

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije.

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, održanoj 26.09.2013. godine (odluka br. 35/316 od 01.10., 2013.), imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša nesferičnih čestica**“.

Posle pregleda dostavljene disertacije Komisija Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu podnosi sledeći

**REFERAT
o urađenoj doktorskoj disertaciji**

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrada disertacije

29.02.2012. – Kandidat Mihal Đuriš, dipl. inž. tehnologije prijavio je temu doktorske disertacije pod nazivom: „Ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša nesferičnih čestica“, a Nastavno naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu usvojilo je sastav Komisije za ocenu naučne zasnovanosti predložene teme 08.03.2012. godine.

10.07.2012. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko Metalurškog fakulteta, na osnovu izveštaja Komisije, doneta je Odluka o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša nesferičnih čestica“ i za mentora ove doktorske disertacije imenovan je dr Željko Grbavčić, redovni profesor TMF-a.

17.09.2012. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka (Univerzitet u Beogradu) data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša nesferičnih čestica“.

26.09.2013. godine – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o imenovanju članova komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša nesferičnih čestica“.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

Mentor ove doktorske disertacije je dr Željko Grbavčić, redovni profesor TMF-a.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Mihal M. Đuriš rođen je 12.08.1984. godine u Pančevu, gde je završio srednju Hemijsko-prehrambenu i građevinsku školu „23. maj”, smer hemijsko-tehnološki tehničar. Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu upisao je školske 2003/04 godine, a diplomirao je 2009. godine na odseku za Hemijsko inženjerstvo sa prosečnom ocenom 8.64 i ocenom 10 na diplomskom ispitu sa temom „Eksperimentalno određivanje, predviđanje i korelisanje viskoznosti binarnih sistema alkohol+alkan“.

Školske 2009/10 upisao je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Hemijsko inženjerstvo, pod rukovodstvom mentora prof. dr Željka Grbavčića.

U Institutu za hemiju, tehnologiju i metalurgiju – Centar za katalizu i hemijsko inženjerstvo zaposlen je od 01.10.2009. godine do danas. Na raznim istraživačkim poslovima i projektima radio je počevši kao istraživač pripravnik, a 24.02.2011. godine izabran je u zvanje istraživač saradnik.

Učestvovao je u realizaciji projekta osnovnih istraživanja: „Istraživanje fenomena prenosa značajnih za razvoj višefaznih procesa i opreme" (projekat 142014G), a sada učestvuje u realizaciji projekta osnovnih istraživanja “Razvoj efikasnijih hemijsko-inženjerskih procesa zasnovan na istraživanjima fenomena prenosa i principima intenzifikacije procesa" (projekat 172022), finansiranih od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije. Član je Srpskog hemijskog društva i Saveza hemijskih inženjera Srbije.

Kandidat Mihal Đuriš u toku svog dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada objavio je kao autor ili kao koautor više naučnih radova izloženih na domaćim i na stranim stručnim konferencijama, kao i u domaćim i stranim časopisima.

Učestvovao je u realizaciji četiri studije za potrebe privrede: 1) Analiza sistema za prečišćavanje emisijih gasova iz postrojenja za sterilizaciju etilen-oksikom sa predlogom mera za poboljšanje efikasnosti (za Zavod za biocide i medicinsku ekologiju iz Beograda); 2) Kritička analiza emisije isparljivih organskih komponenti iz otvorenih bazena i numeričke simulacije-kao podloga za projektovanje sistema za prečišćavanje gasova (za HIP-Petrohemija, Pančevo); 3) Analiza efikasnosti sistema za adsorpciju isparljivih organskih komponenti iz emisijih gasova (za Galenika-Fitofarmacija, Beograd) i 4) Analiza mogućnost primene fluidizovanog sloja za naprskavanje aktivne materije na čestice zeolita (za Galenika-Fitofarmacija, Beograd).

Od stranih jezika kandidat govori engleski i slovački jezik.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj doktorske disertacije

Doktorska disertacija kandidata Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije napisana je na 190 strana, u okviru kojih se nalazi 171 slika, 20 tabela i 110 literaturnih navoda. Doktorska disertacija kandidata Mihala Đuriš-a, dipl.inž. tehnologije sadrži četiri osnovne celine: Uvod, Teorijski deo, Rezultati i diskusija i Zaključna razmatranja, koje su raspoređene u šest poglavlja. Disertacija takođe sadrži kratak Izvod na srpskom i engleskom jeziku, a na kraju rada dati su literatura i biografija autora.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U okviru Uvoda i Teorijskog dela definisan je problem i cilj istraživanja u okviru izrade doktorske disertacije, a to su ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša peska različitih frakcija sa ciljem određivanja optimalne brzine ispiranja pešćanih filtera, koji imaju široku primenu u fabrikama za preradu vode. Ispitivanja su obuhvatila i analizu raspodele čestica po veličini koja se javlja tokom fluidizacije polidisperznih smeša, kao i analizu kretanja čestica u partikulativno fluidizovanom sloju sa ciljem razvoja modela za predviđanje optimalne poroznosti sloja. Na osnovu poznavanja optimalne poroznosti fluidizovanog sloja moguće je optimizovati efikasnost ispiranja pešćanih filtera.

Teorijski deo sastoji se od dva poglavlja: *Partikulativni sistemi* i *Procesi prečišćavanja voda*.

Prvo poglavlje *Partikulativni sistemi* sastoji se od šest podpoglavlja: *Izračunavanje karakterističnog prečnika čestice*, *Oblik čestica – faktori oblika*, *Određivanje veličine čestica*, *Nasuti slojevi čestica*, *Fluidizacija*, *Primena varijacionog modela za predviđanje ponašanja i ekspanziju smeše*.

U podpoglavlju *Izračunavanje karakterističnog prečnika čestice* dat je kratak opis definisanja i izračunavanja reprezentativnih prečnika (veličina) čestica. Definisanje faktora oblika nesferičnih čestica opisano je u podpoglavlju: *Oblik čestica – faktori oblika*. U podpoglavlju *Određivanje veličine čestica* predstavljene su metode koje se koriste za određivanje karakteristične veličine nesferičnih čestica kao i izbor metode za određivanje veličine nesferičnih čestica koja pre svega zavisi od vrste čestica koje je potrebno karakterizovati. Kratak opis kontakta između fluida i čvrstih čestica koji se vrlo često sreće u industrijskoj praksi, pri čemu se može ostvariti na više načina od kojih je proticanje kroz nasuti sloj jedan od najčešćih kao i opis karakterizacije nasutog sloja kod kojeg pored veličine čestice figurišu i druge veličine, kao što su koncentracija čestica u sloju, poroznost, specifična površina sloja itd. dat je u podpoglavlju *Nasuti slojevi čestica*. Detaljan opis fluidizovanih sistema fluid-čestice prikazan je u podpoglavlju *Fluidizacija*. U ovom podpoglavlju opisani su tipovi fluidizacije kao i kriterijumi za određivanje tipa fluidizacije. Takođe je opisana i zavisnost pada pritiska od površinske brzine fluida tokom fluidizacije, način određivanja poroznosti fluidizovanog sloja, način određivanja minimalne brzine fluidizacije i brzine taloženja i odnošenja, ekspanzija fluidizovanog sloja, mešanje i segrgacija čestica po visini sloja tokom fluidizacije, primena varijacionog računa na predviđanje ekspanzije smeše.

Drugo poglavlje *Procesi prečišćavanja voda* sa stoji se od osam podpoglavlja: *Svojstva prirodnih voda*, *Standardi voda za piće*, *Procesi i operacije prečišćavanja voda*, *Filtracija*, *Izbor filtracionog materijala*, *Osnovne karakteristike filtracionog materijala*, *Ispiranje filtera* i *Rad filtera i način upravljanja*.

U poglavlju *Procesi prečišćavanja voda* prikazan je kratak opis svojstava vode za piće kao i kvalitet koji voda mora da zadovoljava za ljudsku primenu, a to su: sadržaj katjona i anjona, ukupnih minerala, pH vrednost, bakteriološka ispravnost vode i sl. Kratko su i predstavljeni *Procesi i operacije prečišćavanja vode*, u okviru kojih je filtracija vode opširnije opisana. Filtracija vode je osnovna operacija čiji je cilj da se iz vode uklone sve mehaničke čestice koje su u njoj dispergovane. U okviru podpoglavlja *Filtracija* opisane su tehnike filtracije koje se mogu podeliti na filtraciju u kontrolisanim uslovima (spora, brza i mikrofiltracija) i filtracija u prirodnim uslovima. Opisani su različiti vidovi filtracije u zavisnosti od smera kretanja vode, brzine kretanja vode, vrste filterskog materijala i načina ostvarivanja pogonske sile. Prema karakteristikama čestica koje se otklanjaju kao i vrsti materijala koji se koristi, može se odvijati jedan ili više osnovnih mehanizama filtracije: zadržavanje, vezivanje i odvajanje. Dat je i kratak opis filtera koje se koriste u industriji: spori

filteri, brzi filteri, gravitacioni filteri. Takođe je opisan izbor filtracionog materijala i njegove karakteristike, ispiranje pešćanih filtera, kao i rad i način upravljanja filterima.

U trećem poglavlju opisan je *Eksperimentalni deo* doktorske disertacije. U ovom delu opisana je priprema materijala za ispitivanje fluidizacionih karakteristika koja se sastoji u prosejavanju filtracionog peska pomoću seta standardnih sita na frakcije tačno određene granulacije. Sejanje je vršeno pomoću seta standardnih sita veličine otvora 2.830, 2.000, 1.600, 1.400, 1.250, 1.166, 1.030, 0.850, 0.750, 0.711, 0.600 i 0.519, 0.589, 0.420, 0.297 mm. Opisan je postupak određivanja fluidizacionih karakteristika smeša filtracionog peska određene granulacije dobijenih prosejavanjem. Fluidizacione karakteristike određivane su u tri fluidizacione cilindrične kolone sačinjene od pleksiglasa unutrašnjeg prečnika $D_c=40, 64$ mm i visine $H=2.0$ m i cilindrične cevi prečnika $D_c=144$ mm i visine $H=3.0$ m. Na dnu svake kolone nalazi se distributor tečnosti u koji ulazi tečnost pre ulaska u kolonu. Protok tečnosti (vode) za fluidizaciju regulisan se pomoću osetljivih ventila, a meren je pomoću *Yamatake-Honeywell* elektromagnetnih merača. Opisan je i postupak određivanja brzine taloženja polidisperznih smeša određivana merenjem vremena potrebnog da “oblak” koji čini oko 30 nasumično odabranih čestica kao i pojedinačnih čestica iz svake frakcije pređe određeno rastojanje slobodnim padom u više ponavljanja. Dat je i postupak određivanja razdvajanja veličine čestica po visini sloja, i to: ispitivanjem fluidizacionih karakteristika izdvojenih delova i ispitivanjem raspodele veličine čestica izdvojenih delova polidisperzne smeše po visini tokom fluidizacije. Opisan je i postupak razdvajanja fluidizovanog sloja koji se obavlja hidrauličkim isisavanjem pomoću staklene cevi, kao i postupak (metoda) analize veličine i faktora oblika čestica peska pomoću softverskog paketa *SigmaScan Pro*. Ispitivanje segregacije čestica tokom fluidizacije vršeno je u dve cilindrične kolone unutrašnjih prečnika $D_c=144$ i 64 mm. U okviru trećeg poglavlja detaljno su opisane i metode i postupci za merenje brzine kretanja čestica i frekvencije sudara čestica u fluidizovanom sloju, koja se zasniva na praćenju obeležene čestice tokom fluidizacije pomoću kamere, i analizom dobijenog snimka pomoću softverskog paketa *SigmaScan Pro* koji kao izlazne podatke daje koordinate čestice (x,y) tokom vremena, rastojanje i nagib između dva uzastopna položaja čestice, kao i ukupni pređeni put čestice tokom merenja. Eksperimentalna ispitivanja izvedena su korišćenjem staklenih sferičnih čestica prečnika $d_p=1.94; 2.98; 4.00$ i 6.00 mm u četiri različite dvodimenzionalne kolone, za svaku od veličina čestica, $D_c=139, 138, 185, 278$ mm. Za svaku od veličina čestica konstruisana je kolona prečnika D_c tako da njena debljina približno odgovara veličini 3 prečnika čestica. Visina svake kolone je $H=400$ mm. Predstavljene su konture modela za optimalnu poroznost koje se zasnivaju na pretpostavci idealizovanog dvodimenzionalnog (2D) sloja u kome su čestice raspoređene u temenima istostraničnog trougla i pravilnog šestougla sa jednom česticom u sredini. Takođe je predložen model zasnovan na idealizovanom 3D sloju u kome su čestice raspoređene tako da se četiri sfere nalaze na temenima kocke a jedna sfera u sredini. Tokom ekspanzije idealnog 2D i 3D sloja pretpostavljeno je da se međusobni položaj između kuglica ne menja dok se menja samo međusobno rastojanje između kuglica.

U delu *Rezultati i diskusija*, detaljno su analizirani i diskutovani eksperimentalni rezultati obuhvaćeni u ovom radu. Analizom veličine čestica frakcija peska u softverskom paketu *SigmaScan Pro* pokazano je da se raspodela veličine čestica približno pokorava normalnom zakonu raspodele, koji može da se opiše Gausovom jednačinom raspodele. Prikazani su i rezultati određivanja prečnika projektovane površine d_A , zapreminskog prečnika d_V , prečnika koji bi imao istu brzinu odnošenja kao sfera iste gustine d_E i površinsko zapreminskog prečnika d_{SV} . Na osnovu dobijenih rezultata izvedene su jednačine za predviđanje d_A, d_V, d_E, d_{SV} u funkciji sejanog prečnika d_m koji se lako određuje kao srednja vrednost između gornje i donje veličine otvora sita. Prikazani su rezultati određivanja oblika čestica, i to, sferičnosti i polisferičnosti (2D faktora oblika) na osnovu kojih su predložene

jednačine za određivanje sferičnost čestica peska. Ova jednačina je od velikog značaja jer se sferičnost veoma teško određuje, a često ju je i nemoguće odrediti direktnom metodom. Sferičnost može biti određena na osnovu eksperimentalnih merenja pada pritiska u pakovanom sloju i merenja brzina taloženja U_t . Analizom poli-sferičnosti čestica u softverskom paketu *SigmaScan Pro* pokazano je da su sitnije čestice pravilnijeg oblika.

Analizom fluidizacionih karakteristika frakcija peska predložene su korelacione jednačine za koeficijent ekspanzije smeše n u funkciji Reynolds-ovog broja i sejanog prečnika na osnovu kojih se može predvideti ponašanje smeše peska ako se primene na jednačinu Richardson-Zaki-a. Takođe je pokazano praktična primena serijskog modela Epstein-a na predviđanje ponašanje ekspanzije smeše frakcija peska koja se sastoji od nekoliko frakcija peska različite granulacije, što je primenljivo u praksi za predviđanje ekspanzionih karakteristika industrijskih pešćanih filtera tokom ispiranja. Pokazana je i primena varijacionog računa na predviđanje zavisnosti površinske brzine tečnosti u funkciji poroznosti sloja, $U=f(\epsilon)$. Analiza rezultata razdvajanja veličine polidisperznih smeša čestica po visini sloja rađena je za 6 različitih ekspanzija sloja $E=25, 35, 45, 65, 85$ i 110% . Pokazano je da će do segregacije polidisperznih smeša čestica po visini sloja tokom fluidizacije doći kada je odnos većeg i manjeg prečnika $d_R > 1.5$. Pri $d_R < 1.5$ javlja se dobra izmešanost čestica tokom fluidizacije. Pokazano je i da kako protok tečnosti odnosno ekspanzija sloja raste javlja se veći stepen segregacije čestica po veličini. Analizom eksperimentalnih rezultata merenja brzina čestica u fluidizovanom sloju pokazano je da je kretanje čestica u fluidizovanom sloju Braun-ovog tipa i da podseća na ponašanje kretanja molekula gasa poznato u kinetičkoj teoriji gasnog stanja (Maxwell-ova raspodela brzina kretanja). Predložena je i korelaciona jednačina za ukupnu brzinu kretanja čestice u fluidizovanom sloju tečnost-čestice. Izračunate su vrednosti optimalne poroznosti sloja koji su u opsegu $0.68-0.72$ za ukupnu cirkulaciju čestica u jedinici vremena, i $0.59-0.64$ za frekvenciju sudara čestica-čestica. Prikazano je i da ukupna cirkulacija čestica u jedinici vremena je bolje merilo dinamike i intenziteta fenomena prenosa u odnosu na frekvenciju sudara čestica.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost, originalnost i značaj

Rezultati istraživanja koji su predmet ove doktorske disertacije imaju dvojak karakter. Sa jedne strane dobijeni su fundamentalni naučni rezultati u sferi razumevanja procesa i pojava koje se javljaju prilikom fluidizacije polidisperznih smeša čestica, kao i postavljanja analogije između kretanja čestica u fluidizovanom sloju sa kinetičkom teorijom gasnog stanja. Najvažniji rezultati u okviru ovog dela su postavljanje matematičkog modela za predviđanje ekspanzije sloja, tj. korelacije između brzine i poroznosti sloja; matematički model za predviđanje srednje brzine čestica, frekvencije sudara između čestica i optimalnu poroznost sloja pri kojoj je kontakt između čestica najintenzivniji.

Sa druge strane, najvažniji praktični rezultati su postavljanje novih kriterijuma za određivanje stepena segregacije prilikom fluidizacije polidisperznih smeša čestica. Postavljanje ovih korelacija, kao i njihova eksperimentalna verifikacija omogućiće optimizaciju procesa ispiranja filtracionih medijuma u fabrikama za proizvodnju vode za piće, kao i u postrojenjima za preradu otpadnih voda. Ova optimizacija značiće smanjenje potrošnje čiste vode za ispiranje, produženje radnog ciklusa filtracije, kao i povećanje ukupne efikasnosti ovih procesa i uštedu energije u pomenutim postrojenjima.

Dobijeni rezultati su vrednovani u međunarodnim časopisima koji su relevantni za ovu oblast.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji citirano je 110 literaturnih navoda, od kojih najveći broj čine radovi iz međunarodnih časopisa sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije. U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao dostupnu literaturu vezanu za fluidizacije sisteme tečnost-čestice, karakterizaciju veličine i oblika nesferičnih čestica, segregacije čestica po veličini tokom fluidizacije, ispiranje pešćanih filtera. Navedene reference su novijeg datuma i sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja mnogih istraživača, analizu i diskusiju dobijenih rezultata i izvedene zaključke o mogućnostima primene ne samo tehnološko zahtevnijih nego i jednostavnijih procesa u industriji.

Iz obrazloženja predložene teme doktorske disertacije i objavljenih radova koje je kandidat priložio, kao i iz popisa literature koja je korišćena u istraživanju, uočava se poznavanje predmetne oblasti istraživanja i aktuelnog stanja istraživanja u ovoj oblasti.

3.3. Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

Eksperimenti su obavljena sa 12 osnovnih frakcija peska srednje veličine zrna od 0.297 mm do 2.830 mm, koje su formirane prosejavanjem korišćenjem standardnog sistema sita. Pored toga, kombinovanjem nekoliko frakcija formirano je nekoliko frakcija sa različitim opsegom odnosa d_R (odnos prečnika najkrupnijih i najsitnijih čestica u populaciji).

Za svaku od prosejanih frakcija, određene su fluidizacione karakteristike polidisperzne smeše: ekspanzija, poroznost sloja i minimalna brzina fluidizacije. Ispitivanja su vršena u cilindričnim kolonama od pleksistakla unutrašnjih prečnika 144, 64 i 40 mm. Visina sve tri kolone iznosila je 2000 mm. Fluidizacione karakteristike sitnijih frakcija ispitane su u koloni sa manjim unutrašnjim prečnikom, radi održavanja približno konstantnog odnosa prečnika kolone prema prečniku čestice. Tokom eksperimentalnih ispitivanja, vršeno je praćenje promene visine fluidizovanog sloja u zavisnosti od brzine fluida u cilju određivanja srednje poroznosti, kao i padovi pritiska. Protok tečnosti je meren korišćenjem elektromagnetnih *Yamatake-Honeywell* merača protoka različitih opsega merenja, a pritisisci pomoću piezometara.

Karakterizacija čestica peska prikupljenih po visini fluidizovanog sloja tokom fluidizacije polidisperzne smeše vršena je korišćenjem softverskog paketa *SigmaScan (Image Analysis)*. U programu *Sigma Scan* je obrađena skenirana slika čestica upoređivanjem sa prethodno zadatim referentnim sistemom. Na osnovu obrade skenirane slike, kao izlazni podatak dobija se karakterizacija snimljenih čestica: veličina čestica (projektovani prečnik), faktor oblika čestica (odnosno dvodimenzione projekcije čestica), projektovana površina čestica, zapremina čestica, kao i broj snimljenih čestica. Na osnovu ovih podataka formirane su krive frakcione i kumulativne raspodele veličina čestica peska pre i posle segregacije čestica do koje je došlo tokom fluidizacije.

3.4. Ocena primenjivosti i verifikacija ostvarenih rezultata

Na osnovu pregleda do sada objavljenih eksperimentalnih podataka i rezultata prikazanih u okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos u ovoj oblasti. Rezultati i zaključci izneti u disertaciji potvrda su mogućnosti optimizacije rada pešćanih filtera, poznavanjem karakteristika filtracionog materijala koji se koristi u konkretnom procesu. Verifikacija ostvarenih rezultata disertacije postignuta je objavljivanjem radova u vodećim

međunarodnim časopisima iz ove oblasti.

3.5. Ocena sposobnosti kandidata za samostalan naučni rad

U svom dosadašnjem istraživačkom radu, kandidat Mihal Đuriš, dipl. inž. tehnologije, pokazao je samostalnost i stručnost u pretraživanju literature, pripremi i realizaciji eksperimenata, i tumačenju rezultata istraživanja. Komisija je mišljenja da kandidat poseduje sve kvalitete neophodne za samostalan naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultatima istraživanja u okviru ove doktorske disertacije ostvareni su sledeći naučni doprinosi:

- pokazano je da se raspodela veličine čestica frakcija peska približno pokorava normalnom zakonu raspodele, koji može da se opiše Gaus-ovom jednačinom raspodele;
- uspešno je pokazana primena softverskog paketa *SigmaScan* za analizu veličine i oblika nesferičnih čestica;
- predložene su jednačine koje u praksi olakšavaju proračun karakterističnih prečnika nesferičnih čestica (zapreminskog d_V , ekvivalentnog prečnika d_E , površinsko-zapreminskog prečnika d_{SV} i prečnika projektovane površine d_A);
- prikazani su načini određivanja oblika čestica i pokazano je da su sitnije čestice pravilnijeg oblika u poređenju sa krupnijim česticama;
- ispitane su fluidizacione karakteristike frakcija polidisperznih smeša peska, i pokazano je da se pokoravaju relaciji Richardson i Zaki-a;
- predložene su korelacione jednačine za izračunavanje koeficijenta ekspanzije n i brzine odnošenja U_E ($U(\varepsilon=1)$), koje u kombinaciji sa relacijom Richardson i Zaki-a mogu predvideti ponašanje sloja tokom fluidizacije;
- pokazano je primenljivost varijacionog računa na predviđanje zavisnosti $U=f(\varepsilon)$ sloja polidisperznih smeša peska i sferičnih čestica;
- pokazana je primenljivost serijskog modela Epstein-a za predviđanje ekspanzije sloja sačinjenog od više frakcija peska određenih granulacija;
- prikazan je način određivanja segregacije polidisperznih smeša po visini sloja tokom fluidizacije;
- pokazano je da se raspodela brzina kretanja čestica u fluidizovanom sloju može izraziti sa analogijom Maxwell-ove raspodele brzina kretanja molekula gasa;
- predložena je korelaciona jednačina za određivanje srednje brzine kretanja čestica u fluidizovanom sloju;
- predložen je metod određivanja optimalne poroznosti sloja koji se zasniva na frekvenciji sudara čestica i ukupnoj cirkulaciji čestica u jedinici vremena u fluidizovanom sloju.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

U praksi se filtriranje vode u kontrolisanim uslovima izvodi u sporim filterima, brzim gravitacionim filterima i filterima pod pritiskom. Filtraciona jedinica, u svim ovim slučajevima sastoji se od objekta izrađenog od betona i čelika sa perforiranom podlogom i nosećim pakovanim slojem preko kog prolazi voda koja se filtrira. Isti sistem se koristi i za ispiranje, propuštanjem vode za ispiranje u suprotnom smeru, odozdo na gore. Kao filtracioni medijum u praksi se najčešće koristi pakovani sloj polidisperzne smeše čestica peska različitih

frakcija, pakovanih tako da se najsitnije čestice nalaze na dnu bazena a one najkrupnije na vrhu bazena za filtraciju. Ispiranje filtra vrši se propuštanjem vode odozdo naviše tako da sloj peska počne da fluidizuje. Prilikom fluidizacije, polidisperzne smeše čestica istih gustina imaju karakteristiku da se fluidizovani slojevi tečnost-čestice jasno razdvoje po veličini zrna čestica, tako da najkrupnije čestice fluidizuju na dnu, a najsitnije na vrhu sloja.

Ova nova raspodela čestica filtracionog medijuma po veličini nije povoljna za sledeći ciklus filtracije vode, jer je poroznost na vrhu filtracionog medijuma smanjena zbog grupisanja najsitnijih čestica na tom delu filtracionog bazena. U sledećem ciklusu filtracije zato dolazi do brzog zagušenja filtra. Kao posledica zagušenja filtera javlja se potreba za češćim ispiranjem filtera, što zahteva veću potrošnju vode za ispiranje.

U okviru ovog doktorskog rada ispitivane su fluidizacione karakteristike nekoliko frakcija filtracionog peska. Na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata predložene su korelacioni modeli za ekspanziju i poroznost sloja koji može da se primeni u praksi za predviđanje fluidizacionih karakteristika filtracionog peska i efikasnosti ispiranja filtera. Rad obuhvata i eksperimentalnu analizu segregacije čestica na osnovu karakterizacije frakcija peska pre i posle simulacije ispiranja filtera. Ova eksperimentalna analiza izvršena je za šest različitih brzine fluidizacije. Na osnovu ove analize pokazano je do kog stepena segregacije čestica dolazi tokom fluidizacije polidisperznih smeša (ispiranja), kao i brzinu fluidizacije pri kojoj dolazi do najmanje segregacije čestica. Za primenjene brzine fluidizacije određena je i ekspanzija sloja. Dobijeni eksperimentalni podaci upotrebljeni su za optimizaciju efikasnosti ispiranja filtera, pokazana je primenljivost serijskog modela Epstein-a za predviđanje ekspanzije sloja sačinjenog od više frakcija peska određenih granulacija.

U cilju određivanja sferičnosti čestica peska, izvršena je na osnovu merenja u pakovanom sloju čestica peska i staklenih sfera.

U radu je takođe predložen matematički model predviđanja „optimalne poroznosti“ fluidizovanog sloja. Optimalna poroznost fluidizovanog sloja čestica je ona poroznost pri kojoj je sloj najefikasniji u pogledu frekvencije sudara između čestica, a samim tim i u pogledu brzine prenosa toplote i mase. Određivanje optimalne poroznosti sloja je veoma značajno sa stanovišta određivanja optimalne brzine ispiranja filtracionog medijuma, koja bi dovela do smanjenja potrošnje vode za ispiranje, kao i ukupne potrošnje energije u procesu.

4.3. Očekivana primena rezultata u praksi

Rezultati predstavljeni u okviru ove doktorske disertacije su veoma značajni za inženjersku primenu i to:

- a) za proračun i projektovanje uređaja za filtraciju vode, na osnovu modela i korelacija koje su predložene u ovom radu, a koje obuhvataju karakterizaciju čestica odnosno određivanje zapreminskog prečnika i faktora oblika na osnovu granulometrijske analize i određivanje pada pritiska u sloju i karakteristika ekspanzije sloja.
- b) zakonitosti koje su utvrđene u vezi kretanja čestica u sloju, frekvencije sudara između čestica kao i cirkulacije čestica i metodologija proračuna optimalne poroznosti sloja su značajne za optimalno projektovanje uređaja za adsorpciju, razmenjivača toplote sa fluidizovanim česticama.

4.4. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Mihal Đuriš, dipl. inž. tehnologije je svoje rezultate potvrdio objavljivanjem radova u vodećim međunarodnim časopisima i saopštavanjem većeg broja radova na međunarodnim skupovima. Iz disertacije su proistekla dva rada objavljena u vrhunskom međunarodnom časopisu, a dva rada su u pripremi.

Radovi objavljeni u vrhunskom časopisu međunarodnog značaja (M21)

1. Mihal Đuriš, Tatjana Kaluđerović Radoičić, Radmila Garić-Grulović, Zorana Arsenijević and Željko Grbavčić, Particle velocities in quazi two-dimensional water fluidized beds of spherical particles, Powder Technology, 246 (2013) 98-107. ISSN 0032-5910, IF 2012=2.024, Engineering, Chemical 34/133.
2. Mihal Đuriš, Radmila Garić-Grulović, Zorana Arsenijević, Darko Jaćimovski, Željko Grbavčić, Segregation in water fluidized beds of sand particles, Powder Technology, Volume 235, February 2013, Pages 173-179, ISSN 0032-5910, IF 2012=2.024, Engineering, Chemical 34/133.

Radovi saopšteni na skupu nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

1. Mihal Đuriš, Tatjana Kaluđerović Radoičić, Radmila Garić-Grulović, Zorana Arsenijević, Željko Grbavčić, Brzine čestica u dvodimenzionom fluidizovanom sloju tečnost-čestice, III međ. kongres „Inženjerstvo, ekologija i materijali u procesnoj industriji“, 09-11. mart 2013, Jahorina, Republika Srpska, BiH, Zbornik radova na CD-u.
2. Mihal Đuriš, Zorana Arsenijević, Tatjana Kaluđerović Radoičić, Radmila Garić-Grulović, Željko Grbavčić, Kretanje čestica u fluidizovanom sloju tečnost-čestice, XL savetovanje Srpskog hemijskog društva, Srbija, Beograd, 14-15. jun 2012., kniga radova, str. 51-55.
3. Mihal Đuriš, Zorana Arsenijević, Radmila Garić-Grulović, Darko R. Jaćimovski, Željko Grbavčić, Ispitivanje fluidizacionih karakteristika filtracionog peska, XL savetovanje Srpskog hemijskog društva, Srbija, Beograd, 14-15. jun 2012., kniga radova, str. 56-60.
4. Mihal Đuriš, Zorana Arsenijević, Željko Grbavčić, Radmila Garić-Grulović, Segregacija u fluidizovanom sloju voda-polidisperzna smeša čestica, XLIX savetovanje Srpskog hemijskog društva, Srbija, Kragujevac, 13-14. maj 2011., kniga radova, str. 80-84
5. Mihal Đuriš, Željko Grbavčić, Zorana Arsenijević, Radmila Garić-Grulović, Ispitivanje fluidizacionih karakteristika dual-media filtera, XLVIII Savetovanje Srpskog hemijskog društva, Zbornik radova na CD-u., Novi Sad, 17-18 April, (2010).

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

5.1. Kratak osvrt na disertaciju u celini

Na osnovu svega iznetog Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša nesferičnih čestica“ predstavlja značajan originalni doprinos u datoj oblasti, što je potvrđeno objavljivanjem radova u časopisima međunarodnog značaja. Predmet i ciljevi istraživanja su jasno navedeni i ostvareni. Komisija takođe smatra da doktorska disertacija pod nazivom „Ispitivanje fluidizacionih karakteristika polidisperznih smeša nesferičnih čestica“ u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume i da je kandidat ispoljio izuzetnu naučno-istraživačku sposobnost u svim fazama izrade ove disertacije.

5.2. Predlog komisije Nastavno-naučnom veću

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih rezultata Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću TMF-a da prihvati ovaj Izveštaj i da ga, zajedno sa podnetom disertacijom Mihala Đuriša, dipl. inž. tehnologije, da na uvid javnosti u zakonski predviđenom roku, kao i da, nakon završetka procedure, pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Željko Grbavčić, red. prof. u penziji
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Srđan Pejanović, van. prof. u penziji
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Nevenka Bošković-Vragolović, van. prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Tatjana Kaluđerović Radoičić, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Zorana Arsenijević, viši naučni saradnik
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd

U Beogradu, 12.11.2013. god.