

PRIMENA DISPERZNIH SISTEMA U INŽENJERSTVU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

U radu su prikazani eksperimentalni rezultati istraživanja mogućnosti primene fontanskog i fontansko–fluidizovanog sloja u tretmanu otpadnih materijala prehrambene industrije i fluidno–mehanička istraživanja istostrujnog fontanskog sloja, kao osnove za njegovu primenu u sistemima za tretman voda sa imobilisanim mikroorganizmima. Ispitivani sistemi su primenjeni u procesu sušenja životinjske krvi i krvne plazme, kao jednom od mogućih ekoloških rešenja u klaničnoj industriji i sušenja pivskog kvasca, kao otpadnog materijala pivarske industrije, koji su u slučaju nekontrolisanog ispuštanja u prirodne recipijente, veoma opasni zagađivači. U drugom delu rada je prikazana fluidno–mehanička koncepcija istostrujnog fontanskog sloja, koja bi omogućila mikrobiološki tretman voda uz istovremenu aeraciju, u procesima nitrifikacije amonijačnog azota.

Pojam disperzni sistemi se odnosi na sve sisteme u kojima se odvija intenzivan međufazni kontakt fluida sa čvrstim česticama, mehurima i kapima. Na Tehnološko–metalurškom fakultetu i Institutu za hemiju, tehnologiju i metalurgiju u Beogradu, realizuju se eksperimentalna ispitivanja disperznih sistema, a posebno fluidizovanih, fontanskih i fontansko–fluidizovanih slojeva, [1–5]. Ukoliko se usredsredimo na sisteme fluid–čvrste čestice, postoji više različitih stanja, među kojima se posebno razlikuju sistemi sa nasutim slojem, fluidizovani sloj, fontanski sloj, pneumatski transport i njihove modifikacije poput fontansko–fluidizovanog sloja i sistema sa centralnom cevi (slika 1).

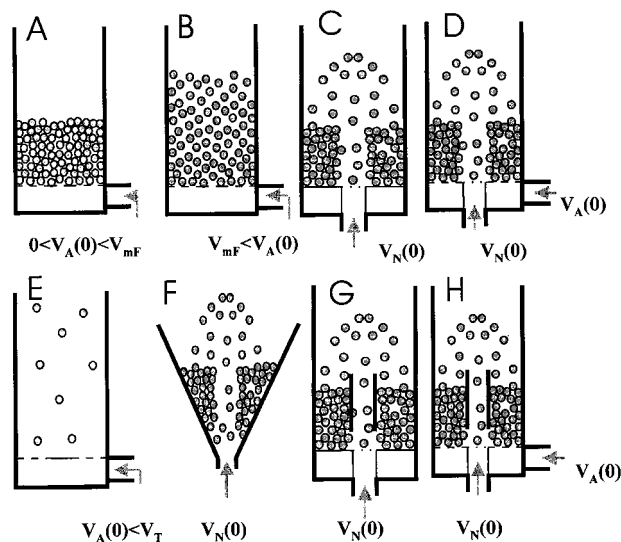
Proučavanjem fenomena prenosa količine kretanja, toplote i mase u disperznim sistemima stvoreni su uslovi za njihovu primenu u različitim procesima i postupcima. U ovom radu će se posebno tretirati mogućnost primene fontansko–fluidizovanih slojeva, kao podvrste disperznih sistema u inženjerstvu zaštite životne sredine.

Inženjerstvo zaštite životne sredine predstavlja jednu od najmlađih naučnih disciplina i odnosi se na primenu inženjerskih i tehnoloških principa i postupaka u cilju zaštite i očuvanja životne sredine.

U ovom radu će se prikazati rezultati eksperimentalnih istraživanja primene fontansko–fluidizovanih slojeva u postupcima sušenja juneće krvi i pivskog kvasca kao potencijalno veoma opasnih zagađivača u prehrambenoj industriji. Kao jedan od mogućih načina sprečavanja zagađenja životne sredine ili uklanjanja nastalih zagađenja u radu se analizira primena fontansko–fluidizovanih slojeva u biološkom tretmanu voda.

Adresa autora: D. Povrenović, Tehnološko–metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11000 Beograd
e–mail: povrenovic@elab.tmf.bg.ac.yu

Rad saopšten na skupu "Savremene tehnologije i privredni razvoj", Oktobar 10–11, 2003, Leskovac, kao sekcijско predavanje u okviru rada Sekcije za hemijsko inženjerstvo.



Slika 1. Kontaktori fluid–čestice (A – nasut sloj, B – fluidizovani sloj, C – fontanski sloj, D – fontansko–fluidizovani sloj, E – pneumatski transport, F – konični fontanski sloj, G – fontanski sloj sa centralnom cevi, H – fontansko–fluidizovani sloj sa centralnom cevi)

Figure 1. Fluid–particle contactors (A – fixed bed, B – fluidized bed, C – spouted bed, D – spout–fluid bed, E – pneumatic transport, F – conical spouted bed, G – spouted bed with a draft tube, H – spout–fluid bed with a draft tube)

U prehrambenoj industriji i biotehnološkoj proizvodnji nastaju značajne količine sporednih proizvoda, koje nije moguće izbeći ni u najsavremenijim uslovima proizvodnje, jer se pre svega bave preradom proizvoda primarne biosinteze (poljoprivrede) koristeći postupke mehaničke prerade ili ekstrakcije. Nezavisno od primenjenog postupaka, dobijaju se manje vredni ili, sa prehrambenog aspekta, nekorisni sastojci sirovina za čiju preradu, najčešće, nisu razvijene podesne tehnologije ili procesna oprema, a pogotovu za manje kapacitete, koji bi omogućili preradu na licu mesta.

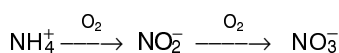
Sa aspekta zagađenja životne sredine, među mnogim sporednim proizvodima prehrambene industrije i bi-

otehnologije posebno mesto po količini i značaju zauzimaju krv iz klanica i pivski kvasac iz pivara. Karakteristike ovih sporednih proizvoda, u pogledu nutritivne vrednosti, veoma su slične jer su jedan od najboljih izvora esencijalnih amino kiselina, vitamina i minerala. Tako na primer, pivski kvasac je najbolji prirodni izvor vitamina B-kompleksa (10 grama suvog pivskog kvasca podmiruje dnevne potrebe čoveka u vitaminima B) i mikroelemenata (Zn, Cu, Se) dok krv, pored toga što ima bolji sastav belančevina od mesa (naziva se i tečno meso), najbolji je prirodni izvor gvožđa (4 g hemoglobina u prahu podmiruje dnevne potrebe odraslog čoveka u gvožđu). U našoj zemlji nastaje značajna količina ovih sporednih proizvoda; suvog pivskog kvasca oko 1500 t, a krvi goveda i svinja oko 20.000 t. Na žalost usitnjeni kapaciteti klanica i pivara ne opravdavaju uvođenje dodatnih tehnologija za preradu sporednih proizvoda u pogonu u kome nastaju, a zajedničkih pogona ili nema ili su udaljeni. Zbog toga značajne količine ovih dragocenih materija završava u kanalizaciji što predstavlja ozbiljno opterećenje otpadnih voda i zagađivanje okoline uz istovremeno umanjeno racionalnosti osnovne proizvodnje.

Pošto su oba navedena sporedna proizvoda veoma nestabilna moraju se u kratkom roku preraditi, a jedan od najprihvatljivijih načina je njihovo sušenje. Za sušenje na licu mesta, obično, su potrebne sušare malog kapaciteta koje ispunjavaju stroge uslove sušenja, pre svega što nižu temperaturu (najviše 70°C u masi), koja obezbeđuje maksimalno očuvanje termički labilnih jedinjenja, poput vitamina i drugih.

Jedan od veoma čestih zagađivača vodnih resursa u našoj zemlji je azot. Postoje tri osnovna razloga neophodne kontrole azota u vodenim sredinama. Prvo, azot doprinosi eutrofikaciji. Drugo, bakterijskom oksidacijom organskih i redukovanih oblika azota do NO_3^- povećava se potrošnja kiseonika u akvatičnim sistemima [6]. Takođe, ovako nastali NO_3^- može značajno da ubrza proces eutrofikacije. Treće, neki oblici azota (NH_3 , NO_2^- i u manjoj meri NO_3^-) mogu biti direktno toksični za mnoge vodene organizme [7]. Pored ovoga, povećane količine azotnih jedinjenja u vodi mogu izazvati krvne bolesti kod riba. Takođe, potrebne su i veće količine hlora za dezinfekciju pitke vode u kojoj je povećana količina amonijačnih jedinjenja.

Nitrifikacija je prvi korak u uklanjanju azota pri prečišćavanju voda. Ona predstavlja biološki proces oksidacije amonijaka najpre do nitrita, a zatim do nitrata pomoću autotrofnih nitrifikujućih bakterija.

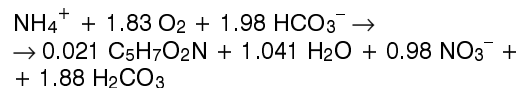


Spor rast nitrifikujućih bakterija, kao i velika osetljivost na toksine, promene temperature i pH znatno otežavaju ovaj proces.

Klasično se smatra da su sojevi *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* odgovorni za nitrifikaciju, koja se sastoji od dve faze. Prva faza predstavlja oksidaciju amonijaka do nitrata koju obavlja *Nitrosomonas* i naziva se nitratacija. Dru-

gu fazu čini oksidacija nitrita do nitrata, koju obavlja *Nitrobacter*, i koja se naziva nitratacija, mada su najnovija istraživanja, primenom tehnika analize ribozomalne RNK, posebno FISH metode (fluorescentna *in situ* hibridizacija) pokazala da su *Nitrosococcus mobilis* i *Nitrospira* dominantne populacije nitrifikujućeg aktivnog mulja fabrika za preradu industrijskih otpadnih voda sa velikom koncentracijom amonijaka, *Nitrosospira* i *Nitrospira* spp. su dominantne populacije nitrifikujućeg reaktora sa fluidizovanim slojem koji radi sa malim koncentracijama amonijaka, *Nitrosomonas* i *Nitrospira* su dominantne pri preradi otpadne vode domaćinstva.

Ukupna jednačina nitrifikacije, gde je uzet u obzir i bakterijski rast, glasi

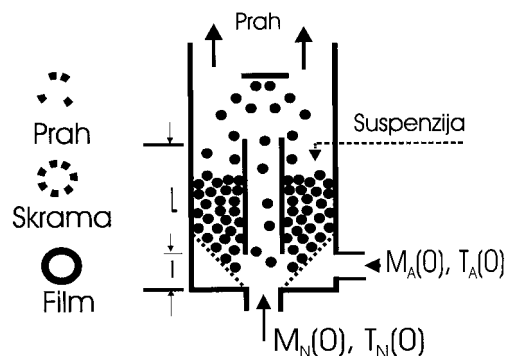


gde $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ predstavlja bakterijsku biomasu. Iz ove jednačine može se izračunati da je za svaki mg azota u obliku NH_4^+ oksidovanog do NO_3^- neophodno 4,27 mg O_2 i 8,81 mg HCO_3^- (15,0 mg izraženo kao CaCO_3). Stoga intenzivna aeracija predstavlja i osnovni uslov za izvođenje procesa nitrifikacije. Proces nitrifikacije, tj. uklanjanje amonijačnog azota iz vode, može se obavljati u reaktorima sa imobilisanim mikroorganizmima u fluidizovanim, fontanskim i fontansko-fluidizovanim slojevima, pri čemu je u ovom radu ispitivan fontanski sloj sa aerisanim anulusom.

EKSPERIMENTALNI SISTEM

Eksperimenti obavljani u ovom radu su izvedeni na dve nezavisne eksperimentalne jedinice.

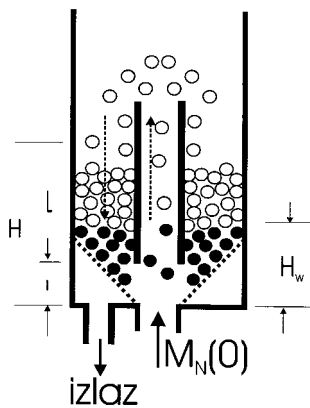
Prva jedinica je fontansko-fluidizovan sušionik sa centralnom cevi, detaljno opisan u radu [8]. Kapacitet jedinice je do 10 l/h isparene vode, a osnovne dimenzije uređaja su: prečnik kolone 250 mm, visina uređaja 2.2 m a ukupno instalisana snaga 22 kW. Kao inertno punjenje su korišćene polipropilenske čestice ekvivalentnog prečnika 3.6 mm i gustine 940 kg/m³. Fontanovanjem inertnog sloja čestica toplim vazduhom formira se ciklično kretanje čestica u sloju. Raspršavanjem tečnosti po površini prethodno zagrejanih čestica (slika 2), formira se tanki film na njihovoj površini.



Slika 2. Šema fontansko-fluidizovanog sušionika sa centralnom cevi
Figure 2. Scheme of a spout-fluid bed drier with a draft tube

Istovremenim prenosom toplote sa zagrejane inerte čestice i toplog vazduha, kojim se čestica fontanjuje, na film tečnosti, dolazi do sušenja filma i njegovog pretvaranja u skramu osušenog materijala (spouted bed thin film drying). Pod dejstvom trenja čestica-čestica i čestica-vazduh suvi materijal se skida sa površine i strujom vazduha nosi u separator. Inertna čestica, kao teža, pada na vrh sloja i ponovnim dolaskom u zonu kvašenja proces se nastavlja. Proces dobijanja praškastog proizvoda se odvija u jednom koraku i nije potrebna njegova dorada.

Drugu eksperimentalnu jedinicu je činio istostrujni fontanski sloj voda-čestice, sa centralnom cevi (slika 3). Osnovna karakteristika ovog sloja je u tome da se, za razliku od sistema vazduh-čestice, ovde i voda i čestice kreću u istom smeru, kroz centralnu cev naviše a u zoni anulusa naniže.



Slika 3. Šema istostrujnog fontanskog sloja
Figure 3. Scheme of a co-current spouted bed

Jedinica je bila izrađena kao polukolona prečnika 196 mm, sa centralnom cevi prečnika 25 mm i mlaznicom na dnu kolone od 14 mm, sa koničnim perforiranim dnom ugla 60°. Kao punjenje kolone korišćene su čestice prikazane u tabeli 1.

Pri dovođenju vode kroz mlaznicu na dnu kolone dolazi do obrazovanja mlaza koji se prostire kroz centralnu cev. Na delu između usta centralne cevi i dna kolone dolazi do usisavanja čestica punjenja kolone i njihovog hidrauličkog transporta naviše kroz centralnu cev. Po izlasku iz centralne cevi čestice i voda menjaju smer kretanja, naniže i padaju na vrh anularnog dela sloja, koji se kreće naniže, a koji je u funkciji fluidno-mehaničkih parametara delimično poplavljen, tako da se u

Tabela 1. Karakteristike čestica
Table 1. Particle characteristics

Type of particles	Polyethylene	PET	Glass
d_p , m	3.6×10^{-3}	2.62×10^{-3}	2×10^{-3}
ρ_p , kg/m ³	940	1240	2400
ε	0.360	0.347	0.354

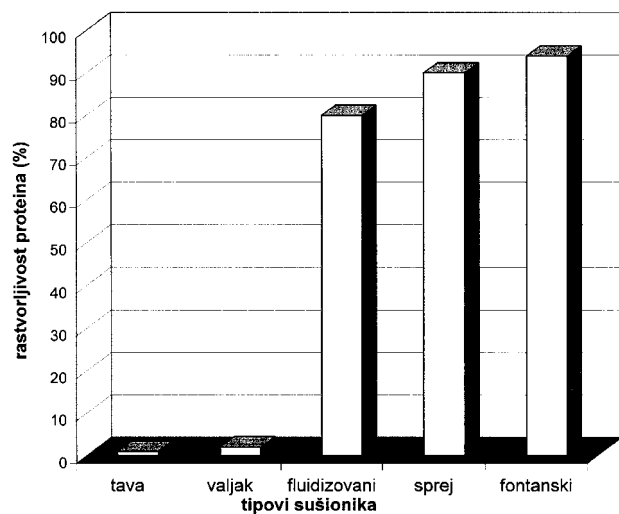
zoni izvan vode može nesmetano vršiti aeracija sistema. Postepenim kretanjem naniže, kroz perforirano dno se voda odvodi iz kolone a čestice punjenja nastavljaju svoje ciklično kretanje, ponovnim usisavanjem u centralnu cev.

Nivo vode u anulusu sloja je podešavan regulacijom izlaznog toka vode, promenom otpora na izlaznoj cevi iz sistema, regulacionim ventilom.

Protok vode je određivan rotametrom, dok je cirkulacija čestica merena direktno na izlazu iz centralne cevi, pomoću specijalno konstruisanog elementa. Ovaj element je u odeređenom trenutku postavljan na vrh centralne cevi i nije remeti strujnu sliku u sistemu. Prikupljanje čestica punjenja je vršeno u određenom vremenskom intervalu, a nakon sušenja je određivana njihova masa, čime se dobijala vrednost masenog protoka, odnosno cirkulacije čestica.

REZULTATI I DISKUSIJA

U sušioniku sa fontanskim slojem proces sušenja se odvija pri relativno niskim temperaturama medijuma u kome se nalazi sušeni materijal, usled veoma intenzivnog isparavanja vlage sa veoma razvijene površine na kojoj se sušenje obavlja, pa se mogu sušiti i temperaturno osetljivi materijali, uz zadržavanje njihovih funkcionalnih, nutritivnih ili aromatskih karakteristika. Proces sušenja se odvija u relativno kratkom vremenu boravka materijala u sušioniku uz efikasno korišćenje toplote samo na isparavanje tečnosti a ne i na zagrevanje produkta. Na ovaj način se izbegava denaturacija proizvoda koja se javlja pri dužem izlaganju na povišenoj temperaturi. Rastvorljivost proteina je jedna od osnovnih mera kvaliteta dobijenog praškastog proizvoda i na slici 4 je dato poređenje ovog parametra proizvoda, sušenih u različitim tipovima sušionika.



Slika 4. Uticaj tipa sušionika na rastvorljivost proteina u osušenom prahu

Figure 4. Influence of drier type on protein powder solubility

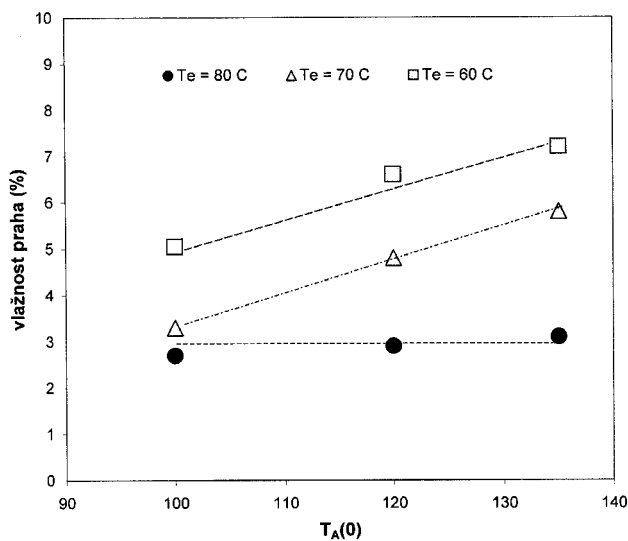
Rastvorljivost proizvoda dobijenih u pokretnom sloju sa kratkim vremenom boravka u sušioniku je daleko veća u odnosu na osušene u tavama ili valjkastim sušionicima, kao i u odnosu na sušionik sa raspršavanjem.

U našim eksperimentima, vršeno je sušenje juneće krvne plazme dobijene separacijom, prethodno stabilisane krvi sa 20% trinatrijum citratom, u centrifugalnom separatoru. Polazni sadržaj suve materije u tako dobijenoj krvnoj plazmi je bio 12.5%. Kao produkt sušenja, dobijen je prah bele boje, čiji je dominantan sastojak životinjski protein.

Ispitivanje kvaliteta osušenog praha je rađena standardnim metodama, dok je kao referentni kvalitet korišćen uzorak proteina dobijen u sušioniku sa raspršavanjem, u Fabrići aditiva – Paraćin. Tokom eksperimenata određivana je: vlažnost praha, sadržaj proteina, stabilnost emulzije, čvrstina gela i gubitak mase termičkom obradom i u svim eksperimentima je potvrđen veoma visok kvalitet osušenog praha.

Da bi temperatura u sloju, odnosno izlazna temperatura vazduha, ostala konstantna, pri povećanju ulazne temperature vazduha, a ne promenjenim protocima vazduha, u sušionik se mora dozirati veća količina suspenzije. Pri izlaznim temperaturama od 60 i 70°C, postoji efekat povećanja vlažnosti u osušenom prahu plazme, dok se pri temperaturi 80°C, vlažnost ne povećava sa povećanjem temperature ulaznog anularnog vazduha, $T_A(0)$ (slika 5).

Tokom sušenja se oko čestica inertnog punjenja formira film koji je u funkciji protoka plazme i cirkulacije čestica. Povećanje protoka plazme pri identičnoj cirkulaciji dovodi do povećanja debljine filma na inertnoj čestici punjenja, pa samim tim se pri istim fluidno-mehaničkim parametrima, efikasnost sušenja smanjuje, tako da se vlažnost osušenog praha povećava. Promena debljine



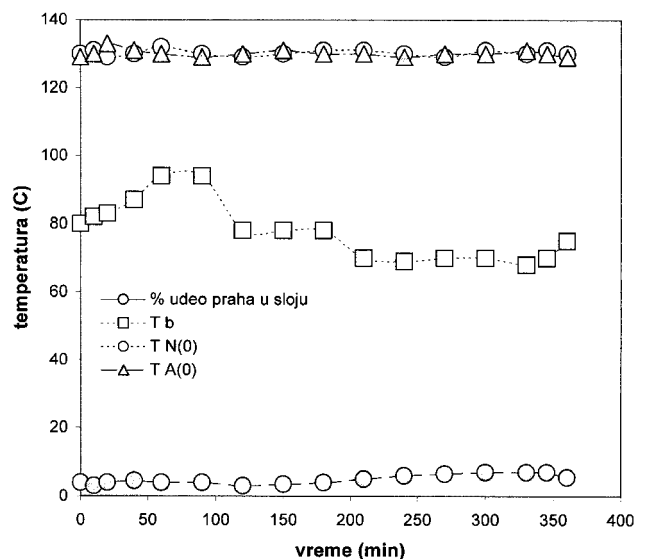
Slika 5. Uticaj ulazne temperature vazduha na vlažnost praha krvne plazme, $T_N(0) = 120^\circ\text{C}$, $M_N(0) = M_A(0) = 120$ kg/h
Figure 5. Influence of the inlet air temperature on the humidity of the plasma powder, $T_N(0) = 120^\circ\text{C}$, $M_N(0) = M_A(0) = 120$ kg/h

filma na česticama punjenja, za protoke plazme potrebne za održavanje izlazne temperature od 80°C, ne utiče na efikasnost sušenja pri identičnoj cirkulaciji čestica. Ovo navodi na zaključak da je sušenje životinjske krvne plazme efikasnije raditi na temperaturi sloja od 80°C, jer nema bojazni od povećanja debljine filma na česticama punjenja.

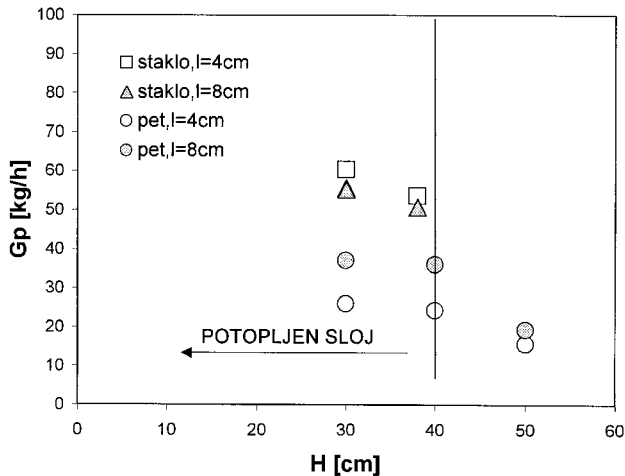
Pri sušenju pivskog kvasca, prosečan sadržaj vlage u osušenom prahu se kretao u intervalu 3.5–4%, u zavisnosti od parametara sistema. Osušeni prah je bio veoma fine i ujednačene granulacije svetlo krem boje, a potrošnja energije se kretala u granicama oko 3 latentne toplote isparavanja. Kao i kod krvne plazme, tokom procesa sušenja praćen je i uticaj izlazne temperature vazduha na udeo obloženosti čestica punjenja skramom kvasca i utvrđeno je da postoji direktna zavisnost, što je pokazano na slici 6. Rezultati pokazuju da se kontrolom jedne veličine, izlazne temperature vazduha, može vršiti kontrola rada čitavog sistema, što sa aspekta automatizacije čitavog procesa, ovaj sistem čini veoma pogodnim za primenu.

Istraživanja istostrujnog fontanskog sloja su se bazirala na preliminarnom određivanju osnovnih fluidno-mehaničkih parametara sistema. U sistemu sa imobilisanim mikroorganizmima količina kiseonika neophodna za obavljanje procesa, se obezbeđuje efikasnom aeracijom sistema. Step en aeracije zavisi od dužine vremena međufaznog kontakta vazduha sa fazom u kojoj se nalaze mikroorganizmi. Ukupno vreme kontakta zavisi od brzine kretanja čestica sa imobilisanim slojem (cirkulacije) i visine nepotopljenog anulusa, tj visine zone u kojoj dolazi do međufaznog kontakta.

Kako o istostrujnom fontanskom sloju nema literaturnih podataka, osnovni cilj eksperimentalnih istraživa-



Slika 6. Uticaj temperature vazduha na akumulaciju praha pivskog kvasca u sloju, $M_N(0) = M_A(0) = 120$ kg/h
Figure 6. Influence of the air temperature on brewery yeast powder accumulation in the bed, $M_N(0) = M_A(0) = 120$ kg/h



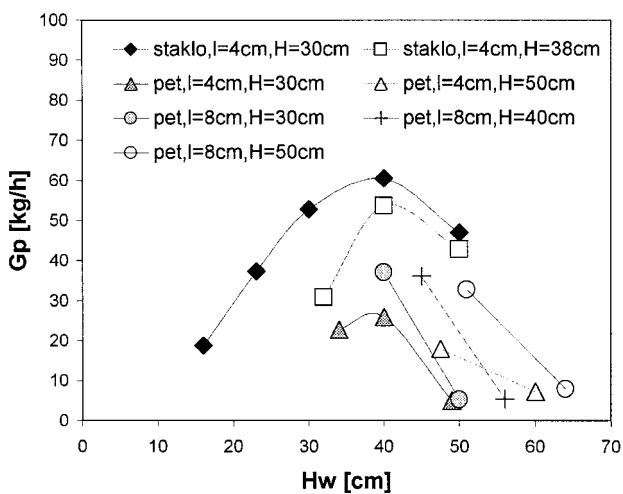
Slika 7. Cirkulacija čestica u istostrujnom fontanskom sloju u funkciji visine sloja

Figure 7. Particle circulation in a co-current spouted bed as a function of bed height

nja je bio odrediti parametre kod kojih je uopšte moguće dostići stanje u kome će se obrazovati fontanski sloj sa, u donjem delu, potopljenim anulusom, i gornjim "suvim" delom, u kome bi bilo moguće vršiti aeraciju.

Zavisnost cirkulacije čestica od visine sloja u anulusu, pri konstantnom nivou vode u anulusu, prikazana je na slici 7. Može se videti da cirkulacija čestica opada sa porastom visine vode u anulusu sloja i taj pad je naročito izražen kada je sloj čestica potopljen vodom.

Rezultati prikazani na slici 8 pokazuju da visina vode u anulusu utiče na cirkulaciju čestica pri konstantnom protoku vode kroz mlaznicu. Sa porastom nivoa vode u anulusu sloja, dolazi do povećanja cirkulacije čestica u sloju, sve do dostizanja vrednosti kada je potopljen čitav anulus, da bi nakon toga sa povećanjem nivoa i iznad visine sloja, dolazilo do pada vrednosti cirkulacije čestica. Ovaj trend je zapažen u svim ispitivanim sistemima.



Slika 8. Uticaj nivoa vode u anulusu sloja na cirkulaciju čestica
Figure 8. Influence of water level on particle circulation in the annulus

Cirkulacija čestica počinje da se smanjuje neposredno posle trenutka kada sloj biva potopljen. Na istoj slici se može uočiti da neke krive nemaju maksimum, već je njihov trend linearno opadajući, zato što je cirkulacija čestica merena samo kada je nivo vode bio jednak i iznad visine sloja, jer pri određenim protocima vode, nije bilo moguće ostvariti cirkulaciju čestica, a da sloj ne bude potpuno potopljen.

ZAKLJUČAK

U inženjerstvu zaštite životne sredine postoje dva osnovna pravca a to su prevencija zagađenja i tretman već zagađenog medijuma. Istraživanja prezentirana u ovom radu pokazuju da se disperzni sistemi u vidu fontanskog i fontansko-fluidizovanog sloja, sa uspehom mogu primeniti u ovim postupcima.

Tretman otpadne krvi i pivskog kvasca, kao veoma zagađujućih materija, u cilju sprečavanja njihovog nekontrolisanog ispuštanja u prirodne recipijente i dobijanja proizvoda sa određenom komercijalnom vrednošću, je moguće obaviti na fleksibilnim jedinicama za sušenje sa fontansko-fluidizovanim slojem.

Istraživanja fluidno – mehaničkih karakteristika istostrujnog fontanskog sloja sa centralnom cevi su osnov za dalja istraživanja koja će biti usmerena ka definisanju parametara, neophodnih, za biološki tretman otpadnih voda u ovakvom sistemu.

SIMBOLI

- D_c – prečnik cilindrične kolone, m
- D_{DT} – prečnik centralne cevi, m
- d_i – prečnik mlaznice, m
- d_p – prečnik čestice, m
- G_p – maseni protok čestica, kg/h
- H – visina sloja, m
- H_w – visina potopljenog sloja u anulusu, m
- L – dužina centralne cevi, m
- l – rastojanje centralne cevi od dna kolone, m
- $MA(0)$ – maseni protok fluida na dnu anulusa, kg/h
- $M_N(0)$ – maseni protok fluida na mlazničnom vodu, kg/h
- MA – maseni protok fluida u anulusu sloja, kg/h
- M_{mF} – maseni protok fluida u nasutom sloju pri minimalno fluidizovanom stanju, kg/h
- $TA(0)$ – temperatura vazduha anularnog voda, °C
- T_B – temperatura sloja, °C
- T_e – izlazna temperatura, °C
- $T_N(0)$ – temperatura vazduha mlaznog voda, °C
- u_T – terminalna brzina fluida, m/s
- $VA(0)$ – zapreminski protok fluida na dnu anulusa, m³/h
- V_{mF} – zapreminski protok fluida u nasutom sloju pri minimalno fluidizovanom stanju, kg/h
- $V_N(0)$ – zapreminski protok fluida na mlazničnom vodu, m³/h
- V_T – zapreminski protok fluida pri terminalnoj brzini, m³/h
- w – brzina čestica, m/s
- ε – poroznost sloja,
- ρ_p – gustina čestica, kg/m³

LITERATURA

- [1] Zdanski, F., "Mehanika fontansko–fluidizovanog sloja monodisperzne sfere–voda", Doktorska disertacija, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd (1973).
- [2] Vuković, D.V., "Dvofazni i trofazni fontanski i fontansko–fluidizovani slojevi kao novi sistemi višefaznog kontakta", Doktorska disertacija, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, (1983)
- [3] Grbavčić, Ž.B., "Ispitivanje mehanike fontanskog sloja sa kontrolisanim kretanjem čestica", Doktorska disertacija, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu (1989)
- [4] Povrenović, D.S. "Sušenje suspenzija u fontansko–fluidizovanom sloju" Doktorska disertacija, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu (1994).
- [5] Arsenijević, Z., "Uklanjanje etilenoksida iz otpadnih gasova u kombinovanom sistemu adsorber/katalitički reaktor", Magistarski rad, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, (1999).
- [6] Loehr, R.C., "Pollution Control for Agriculture"; Academic Press, Inc.: Orlando, FL, (1984)
- [7] Lawson, T.B., J.H. Junius, A.A. de los Reyes, and J.T. Scott. "Hydraulic Performance and Nitrification Rates of a Continuous–Cleaning Floating Media Biofilter." presented at Aquaculture America '96. Arlington Texas: World Aquaculture Society and National Aquaculture Association. Book of Abstracts. pg. 86, (1996).
- [8] Povrenović, D.S., Dimitrijević–Branković, S., Drying of biological materials in a spout–fluid bed with draft tube, Hem. Ind. 56(4) 141–146 (2002)

SUMMARY**THE APPLICATION OF DISPERSE SYSTEMS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

(Scientific paper)

Dragan S. Povrenović
Faculty of technology and metallurgy, Karnegieva 4, Belgrade

This paper presents the experimental results of spouted and spout–fluid bed investigations and their application in waste treatment in the food industry and the fluid–mechanical investigations of a co–current spouted bed with the aim of its application in water treatment, with immobilized microorganism systems. The Investigated systems were applied in animal blood and plasma drying, as a possible ecological solution in the meat–processing industry and brewery yeast drying. These waste materials are very dangerous pollutants for natural recipients. The concept of a co–current spouted bed as a basis for microbiological water treatment in the nitrification process of ammonium nitrogen is presented in the second part of this paper.

Key words: Disperse systems • Spouted bed • Spout–fluid bed • Environmental engineering • Ključne reči: Disperzni sistemi • Fontanski sloj • Fontansko–fluidizovan sloj • Inženjerstvo zaštite životne sredine •