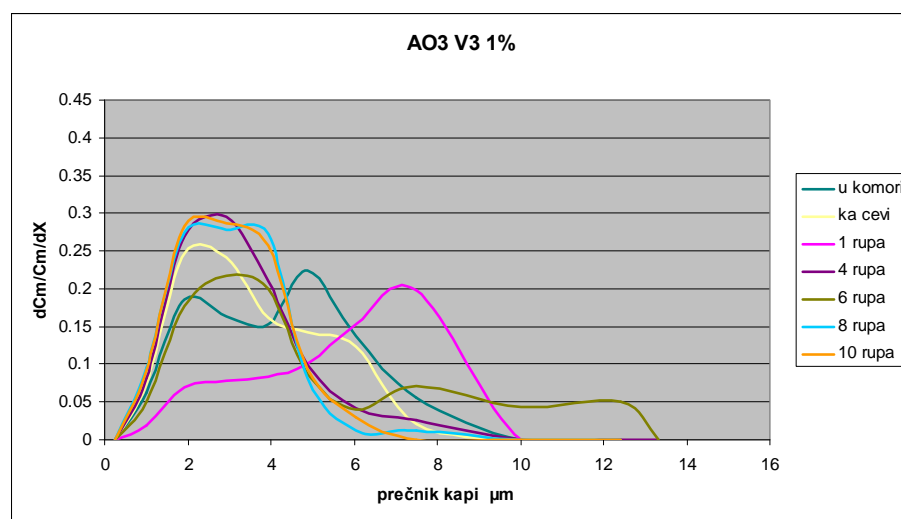
Pri brzini  $V1 = 1$  m/s u komori i ka cevi nema značajnije razlike, slika 107., kako u broju kapi i masenoj koncentraciji, tako u krivoj raspodele veličine kapi. U rupi 1., koja je na samom početku cevi dolazi do koalescencije ili kondenzacije kapi. Dalje duž cevi samo nekolicina najkrupnijih kapi se istalože, dok kapi veličine od  $0,235 \mu\text{m}$  do  $6 \mu\text{m}$  nastavljaju da lete celom dužinom cevi. Masena koncentracija kapi od početka ventilacione cevi do njenog kraja opadne sa  $10,39 \text{ mg/m}^3$  na  $4,88$ , a broj kapi samo sa  $3801 \text{ P/cm}^3$  na  $3362 \text{ P/cm}^3$ , tabela 30.



**Slika 107.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V1 formiranog od 1 % emulzije

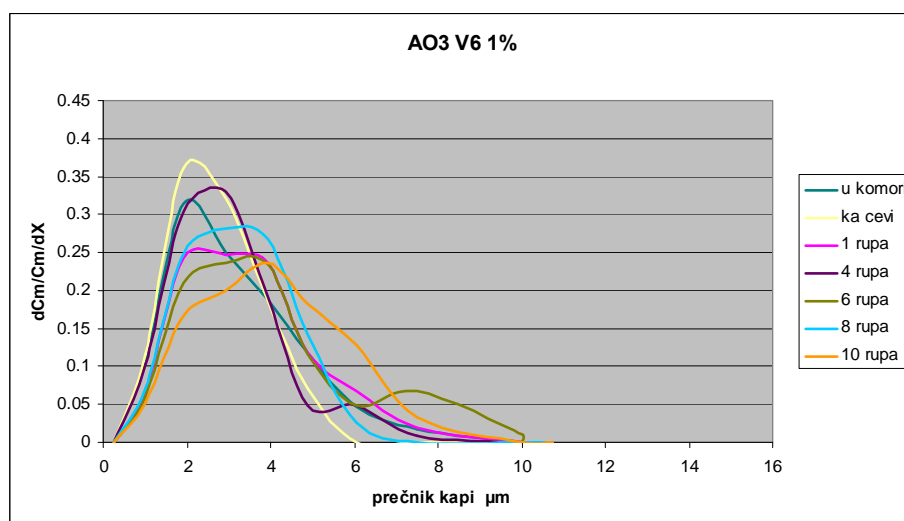
Porastom brzine strujanja ventilacionog vazduha sa  $V1 = 1$  m/s na  $V3 = 3$  m/s uočavaju se značajnije razlike u osobinama aerosola u zavisnosti od mesta uzorkovanja u samoj ventilacionoj cevi, slika 108. Kako se broj kapi smanjuje, a masena koncentracija povećava na samom početku cevi (rupa 1.) u odnosu na vrednosti u komori, a kriva raspodele pomera ka većim prečnicima nameće se zaključak da je došlo do koalescencije ili kondenzacije kapi na samom početku ventilacione cevi. Da je došlo do ukрупnjavanja kapi na početku cevi (jednim ili drugim mehanizmom) potvrđuje broj kapi i masena koncentracija koji značajno opadaju na sledećem mernom mestu u rupi 4. Ova brzina izaziva haotičnost strujanja i pri njoj dolazi još jednom do ukрупnjavanja kapi ovaj put koalescencijom i to u tački 6. Masena koncentracija od ulaza do kraja cevi opada sa  $14,53$  na  $4,26$  mg/m<sup>3</sup>, dok broj kapi ostaje gotovo ne promenjen, tabela 31.

Kriva raspodele se znatno sužava u poslednjoj tački (rupa 10.) u odnosu na početak cevi, što ukazuje da najkрупnije kapi, većinom nastale ukрупnjavanjem koalescencijom ili kondenzacijom. Masena koncentracija na kraju cevi pri ovoj brzini slična je kao i pri brzini  $V1 = 1$  m/s, tabela 31.



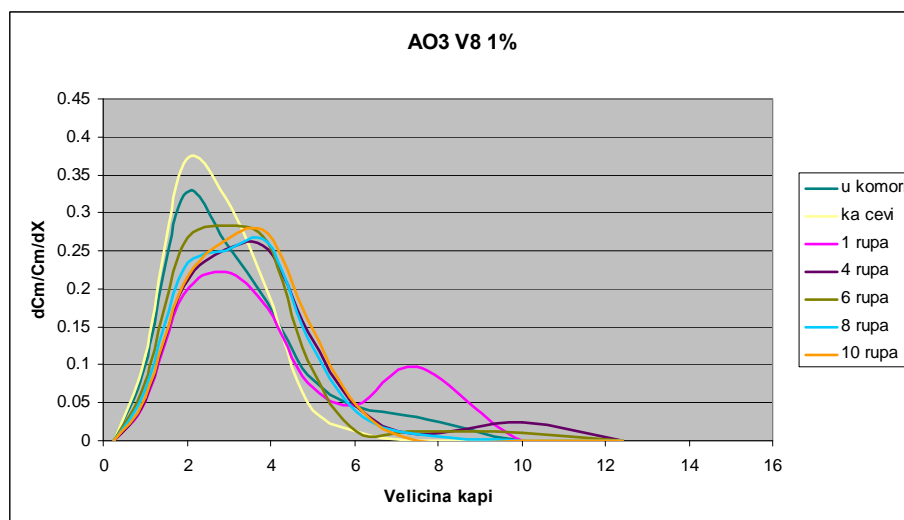
**Slika 108.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V3 formiranog od 1 % emulzije

Pri brzini V6 = 6 m/s, ventilacija je znatno bolja u komori, što pokazuje daleko manji broj kapi ( $2293 \text{ P/cm}^3$ ) i masena koncentracija ( $3,23 \text{ mg/m}^3$ ) u komori nego pri brzini V1 = 1 m/s ( $5023 \text{ P/cm}^3$  i  $8,65 \text{ mg/m}^3$ ), tabele 32. i 30. Sužavanje krivih raspodele u oba merna mesta u komori u odnosu na predhodne dve brzine, ukazuju da je došlo do isparavanja vodenih kapi aerosola, slika 109. Haotičnost u krivama raspodela duž cevi je manje ispoljena pri ovoj brzini. Ukрупnjavanje kapi je blaže izraženo na ulazu, a dominantno je na samom kraju cevi, mada i dalje manje nego pri predhodne dve brzine. Razlika u masenoj koncentraciji na ulazu u odnosu na kraj cevi je skoro zanemarljiva, što ukazuje da većina kapi odlazi sa strujom vazduha pre nego se istaloži u cevi.



**Slika 109.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V6 formiranog od 1 % emulzije

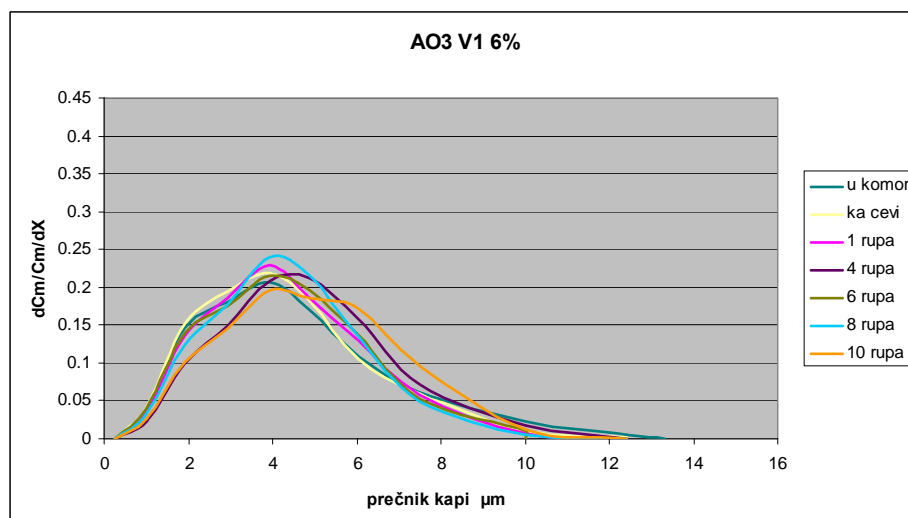
Pri brzini V8 = 8 m/s situacija kako u komori tako i u samoj cevi je slična kao pri brzini V6 = 6 m/s, sa tim da su razlike među krivama raspodele, osim na početku cevi, još manje izražene, slika 110.



**Slika 110.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V8 formiranog od 1 % emulzije

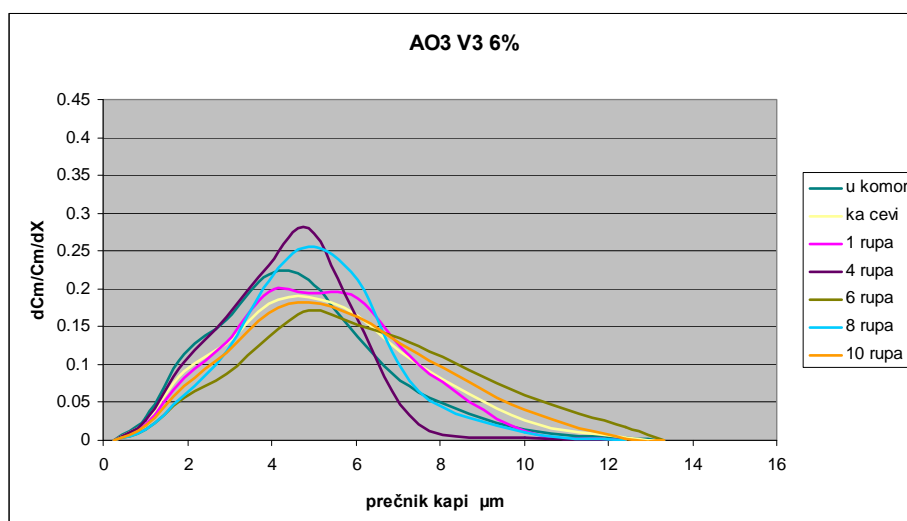
### Strujanje aerosola u cevi formiranog od 6 % emulzije EO3

Pri brzini  $V1=1$  m/s aerosol AO3 formiran od 6 % emulzije neznatno se razlikuje kako u komori tako i duž ventilacione cevi, slika 111. 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.



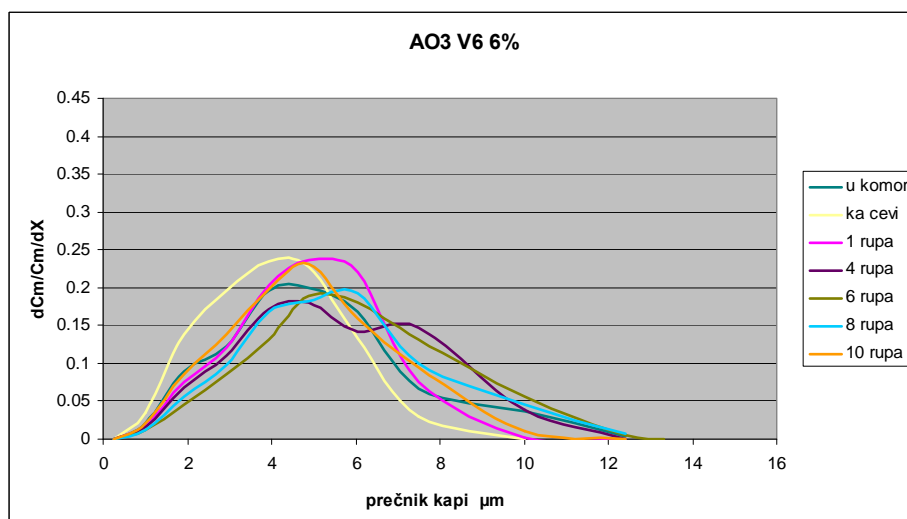
**Slika 111.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V1 formiranog od 6 % emulzije

Povećanjem ventilacione brzine na  $V3=3$  m/s do koalescencije kapi aerosola dolazi pri ulazu u cev, kao i na samom početku cevi (rupa 1.). Koalescirane kapi se istalože do sledećeg mernog mesta (rupa 4.) međutim dalje dolazi do koalescencije preostalih kapi (rupa 6.) koje se delom istalože (rupa 8.), pa zatim preostale ponovo koalesciraju (rupa 10.), slika 112. Čini se da ova brzina unosi haotičnost u strujanje. Kao i da se broj kapi kao i masena koncentracija nebitno razlikuju od početka do kraja cevi, što govori da mali broj kapi koalescira. Čini se da je aerosol formiran od 6 % emulzije stabilniji, i da većina kapi prati strujanje vazduha.



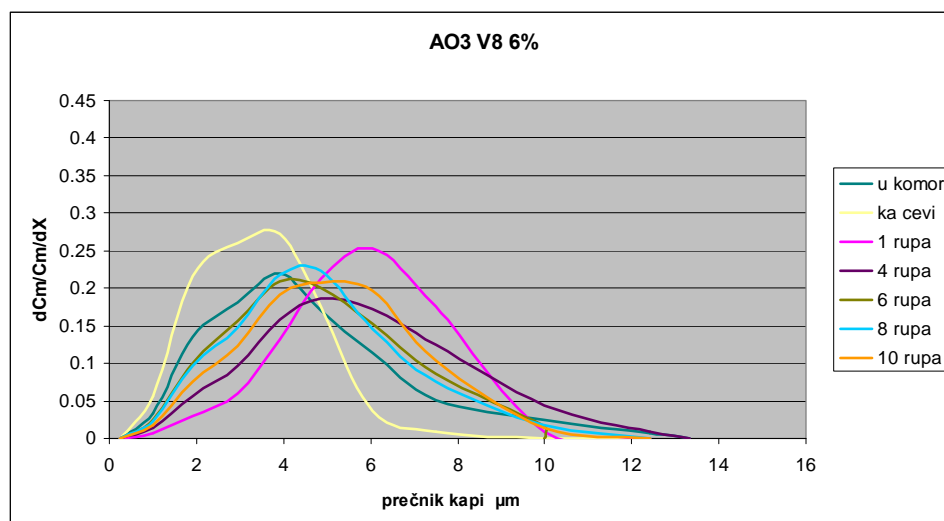
**Slika 112.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V3 formiranog od 6 % emulzije

Pri brzini V6= 6 m/s dolazi do koalescencije kapi na početku cevi (rupa 1.). Koelescirane kapi ne padaju, već dalje koalesciraju sve do rupe 6., posle koje počinju blago da se talože rupa 8. i rupa 10., slika 113. Međutim kapi se ne ukрупne dovoljno da bi se masovnije istaložile, već odlaze sa strujom vazduha.



**Slika 113.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V6 formiranog od 6 % emulzije

Kod brzine  $V_8 = 8$  m/s dolazi do koalescencije na početku cevi (rupa 1.). Deo kapi se istaloži, ali većina nastavlja da leti sa strujom vazduha. Početak nove koalescencije se javlja na rupi 8. i nastavlja se (rupa 10.), slika 114. I pri ovoj brzini većina kapi odlazi sa strujom vazduha.



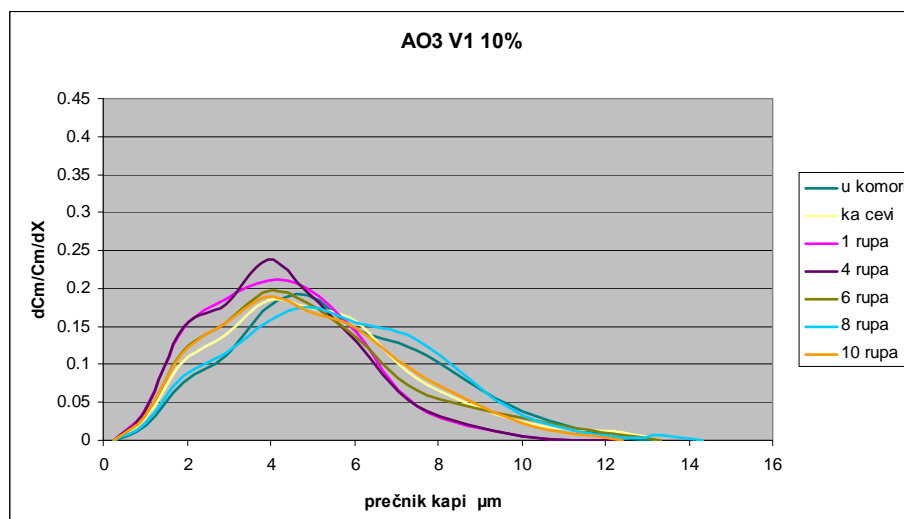
**Slika 114.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu  $V_8$  formiranog od 6 % emulzije

Čini se da su kapi aerosola formiranog od 6 % emulzije inertnije na ventilaciju od kapi formiranih od 1 % emulzije. Pošto se njihov broj kao i masena koncentracija od ulaza do kraja ventilacione cevi neznatno smanjuje, što pokazuje da kapi uglavnom lete. Isparavanje duž cevi je potpuno odustno kod ovakvog aerosola.

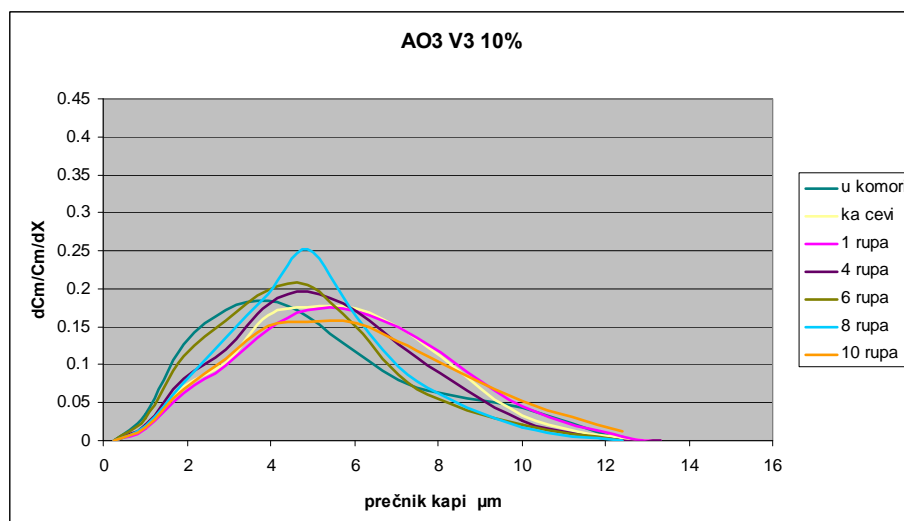
### ***Strujanje aerosola u cevi formiranog od 10 % emulzije EO3***

Pri strujanju aerosola AO3 formiranog od 10 % emulzije na brzini  $V_1 = 1$  m/s ne dolazi do većih promena u krivama raspodele sve do rupe 6. kada počinje blago koalesciranje kapi, slika 115. Kapi najviše koalesciraju na putu od 6. do 8. rupe, da bi se deo njih istaložio do rupe 10. Međutim broj kapi i masena koncentracija na ulazu i na kraju ventilacione cevi se ne razlikuje značajnije, tabela 38., te se nameće zaključak da većina kapi nastavlja da leti sa strujom vazduha. Situacija je slična pri svim ostalim brzinama, slike 116., 117., i 118.

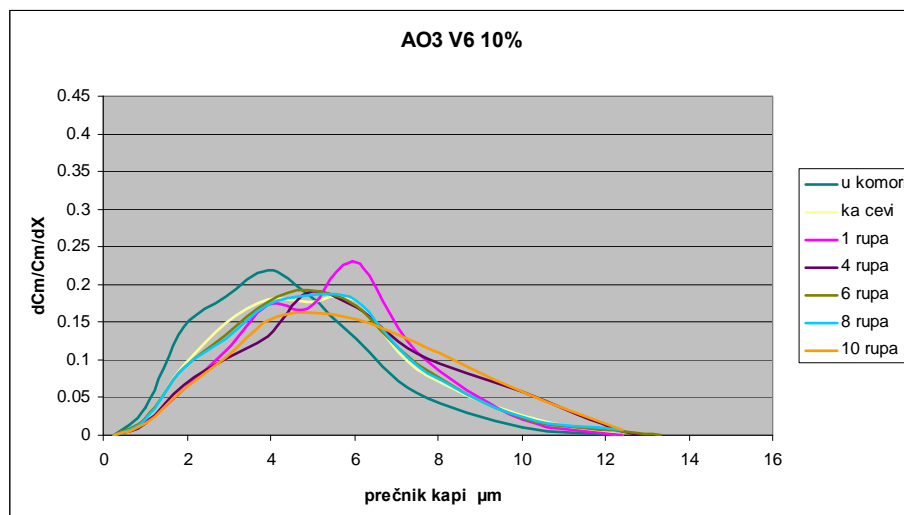




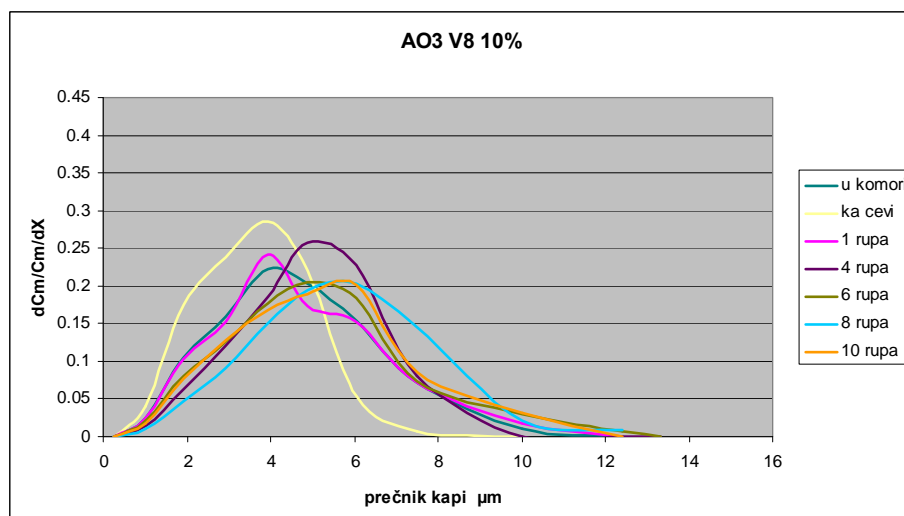
**Slika 115.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V1 formiranog od 10 % emulzije



**Slika 116.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V3 formiranog od 10 % emulzije



**Slika 117.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V6 formiranog od 10 % emulzije



**Slika 118.** Krive raspodele aerosola AO3 u cevi za brzinu V8 formiranog od 10 % emulzije

***Završna razmatranja strujanja aerosola u cevi formiranog emulzije EO3***

Ako se porede krive raspodele aerosola vode i emulzije EO3 koncentracije od 1 % do 10 % pri brzini  $V1 = 1$  m/s može se uočiti da se krive raspodele porastom koncentracije sve manje razlikuju međusobno duž cevi. One su čak najslabije pri koncentraciji od 6 %. Pri brzini  $V3 = 3$  m/s ponašanje je slično, sa tim što su krive raspodele najpodudarnije pri koncentraciji od 10 %. Pri brzinama  $V6 = 6$  m/s i  $V8 = 8$  m/s uočava se jednak trend ponašanja. To bi značilo da porastom broja kapi ulja u aerosolu raste uređenost njegovog strujanja kroz cev, manje su izražene promene u raspodeli veličine kapi aerosola duž cevi.

## ZAKLJUČAK

Polazeći od činjenice da su ranija istraživanja o SHP aerosolima dominantno rađena u industrijskim uslovima gde je veliki broj faktora promenljiv, pa time i značajno otežano donošenje generalnih zaključaka o fenomenima koji se dešavaju, cilj ove doktorske teze je bio da se u kontrolisanim uslovima, minimizirajući broj faktora koji utiču na osobine nastalog aerosola, ispituju osobine i ponašanje aerosola u zavisnosti od prirode i koncentracije SHP sredstva u vodenoj emulziji. Šire gledano ova disertacija imala je za cilj da doprinese razjašnjenju mehanizama procesa atomiziranja emulzije imajući u vidu da su istraživanja u ovoj oblasti još uvek nedovoljno zastupljena u naučnoj literaturi.

U ovoj doktorskoj disertaciji postavljena je teorija da atomiziranjem emulzije kao heterogenog tečnog sistema, nastaje heterogen aerosol, pri čemu mogu nastati kapi različite prirode. Kapi aerosola mogu biti pored kapi emulzije (i to kako ulja u vodi, tako i vode u ulju) i kapi čistog ulja, kao i kapi vode koja sadrži rastvorene aditive. Naveden spektar kapi aerosola različite prirode nastaje kada je intenzitet centrifugalne sile veći od sternog odbijanja kapi ulja u emulziji. U tim uslovima dolazi do pregrupisavanja dve tečnosti koje grade emulziju. Tečnost manje gustine se pomera bliže osi rotacije, a tečnost veće gustine dalje od ose. U tim uslovima postoji mogućnost da film i ligamenti tečnosti sadrže segmente u kojima se nalazi ulje, zatim segmente u kojima ima i ulja i vode, i na kraju segmente samo vode. Dezintegriranjem ovako raslojenih fragmenata tečnosti tokom procesa atomiziranja formiraju se sva četiri navedena tipa kapi u aerosolu.

Kada emulzija kao heterogen sistem formira heterogen aerosol koji sadrži i kapi čistog ulja, tada broj tih kapi u aerosolu raste sa porastom koncentracije ulja u emulziji. Ulje kao viskozni fluid uslovljava formiranje krupnijih kapi u aerosolu, pa povećanje udela ovih kapi u aerosolu uslovljava i više vrednosti SMD i MMD prečnika. Ovaj fenomen se dešava kako kod koncentrovanih, tako i kod razblaženih emulzija i nije povezan sa viskoznošću emulzije.

Viskoznosti ispitivanih emulzija imaju veoma bliske vrednosti i praktično se ne razlikuju međusobno, ali ipak im se razlikuju veličine kapi u aerosolu. Polazeći od pretpostavke da je aerosol heterogen i da sadrži i kapi ulja može se očekivati da su te kapi krupnije kod aerosola formiranog od emulzije izgrađene od viskoznijeg ulja, što je istraživanjima u ovoj disertaciji i potvrđeno. Porastom koncentracije emulzije opada njen površinski napon, a ipak raste veličina kapi aerosola što je suprotno od teorijski očekivane zavisnosti, najčešće zastupljene u

naučnoj literaturi, dobijene na osnovu izjednačavanja centrifugalne sile i sile površinskog napona. Istraživanja u ovom radu su potvrdila da se emulzija kao heterogen tečni sistem ne pokorava očekivanoj zavisnosti.

Doprinos ove teze dalje se ogleda u proučavanju fenomena transporta aerosola nastalog atomiziranjem emulzije i to kako u komori mašine alatke tako i u ventilacionom vodu.

Analizom rezultata uočava se da kod svakog ulja postoji određena brzina pri kojoj se aerosol u komori najviše razlikuje od aerosola na ulazu u ventilacioni vod. Ta brzina se može nazvati specifična brzina. Kod aerosola formiranih od 6 % emulzije specifična brzina za aerosol AO3 je 3 m/s, za aerosol AO5 je 6 m/s, dok je kod aerosola AO2 to 8 m/s. Kako se radi o vrlo složenim fenomenima, na ovom stepenu istraživanja nije moguće detaljnije objasniti šta uzrokuje ovu pojavu, ali se može istaći da su viskoznost kao i molska masa ulja od kojih su pripremljene ispitivane emulzije najniže za ulje UO3, a najviše za ulje UO2, kao i da je specifična brzina kod aerosola formiranih od 6 % emulzija za aerosol AO3 najmanja, a kod aerosola AO2 najveća. Dalja istraživanja bi trebalo usmeriti na ispitivanje uticaja prirode ulja na specifičnu brzinu.

Kod aerosola formiranih od 1 % emulzija ne dolazi do koalescencije kapi u komori ni pri jednoj ventilacionoj brzini, dok se kod aerosola od 6 % i 10 % emulzije javlja koalescencija skoro pri svim brzinama. Uočena pojava da je koalescencija aerosola u komori zastupljenija u slučaju kada je aerosol formiran od emulzija veće koncentracije, ukazuje na veću zastupljenost kapi ulja u aerosolu koje lakše koalesciraju.

Proučavanje strujanja aerosola u ventilacionoj cevi ukazuje na to da porastom koncentracije ulja u emulziji, odnosno porastom broja kapi ulja u formiranom aerosolu raste uredenost njegovog strujanja 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.

Aerosol AO2 se ponaša specifično, kako u pogledu krivih raspodela, tako i masene i brojne koncentracije, u odnosu na druga dva aerosola pod uticajem strujanja vazduha u zapremini komore, dok je njegovo ponašanje na ulazu u ventilacioni vod slično sa ostalim aerosolima. Kako emulzija EO2 od koje je formiran aerosol AO2 ima najviši površinski napon, a njeno ulje UO2 najvišu molsku masu i viskoznost, specifično ponašanje aerosola AO2 moglo bi biti očekivano. Blisko ponašanje svih aerosola na ulazu u ventilacioni vod uslovljeno je intenzivnijim strujanjem vazduha, što uzrokuje nižu koncentraciju aerosola, čime se smanjuje uticaj prirode ulja.

## LITERATURA

- [1] D. Koch, S. Menon., A. Del Genio, R. Ruedy, I. Alienov, G.A. Schmidt, Distinguishing Aerosol Impacts on Climate over the Past Century, American Meteorological Society, (2009) 2659-2677.
- [2] T. Lahde, T. Ronkko, A. Virtanen, T.J. Schuck, L. Pirjola, K. Hameri, M. Kulmala, F. Arnold, D. Rothe, J. Keskinen, Heavy Duty Diesel Engine exhaust Aerosol Particle and Ion Measurements, Environ. Sci Technol. 43 (2009) 163-168.
- [3] M. A. Miller, R. M. Reynolds R.M., J. J. Bartholomew, Ocean Aerosols: The Marine Fast-Rotating Shadow Band Radiometer Network, Thirteenth ARM Science Team Meeting Proceedings, (2003) 1-16.
- [4] M.R. Chen, P.J. Tsai, C. C. Chang, T. S. Shih T.S., 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. Haz. Mat. 146 (2007) 393-398.
- [5] D. Orozco, D. Alegria, S. J. Gaona, A.E. Bastidas, E. Rodriguez, Classification and characterization of atmospheric aerosol in Popayan-Colombia, Opt. Pura Apl. 41(2) (2008) 123-127.
- [6] E. Jurado, J. Dachs, C. M. Duarte, R. Simo, Atmospheric deposition of organic and black carbon to the global oceans, Atmos. Environ. 42 (2008) 7931-7939
- [7] I. Salma, T. Borsos, T. Weidinger, P. Aalto, T. Hussein, M. Dal Maso, M. Kulmala, Production, growth and properties of ultrafine atmospheric aerosol particles in an urban environment, Atmos. Chem. Phys. 10 (2010) 13689-13721.
- [8] Aerosol and Air Quality research laboratory , zadnji pristup (29.11.2011) <http://aerosol.ees.ufl.edu/Bioaerosol/section01.html>
- [9] Aerosol and Air Quality research laboratory, zadnji pristup (29.11.2011) <http://aerosol.ees.ufl.edu/default.htm>
- [10] Dust free, Indoor Air Quality Solutions, zadnji pristup (29.11.2011) <http://www.dustfree.com/dander.htm>

- [11] D. Park, Y-H. Kim, C.W. Park, J. Hwang, Y-J. Kim, New bio-aerosol collector using a micromachined virtual impactor, *Aerosol Sci.* 40 (2009) 415 - 422.
- [12] H. Heinonen-Tanaski, T. Reponen, J. Koivunen, Airborne enteric coliphages and bacteris in sewage treatment plants, *Water Res.* 43 (2009) 2558-2566.
- [13] M. Nikaeen, M. Hatamzadeh, A. Hasanzadeh, E. Sahami, I. Joordan, Bioaerosol emission arising during application of municipal solid-waste compost, *Aerobio.* 25 (2009) 1-6.
- [14] P. Siikanth, S. Sudharsanam, R. Steinberg, Bio-Aerosols in Indoor Environment; Composition, Health Effects and Analysis, *Indian J. Med. Microbiol.* 26(4) (2008) 302-12.
- [15] J. Pecia, D. K. Milton, T. Reponen, J. Hill, Environmental Engineering and Science in Preventing Bioaerosol-Related Disease, 7 (2008) 4631-4637.
- [16] B. Ambravaneswaran, O. Basaran, Effect of insoluble surfactants on the nonlinear deformation and breakup of stretching liquid bridges, *Physics of Fluid,* 11 (1999) 5.
- [17] H. Bluhm, H.C. Siegmann, Surface science with aerosol, *Surf. Sci.* 603 (2009) 1969-978.
- [18] [www.aerosols.wustl.edu/education/AerosolBasics/Particle%20size.htm](http://www.aerosols.wustl.edu/education/AerosolBasics/Particle%20size.htm)  
zadnji pristup (29.11.2011)
- [19] T. Mzojo, T. Ozabu, K. Nishi, C. Kadoza, I. Tanaka, M. Ono-Ogasawara, H. Sakae, T. Shirai, Aerosol generation and measurement of multi-wall carbon nanotubes, *Journal of Nanoparticle Research,* 11 (2009) 91-99.
- [20] N. Kazerouni, T. L. Thomas, S. A. Petralia, R.B. Hayes, Mortality Among Workers Exposed to Cutting Oil Mist: Update of Previous Reports, *American Journal of Industrial Medicine,* 38 (2000) 410-416.
- [21] E. A. Eisen, T. J. Smith, D. Kriebel, S. R. Woskie, D. J. Myers, S. M. Kennedy, S. Shalat, R. R. Monson, Respiratory Health of Automobile Workers

and Exposures to Metal-Working Fluid Aerosols: Lung Spirometry, *American Journal of Industrial Medicine* 39(2001) 443-453

[22] H. Bluhm, H.C.Siegmann, Surface science with aerosol, *Surface Science*, 603 (2009) 1969-978

[23] F. Mashayek, N. Ashgriz, W.J. Minkowycz, B. Shotorban, Coalescence collision of liquid drops, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46 (2003) 77-89

[24] F.H. Lambert, M.R. Allen, Are Changes in Global Precipitation Constrained by the Tropospheric Energy Burget, *American Meteorological Society*, (2009)

[25] H. Giebl, A. Berner, G. Reischl, H. Puxbaum, A. Kasper-Giebl, R. Hitzenberger, CCN activation of oxalic and malonic acid test aerosols with the University of Vienna cloud condensation nuclei counter, *Aerosol Sci.* 33 (2002) 1623-1634.

[26] J. Sun, P.A. Ariya, Atmospheric organic and bio-aerosols as cloud condensation nuclei (CCN): A review, *Atmos. Environ.* 40 (2006) 795-820.

[27] A.B. Kostinski, R.A. Shaw, Scale-dependent droplet clustering in turbulent clouds, *J. Fluid. Mech.* 434 (2001) 389-398.

[28] M.O. Andreae, D. Rosenfeld, Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosol, *Earth-Sci. Reviews*, 89 (2008) 13-41.

[29] E. Brüggemann, H. Gereig, Th. Gnauk, K. Müller, H. Herrmann, Influence of seasons, air mass origin and day of the week on size-segregated chemical composition of aerosol particles at a kerbside, *Atmos. Environ.* 43 (2009) 2456-2463.

[30] N. Unger, D.T. Shindell, J.S Wang, Climate forcing by the on road transportation and power generation sectors, *Atmos. Environ.* 43 (2009) 3077-3085.

[31] H. Xue, A. F. Khalizov, L. Wang, J. Zheng, R. Zhang, Effects of Coating of Dicarboxylic Acids on the Mass-Mobility Relationship of Soot Particles, *Environ. Sci Technol*, 43 (2009) 2787-2792



- [32] Y. Ming, V. Ramaswamy, Nonlinear Climate and Hydrological Responses to Aerosol Effects, *J. Climate*, 22 (2009) 1329.
- [33] R.A. Shaw, Particle-Turbulence Interactions in Atmospheric Clouds, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 35 (2003) 183-227.
- [34] K.S. Lee, S. Kim, D. Lee, Aerodynamic focusing of 5-50 nm nanoparticles in air, *J. Aerosol Sci.*, 40 (2009) 1010–1018.
- [35] X. Xuan, D. Li, Particle motions in low-Reynolds number pressure-driven flows through converging-diverging microchannels, *J. Micromech. Microeng.*, 16 (2006) 62-69.
- [36] O. Vohl, S.K. Mitra, K. Diehl, G. Huber, S.C. Wurxler, K.L. Kratz, H.R. Pruppacher, A Wind Tunnel Study of Turbulence Effect on the Scavenging of Aerosol Particles by Water Drops, *J. Aerosol Sci.* 59 (2000) 3064-3072.
- [37] P.Kulkarni, G.J. Deye, P.A. Baron, Bipolar diffusion charging characteristics of single-wall carbon nanotube aerosol particles, *Aerosol Science*, 40 (2009) 164-179.
- [38] Jr.C.J. Hogan, P. Biswas, D. Chen, Charged Droplet Dynamics in the Submicrometer Size Range, *J. Phys. Chem.*, 113 (2009) 970-976.
- [39] T. Lahde, T. Ronkko, A. Virtanen, T.J. Schuck, L. Pirjola, K. Hameri, M. Kulmala, F. Arnold, D. Rothe, J. Keskinen, Heavy Duty Diesel Engine exhaust Aerosol Particle and Ion Measurements, *Environ. Sci Technol*, 43 (2009) 163-168.
- [40] A. Sorokin, P. Mirabel, Ion recombination in aircraft exhaust plumes. *Geophys. Res. Lett.* 28 (2001) 955- 965.
- [41] M. Szakall, S.K. Mitra, K. Diehl, S. Borrmann, Shapes and oscillations of falling raindrops – A review, *Atmos. Res.* 97 (2010) 416–425.
- [42] O. Vohl, S.K. Mitra, S. Wurxler, K. Diehl, H. R. Pruppacher, Collision efficiencies empirically determined from laboratory investigations of collisional growth of small raindrops in a laminar flow field, *Atmos. Res.* 85 (2007) 120-125.

- [43] D.M. Chate, P.C.S. Devara, Acidity of raindrop by uptake of gases and aerosol pollutants, *Atmos. Environ.* 43 (2009) 1571-1577.
- [44] H.R. Pruppacher, R. Jaenicke, The processing of water vapor and aerosols by atmospheric clouds, a global estimate, *Atmos. Res.* 38 (1995) 283-295.
- [45] V. O'Brien, Why Raindrops Break Up-vortex Instability, *J. Meteorology* (1961) 549-552.
- [46] R. Uijlenhoet, S.D. Torres, Measurement and parameterization of rainfall microstructure, *Journal of Hydrology* 328 (2006) 1-7.
- [47] A.B. Kostinski, M.L. Larsen, A.R. Jameson, The texture of rain: exploring stochastic micro-structure at small scales, *Journal of Hydrology* 328 (2006) 38-45.
- [48] M.O. Andreae, D. Rosenfeld, Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosol, *Earth-Science Reviews* 89 (2008) 13-41
- [49] D.A. Hegg, S. Gao, W. Hoppel, G. Frick, P. Caffrey, W. R. Leitch, N. Shantz, J. Ambrusko, T. Albrechtinski, Laboratory studies of the efficiency of selected organic aerosols as CCN, *Atmos. Res.* 58 (2001) 155-166.
- [50] J.H. Seinfeld, J.F. Pankow, Organic Atmospheric Particulate Material, *Annu. Rev. Phys. Chem.* 54 (2003) 121-140.
- [51] E. Von Schneidemesser, J.J. Schauer, G.S.W. Hagler, M. H. Bergin, Concentrations and sources of carbonaceous aerosol in the atmosphere of Summit, Greenland, *Atmos. Environ.* 43 (2009) 4155-4162.
- [52] S. Fuzzi, M.O. Andreae, B.J. Huebert, M. Kulmala, T. C. Bond, M. Boy M, S. J. Doherty, A. Guenther, M. Kanakidou, K. Kawamura, V. M. Kerminen, U. Lohmann, L. M. Russell, U. Posch, Critical assessment of the current state of scientific knowledge, terminology, and research needs concerning the role of organic aerosols in the atmosphere, climate, and global change, *Atmos. Chem. Phys.* 6 (2006) 2017-2038.
- [53] M. Kanakidou, J. H. Seinfeld, S. N. Pandis, I. Barnes, F. J. Dentener, M. C. Facchini, R. van Dingenen, B. Ervens, A. Nenes, C. J. Nielsen, E. Swietlicki, J.

P. Putaud, Y. Balkanski, S. Fuzzi, J. Horth, G. K. Moortgat, R. Winterhalter, C. E. L. Myhre, K. Tsigaridis, E. Vignati, E. G. Stephanou, J. Wilson, Organic aerosol and global climate modeling: a review, *Atmos. Chem. Phys.* 5 (2005) 1053-1123.

[54] C. Balducci, A. Cecinato, Particulate organic acids in the atmosphere of Italian cities: Are they environmentally relevant, *Atmos. Environ.* (2009) 1-8.

[55] S.W. Park, J.W. Kim, C. H. Lee, Effect of injector type on fuel-air mixture formation of high-speed diesel sprays, *Proc.Mech. Auto. Engineer.* (2006) 220-232.

[56] A. Bouchard, N. Jovanović, A.H. De Boer, A. Martin, W. Jiskoot, D.J.A. Crommelin, G.W. Hofland, G-J Witkamp, Effect of the spraying conditions and nozzle design on the shape and size distribution of particles obtained with supercritical fluid drying, *Euro. J. of Pharma. Biopharma.* 70 (2008) 389-401.

[57] P.C.H. Miller Butler, M. C. Ellis, Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers, 19 (2000) 609-615.

[58] S.W. Park, S. Kim, C.S. Lee, Break and atomization characteristics of mono-dispersed diesel droplets in a cross-flow air stream, *Int. J. Multiphas. Flow*, 32 (2006) 807-822.

[59] Y.Y. Zhao, Analysis of flow development in centrifugal atomization: Part II. Disintegration of a non-fully spreading melt, *Modelling Simul.Mater. Sci.Eng.* 12 (2004) 973-983.

[60] C.Czisch, U. Ftitsching, Atomizer design for viscous-melt atomization, *Materials Science and Engineering A.*, 477 (2008) 21-25.

[61] Terfous A., Helmaoui M., Hazzab A., Ghenaim A. Measurement of liquid particle concentrations in a free jet flow, *Chemical Engineering and Processing* 48 (2009) 348-355.

[62] <http://crac.ucc.ie/tour/Brice1.pdf> (zadnji pristup 22.11.2011)

- [63] J. Baldyga, L. Makowski, W. Orciuch, C. Sauter, H.P. Schuchmann, Agglomerate dispersion in cavitating flows, *Chemical Engineering Research and Design* 87 (2009) (4) 474-484.
- [64] Xu. Qingxing, Fong Yew Leong, Chi-Hwa Wang, Transport and deposition of inertial aerosols in bifurcated tubes under oscillatory flow, *Chemical Engineering Science* 64 (2009) (5) 830-846.
- [65] G. Calvert, M. Ghadiri, R. Tweedie, Aerodynamic dispersion of cohesive powders: A review of understanding and technology, *Advanced Powder Technology* 20 (2009) 4-16.
- [66] E. dela Cruz, J.S. Chang, A.A. Berezin, D. Ewing, J.S. Cotton, M. Bardeleben, Electrical effect of soot depositions in a co-axial wire pipe flow, *Journal of Electrostatics* 67 (2009) 128–132.
- [67] A. Bologna, H.R. Paur, H. Seifert, Th. Wascher, K. Woletz, Novel wet electrostatic precipitator for collection of fine aerosol, *Journal of Electrostatics*, 67 (2009) 150-153.
- [68] W.G. Shin, Qi C. J. Wang, H. Fissan, D.Y.H. Pui, The effect of dielectric constant of materials on unipolar diffusion charging of nanoparticles, 40 (2009) 463-468.
- [69] C. Dumouchel, On the experimental investigation on primary atomization of liquid streams, *Exp. Fluids*, 45 (2008) 371-422.
- [70] A.A. Pavlova, K. Otani, M. Amitay, Active control of sprays using a single synthetic jet actua, *Inter. Journal of Heat and Fluid Flow*, 29 (2008) 131-148.
- [71] S.R.L. Werner, J.R. Jones, A.H.J. Paterson, R.H. Archer, D.L. Pearce, Air-suspension particle coating in the food industry: Part I – state of the art, *Powder Technology*, 171 (2007) 25-33.
- [72] S.R.L. Werner, J.R. Jones, A.H.J. Paterson, R.H. Archer, D.L. Pearce, Air-suspension coating in the food industry: Part II – micro-level process approach, *Powder Technology*, 171 (2007) 34-45

[73] J. Baldyga, L. Makowski, W. Orciuch, C. Sauter, H.P. Schuchmann, Agglomerate dispersion in cavitating flows, *Chemical Engineering Research and Design*, 87 (4) (2009) 474-484.

[74] A. Gharsallaoui, G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley A, R. Saurel, Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview, *Food Res. Inter.* 40 (2007) 1107-1121.

[75] S. Drusch, Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying, *Food Hydrocolloids*, 21 (2007) 1223-1228.

[76] S. M. Jafari, Y. He, B. Bhandari, Encapsulation of Nanoparticles of d-Limonene by Spray Drying: Role of Emulsifiers and Emulsifying Techniques, *Drying Technology*, 25 (2007) 1079-1089.

[77] R. Vehring, Pharmaceutical Particle Engineering via Spray Drying, *Pharma. Res.* 25 (5) (2008) 999-1100.

[78] G. Bertrand, P. Roy, C. Filitare, C. Coddet, Spray-dried ceramic powders: A quantitative correlation between slurry characteristics and shapes of the granules, *Chem. Engin. Sci.* 60 (2005) 95-102.

[79] R. Vehring, W. R. Foss, D. Lechuga-Ballesteros, Particle formation in spray drying, *Aero. Sci.* 38 (2007) 728-746.

[80] A. Millqvist-Fureby, P. Smith, In-situ lecithination of dairy powders in spray-drying for confectionery applications, *Food Hydrocolloids*, 21 (2007) 920-927.

[81] T. Corcoran, A. Mansour, N. Chigier, Medical atomization design for inhalation therapy, American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FED, 244 (1997) 255-263.

[82] H. Steckel, H. G. Brandes, A novel spray-drying technique to produce low density particles for pulmonary delivery, *Inter. J. Pharma.* 278 (2004) 187-195

[83] <http://www.paragon-service.com/products/metalWorkingFluids.aspx>

[84] <http://www.epoxyoil.com/shell.html>

- [85] S. Sokolović, Tehnologija proizvodnje i primene tečnih maziva, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, 1998
- [86] V. Savić, Tribologija i podmazivanje, Ikos Novi Sad, 1995.
- [87] Metalworking Fluids: Safety and Health Best Practices Manual, OSHA, (2001) zadnji put pristupljeno 1.07.2011, [www.osha.gov/SLTC/metalworkingfluids/metalworkingfluids\\_manual.html](http://www.osha.gov/SLTC/metalworkingfluids/metalworkingfluids_manual.html)
- [88] D. M. Lewis, E. Janotka, M. P. Whitmer M., T. A. Bledsoe, Detection of microbial antigens in metal working fluids, Intern. Biodeterio. Biodegradati. 47 (2) (2001) 6 89-94.
- [89] V. Savić, O. Kovač, S. Sokolović, M. Kolb-Gologlavić, R. Zimakiljević, O. Nikolić, Lj. Kovač, Obrada iskorišćenih ulja i emulzija, Ikos Zenica, 1991.
- [90] Martin Stear, Metalworking Fluids—Clearing Away the Mist?, Ann. occup. Hyg., 49 (4) (2005) 279–281.
- [91] N. Canter, Metalworking fluid mist: Strategies for Minimizing Exposure, Tribol. Lubr. Technol. 3 (2005) 36-44.
- [92] V.B. Lazarević, I.M. Krstić, Lj.M. Takić, M.L. Lazić, V.B. Veljković, Bistrenje i filtracija suspenzije flokulisanih čestica iz hemijskog prečišćavanja otpadne vodene emulzije iz procesa obrade obojenih metala, Hem. Ind. 65 (2011) 53-59.
- [93] D.Sokolović, D. Govedarica, Aerosoli iz metaloprerađivačke industrije, IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“, Kladovo, novembar, 2009, 505-510.
- [94] D. Park, P.A. Stewart, J. B. Coble, Determinants Of Exposure To Metalworking Fluid Aerosols: A Literature Review And Analysis Of Reported Measurements, Ann. Occup. Hyg., 53 (3) (2009) 271–288
- [95] A. T. Simpson, J. A. Groves, J. Unwin, M. Piney, Mineral Oil Metal Working Fluids (MWFs)- Development of Practical Criteria for Mist Sampling, Ann. occup. Hyg., 44 (3) (2000) 165-172

- [96] J.M. Dasch, J. B. D'Arcy, S. S. Kinare, Y. Yin, R. G. Kopple, S. C. Salmon, Mist Generation from High-Speed Grinding with Straight Oils, *Tribol. Lubr. Technol.* 10 (2008) 40-47
- [97] Michalek D.J., Hii W.W.S., Sun J., Gunter K.L., Experimental and Analytical Efforts to Characterize Cutting Fluid Mist Formation and Behavior in Machining, *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 18 (2003) 842-854.
- [98] S. L. Gauthier, Metalworking Fluids: Oil Mist and Beyond, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 18 (2003) 818–824.
- [99] J. Thornburg, D. Leith, Size distribution of mist generated during metal machining, *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 15 (8) (2000) 618-628.
- [100] J. Thornburg, D. Leith, Mist generation during metal machining, *J. Tribol.* 122 (3) 544-549
- [101] J.M Dasch, C.C.Ang, M.Mood, D. Knowles, Variables affecting mist generation from metal removal fluids, *Lubr. Eng.* 58 (3) (2002) 10-17
- [102] M. Chen, P. J. Tsai, Ch.Ch. Chang, T.-Sh. Shih ,W.J. Lee, P. C. Liao, 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
- [103] L. Lillienberg, A. Burdorf, L. Mathiasson, L. Thorneby, Exposure to Metalworking Fluid Aerosols and Determinants of Exposure, *Ann. Occup. Hyg.*, 7 (52) (2008) 597–605
- [104] L. Lillienberg, E. M. Andersson, B. Järholm, K. Torén, Respiratory Symptoms and Exposure–Response Relations in Workers exposed to Metalworking Fluid Aerosols, *Ann. Occup. Hyg.* 54 (4) (2010) 403–411.
- [105] EPA- Environmental Protection Agency US, Particulate Matter, <http://www.epa.gov/air/particlepollution/basic.html>

- [106] EPA- Environmental Protection Agency US, Technology Transfer Network National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), PM<sub>2.5</sub> NAAQS Implementation, [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/pm/pm25\\_index.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/pm/pm25_index.html)
- [107] EPA- Environmental Protection Agency US, Particulate Matter (PM) Standards - Table of Historical PM NAAQS  
[http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s\\_pm\\_history.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_history.html)
- [108] Absaugen und Abscheiden von Kuelschmierstoffemissionen, Berufsgenossenschaftliches Institut fuer Arbeitsschuts – BGIA, Report 9/ 2006
- [109] <http://www.machinesafety.co.uk/> zadnji put pristupljeno 1.07.2011
- [110] <http://www.monroenvironmental.com/air-and-gas-cleaning-systems/oil-mist-collectors> zadnji put pristupljeno 1.07.2011
- [111] J. Dasch, J. D’Arcy, A. Gundrum, J. Sutherland, J. Johnson, D. Carlson, Characterization of Fine Particles from Machining in Automotive Plants, J. Occup. Environ. Hyg., 2 (2005) 609–625
- [112] S.J Cooper, D. Leith, Evaporation of metalworking fluid mist in laboratory and industrial mist collectors, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 59 (1) (1998) 45-51.
- [113] Dunja Sokolović, Dragan Govedarica, Primena SHP sredstava i održivi razvoj, 48. Savetovanje Srpskog hemijskog društva, Novi Sad, april (2010) 100-103.
- [114] J.M. Dasch , C.C. Ang, L.Wei, T. Rossrucker, The influence of the base oil on misting in metal removal fluids, Lub. Eng. 57 (5) (2001) 14-19.
- [115] J. Sun, C. Ju, D. J. Michalek, J. W. Sutherland, Evaporation and Settling Behavior of Metalworking Fluid Aerosols. Part. Sci. Technol. 27 (3) (2009) 245-262.
- [116] D.S. Sokolović, W. Höflinger, Z.Z. Zavargo, R.M. Šećerov Sokolović, Effect of ventilation in enclosure machine system on MWF aerosol properties, in Press DOI:10.2298/HEMIND110615053S



- [117] W.A. Sirignano, C. Mehring, Review of theory of distortion and disintegration of liquid streams, *Progress in Energy and Combustion Science* 26 (2000) 609–655.
- [118] S. Ghosh, J. C. R. Hunt, Spray jets in a cross-flow, *J. Fluid Mech.* 365 (1998) 109-136.
- [119] D. Sindayihebura, C. Dumouchel, Pressure atomizer: hole break-up of the sheet, *J. Vis.* (2001) 4-5.
- [120] A. Mansour, N. Chigier, Dynamic behavior of liquid sheets, *Physics of Fluids* , 3 (12) (1991) 2971-2980.
- [121] L. Broniarz-Press, M. Ochowiak, J. Rozanski, S. Woziwodzki, The atomization of water–oil emulsions, *Exp. Therm Fluid Sci.* 33 (2009) 955-962.
- [122] A.H. Lefebvre, *Atomization and Sprays*, Hemisphere Publishing Corporation, 1989.
- [123] R. P. Fraser, N. Dombrowski, J. H. Routley, The atomization of a liquid sheet by an impinging air stream, *Chemical Engineering Science*, 18 (1963) 339-353.
- [124] P.E. Sojka, "Atomization," in *AccessScience*, ©McGraw-Hill Companies, 2008 zadnji pristup 25.11.2011. <http://www.accessscience.com>
- [125] M. R. Gebhardt, Rotary Disk Atomization, *Weed Technology*, 2 (1988) Volume 106-113.
- [126] R. P. Fraser, N. Dombrowski, J. H. Routley, The production of uniform liquid sheets from spinning cups, *Chemical Engineering Science* 18 (1963) 315-321.
- [127] R. P. Fraser, N. Dombrowski, J. H. Routley, The filming of liquids by spinning cups, *Chemical Engineering Science* 18 (1963) 323-337.
- [128] <http://www.danielfuster.com/galerias/atomization/atomization.html> zadnji put pristupljeno 1.07.2011.

- [129] M.J. McCarthy, N.A. Molloy, Review of stability of liquid jets and the influence of nozzle design, *Chem. Eng. J.*, 7 (1) (1974) 1-20.
- [130] I.S. Carvalho, M.V. Heitoyr, D. Santos, Liquid film disintegration regimes and proposed correlations, *International Journal of Multiphase Flow* 28 (2002) 773–789.
- [131] S. P. Lin, R. D. Reitz, Drop and Spray Formation from a Liquid Jet, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 30 (1998) 85–105.
- [132] T. Wakimoto, T. Azuma, Influence of the Physical Properties of a Liquid on Perforations in Radial Liquid Sheet Jet, *J. Fluid Sci. Tech.*, 4 (2) (2009) 359-367.
- [133] A.H. Lefebvre, Atomization, DOI:10.1615/AtoZ.a.atomization, <http://www.thermopedia.com/content/573/> , zadnji put pristupljeno 1.07.2011
- [134] Atomization, Graco, [wwwd.graco.com/Distributors/DLibrary.nsf/Files/CT\\_Atomization\\_321027/\\$file/CT\\_Atomization\\_321027.pdf](http://wwwd.graco.com/Distributors/DLibrary.nsf/Files/CT_Atomization_321027/$file/CT_Atomization_321027.pdf), zadnji put pristupljeno 1.07.2011
- [135] H. Liu, Science and Engineering of Droplets: Fundamentals and Applications, Noyes Publications, William Andrew Publishing, LLC, Norwich, New York, U.S.A., 2000.
- [136] Oren Breslouer, Rayleigh-Plateau Instability: Falling Jet Analysis and Applications [www.princeton.edu/~stonelab/Teaching/Oren%20Breslouer%20559%20Final%20Report.pdf](http://www.princeton.edu/~stonelab/Teaching/Oren%20Breslouer%20559%20Final%20Report.pdf)
- [137] S.N. Sridhara, B.N. Raghunandan, Photographic Investigations of Jet Disintegration in Airblast Sprays, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 3 (2) (2010) 111-123.
- [138] W. O. H. Mayer, R. Branam, Atomization characteristics on the surface of a round liquid jet, *Exp. Fluids* 36 (2004) 528–539.
- [139] L. Rayleigh, Instability of Jets, *Proc. London Math. Soc.*, 10 (1878) 4-13.
- [140] A. Mansour, N. Chigier Effect of turbulence on the stability of liquid jets and the resulting droplet size distributions. *At Sprays*, 4 (1994) 583–604.

- [141] N. Dombrowski, R. P. Fraser, Source, A Photographic Investigation into the Disintegration of Liquid, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 247 (1954) 924 101-130.
- [142] A. Mansour, N. Chigier, Desintegration of liquid sheets, *Phys. Fluids* 2 (5) (1990) 706-719.
- [143] H.S. Couto, D. Bastos-Netto, Generalized Liquid Film Atomization Theory, *Journal of Thermal Science*, 9 (3) (2000) 265-270.
- [144] L. Sangseung, K. Wonho, Y. Woongsup, Spray formation by a swirl spray jet in low speed cross-flow, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24 (2) (2010) 559-568.
- [145] R. P. Fraser, P. Eisenklam, N. Dombrowski, D. Hasson, Drop formation from rapidly moving liquid sheets, *AIChE Journal* 8(5) (1962) 672–680.
- [146] R.P. Fraser, P. Eisenklam, Research into the performance of atomizers of liquids, *Imp. Colloid Chem. Eng. Soc. J.* 7 (153) 52-68.
- [147] N. Dombrowski, W.R. Johns, The aerodynamic instability and disintegration of viscous liquid sheets, *Chem, Eng. Sci.* 18 (1963) 203–214.
- [148] J. L. York , Stubbs H. E. And Tek M. A. The Mechanism of Disintegration of Liquid Sheets. *Trans. Asme.* 73 (1953) 1279-1885.
- [149] D. R. Guildenbecher , C. López-Rivera, P. E. Sojka, Secondary atomization, *Exp Fluids* 46 (2009) 371–402
- [150] C. A. Chryssakis, D. N. Assanis, A Secondary Atomization Model for Liquid Droplet Deformation and Breakup under High Weber Number Conditions, *ILASS Americas, 18th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Irvine, CA, May 2005.*
- [151] M. Rhodes, *Introduction to Particle Technology*, 2nd Edition, John Wiley & Sons (2008) Ltd. ISBN: 978-0-470 -01427-1
- [152] D. D. Joseph, J. Belanger, G.S. Beavers, Breakup of a liquid drop suddenly exposed to a high-speed airstream, *University of Minnesota, Minneapolis*

[153] W.C. Hinds, Aerosol technology - properties, behavior and measurement of airborne particles, second edition, John Wiley and Sons, (1999)

[154] R.D. Reitz, Liquid Atomization and Spraying, Book Chapter, Fluid Mechanics, F. Kreith, (1999) 177-185.

[155] M. Alderliesten, Mean Particle Diameters. Part III: An Empirical Evaluation of Integration and Summation Methods for Estimating Mean Particle Diameters from Histogram Data, Part. Part. Syst. Charact. 19 (2002) 373 – 386.

[156] M. Alderliesten, Mean Particle Diameters. Part IV: Empirical Selection of the Proper Type of Mean Particle Diameter Describing a Product or Material Property, Part. Part. Syst. Charact. 21 (2004) 179 – 196.

[157] M. Alderliesten, Mean Particle Diameters. Part V: Theoretical Derivation Of The Proper Type of Mean Particle Diameter Describing a Product or Process Property, Part. Part. Syst. Charact. 22 (2005) 233 – 245.

[158] M. Alderliesten, Mean Particle Diameters. Part VI: Fundamental Distinction between Statistic Based (ISO/DIN) and Physics Based (Moment-Ratio) Definition Systems, Part. Part. Syst. Charact. 27 (2010) 7-20.

[159] [syque.com/quality\\_tools/toolbook/Variation/measuring\\_centering.htm](http://syque.com/quality_tools/toolbook/Variation/measuring_centering.htm), zadnji put pristupljeno 1.07.2011

[160] B. Neumman, Dissertation: Kuelschmierstoffaerosole bei der Metallbearbeitung, September (2007) TU Wien

[161] Patent DE 102004050372 (A1)

[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=10&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20050519&CC=DE&NR=102004050372A1&KC=A1](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=10&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20050519&CC=DE&NR=102004050372A1&KC=A1)