

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

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 31.01.2011. god. doneta je odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije, koju je pod nazivom: „**Modelovanje i optimizacija procesa sušenja opekarskih proizvoda**“, predložio mr Miloš Vasić dipl. inž. tehnologije.

Po pregledu priložene dokumentacije koju je kandidat dostavio, Komisija podnosi sledeći izveštaj o naučnoj zasnovanosti predložene teme.

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

Kandidat je rođen 31.01.1980 u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju je završio u Beogradu. Diplomirao je na Tehnološko - metalurškom fakultetu juna 2005 godine sa prosečnom ocenom 8,25 na osnovnim studijama. Magistarsku tezu pod naslovom „Uticaj mehaničke aktivacije opekarske gline na strukturu, brzinu sušenja i fizičko - mehanička svojstva opekarskih proizvoda“ odbranio je oktobra 2009 godine na Centru za multidisciplinarne studije Univerziteta u Beogradu.

U Centru za multidisciplinarne studije bio je zaposlen od 01.01.2006 godine, a od novembra 2006 godine radi u Institutu za ispitivanje materijala. Januara 2010 je izabran u istraživačko zvanje istraživač saradnik. Trenutno radi kao istraživač saradnik u Institutu za ispitivanje materijala, na redovnim zadacima i kao saradnik na jednom naučno istraživačkom projektu koji finasira Ministarstvo za nauku i tehnologiju.

U periodu od 2005 do 2010 godine u saradnji sa kolegama ili samostalno, saopštio je i publikovao, na međunarodnim i domaćim skupovima, konferencijama i časopisima, 48 naučno - stručnih radova. Zajedno sa kolegama iz IMS-a ima prijavljena i dva tehnička rešenja. Aktivno se služi engleskim a pasivno sa Francuskim jezikom. Poznaje rad na računaru i služi se sa svim standardnim programskim paketima. Za potrebe izrade magistrske teze i rada na doktorskoj tezi ovladao je i nizom specijalizovanih programskih paketa kao što su Minitab, Origine, Data Master,...

Naučni i stručni radovi:

U ovom poglavlju navedeni su samo radovi i tehnička rešenja koja su vezana za oblast sušenja koja je predmet predložene doktorske disertacije.

Rad u međunarodnom časopisu

Z. Lalić, M. Arsenović, Đ. Janacković, **M. Vasić**, Z. Radojević, „*Influence of increased temperature on clay fast drying process*“, Romanian Journal of Materials, 39(3) 2009, 175–179. ISSN 1583-3186, IF2009=0.242 (M23).

Rad u međunarodnom časopisu van SCI liste

M. Vasić, Z. Radojević.: “*Establishing the model for predicting the duration of the main stage of drying green masonry products*”, International journal of modern manufacturing technologies, Rumunija, 2(1) 2010, 93-98. ISSN 2067-3604 (M51).

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini

M. Vasić, Z. Radojević, M. Maričić, „Uticaj režima pečenja na kvalitet opekarskih proizvoda“, 14th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Proceedings, ISBN 978-86-80587-96-7, Soko Banja 13-16. novembar 2009, 121- 128 (M33).

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu

M. Vasić, Z. Radojević, Đ. Janackovic, A. Rosić, „*Mechanical activation of clays and its influence on process of drying and final properties of masonry units*“, XIV International Clay Conference, ISBN 978-88-7522-027-3, Book of apstracts, june 14 – 20. 2009, str.61 (M34).

M. Vasić, Z. Radojević, Đ. Janackovic, A. Rosić, „*Mechanical activation of clay*“, ISBN 978-86-80321-18-9, CIP 66.017/.018(048), Programme and book of abstracts, „Eleventh annual conference YUCOMAT 2009“, 31.08 – 4.09.2009, str.96 (M34).

Magistarska teza

M. Vasić, „Uticaj mehaničke aktivacije opekarske gline na strukturu, brzinu sušenja i fizičkomehanička svojstva opekarskih proizvoda“, Magistrska teza, CMS Univerziteta u Beogradu, oktobar 2009, 1 – 113 (M72).

Nova proizvodna linija, novi materijal, industrijski prototip uvedeni u proizvodnju, novo prihvaćeno rešenje problema u oblasti makroekonomskog, socijalnog i problema održivog prostornog razvoja

Tehničko rešenje primenjeno u fabrici "Naša Sloga" iz Kovina u 2010 godini, autori: Z.Radojević, **M.Vasić**, M. Arsenović, I. Budimirović.: "*Optimizacija procesa sušenja opekarskih proizvoda*" (M 84)

Na izloženih dosadašnjih rezultata naučno-istraživačkog rada, Komisija smatra da je kandidat podoban za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

I pored hiljadugodišnje tradicije u proizvodnji opekarskih proizvoda, na desetine istraživača širom sveta stalno rade na unapređenju i skraćanju procesa sušenja, na poboljšanju karakteristika kvaliteta osušenih proizvoda i na smanjenju cene proizvodnje. Otuda je i potreba da se multidisciplinarnim pristupom i primenom savremenih postavki : fizike, hemije, nauke o materijalima, fenomena prenosa mase, teorije sušenja i

računarskih tehnologija, prošire postojeća saznanja o procesu sušenja opekarskih proizvoda. Predmet istraživanja ove doktorske disertacije predstavlja izučavanje procesa sušenja opekarskih proizvoda.

Uspostavljanje optimalnih uslova sušenja u industrijskoj konvektivnoj sušnici, zavisi od više faktora a između ostalog i od uspešnosti razvoja matematičko – fizičkog modela procesa sušenja i njegove implementacije u praktičnoj primeni.

Osvrt na relevantne bibliografske podatke

Osnova modelovanja procesa konvektivnog sušenja, jeste rešavanje skupa parcijalnih diferencijalnih jednačina sastavljenih od jednačina kinetike procesa i jednačina bilansa mase i energije. S obzirom da se proces sušenja karakteriše nizom jednačina, koje izražavaju osnovne zakone fizike sušenja, a izrazito su ne linearne, uz napomenu da se vlažnost materijala menja na unapred nepoznat način (stohastički) i da ga karakteriše znatno vremensko kašnjenje, jasno se uočava da je izučavanje procesa sušenja a pogotovu matematičko modelovanje kinetike sušenja izuzetno složeno. U okviru ove doktorske teze, na osnovu literaturnih podataka biće dat prikaz savremenih istraživanja vezanih za određivanje efektivnog koeficijenta difuzije, kao i prikaz novorazvijenih načina za određivanje ovog koeficijenta i modelovanja procesa sušenja koji treba da budu rezultat istraživanja obrađenih u ovoj tezi. U principu postoje tri pravca u modelovanju: teorijski, poluteorijski i empirijski.

Teorijski pravac definiše niz modela sušenja koji su zasnovani na razmatranju unutrašnje otpornosti prilikom transfera vlage. Radovi S.Chemkhi-a i F. Zagroub-a F i niza drugih autora mogu poslužiti kao primer modelovanje na bazi teorijskih postavki.

Poluteorijski i empirijski pravac su zasnovani samo na razmatranju spoljašnje otpornosti prilikom transfera vlage između proizvoda i toplog vazduha za sušenje. Poluempirijski modeli predstavljaju kompromis između teorijskih postavki i mogućnosti njihovog matematičkog rešavanja. Ovakvi modeli se svode se na rešavanje Crank-ove difuzione jednačine, odnosno na određivanje efektivnog koeficijenta difuzije. Modeli najčešće proističu iz Crank-ove jednačine i uzimaju u obzir samo određen, konačan broj članova u nizu. Neki od ovih modela kao što su: su Newtonov ili Lewisov model (primenjeni su u radovima O'Callaghan J.R., Menzies D.J., Bailey, P.H.), Page-ov model (primenjen je u radovima : Diamante, L. M., Munro, P. A), Hendersonov i Pabisov model (primenjeni su u radovima Karathanos, V.T., Belessiotis) a logaritamski model (primenjen je u radovima Karathanos, V.T., Belessiotis, V.G, Doymaz, I).

Empirijski modeli daju direktnu vezu između sadržaja vlage i vremena sušenja. Oni predstavljaju pokušaje da se što bolje opiše veza između sadržaja vlage i vremena sušenja bez neke teorijske podloge. Ovi modeli se najčešće predstavljaju pomoću polinoma. Primena polinoma povlači i određene nedostatke kao što su :

- rad sa velikim brojem slobodnih parametara,
- krive brzine sušenja koje nemaju početak iz nule ($u=0$ i $w=0$), velika odstupanja u obliku krive sušenja na početku i na kraju.

Prednost ovih modela je dobra aproksimacija ulaznih podataka i što ovi modeli imaju visok indeks korelacije na primer, model Wanga i Singha.

Iako se proces sušenja opekarskih sirovina istražuje širom sveta duži niz godina istraživanja na ovom problemu su idalje aktuelna kako sa aspekta optimizacije postojećih procesa i smanjenja utrošaka energije pri vođenju istih, tako i sa aspekta stvaranja i postavke novih energetski povoljnijih postupaka sušenja. Pored velikog broja istraživača i

literature koja neminovno prati razvoj u oblasti sušenja poslednjih godina došlo je i do značajnog informatičkog razvoja koji omogućava modelovanje i rešavanje komplikovanih matematičkih opisa procesa sušenja primenom savremenih kompjutera.

Predviđena istraživanja će svakako doprineti boljem razumevanju procesa sušenja, metoda za određivanje efektivnog koeficijenta difuzije kao i razvoju modela za opis kinetike sušenja.

Cilj istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji je modelovanje procesa sušenja primenjenog na različite opekarske sirovine u cilju dobijanja matematičkog izraza za opisivanje istog. Istraživanja obuhvaćena u ovoj doktorskoj disertaciji obuhvatiće modelovanje procesa sušenja korišćenjem sva tri pristupa.

3. Polazne hipoteze

3.2.1 Modelovanje procesa sušenja zasnovano na teorijskim postavkama

Teorijsko modelovanje procesa sušenja svodi se na rešavanje Crank-ove difuzione jednačine (1) odnosno na određivanje efektivnog koeficijenta difuzije. Obzirom da se opekarski proizvodi skupljaju prilikom sušenja potrebno je razviti model koji bi uzeo i ovaj fenomen u obzir. Uvođenjem u jednačinu (1) izraza $l_{(t)}$ koji predstavlja eksperimentalnu zavisnost promene debljine pločice u vremenu izvršena je korekcija izraza. Treba imati na umu da ovaj vid korekcije nije striktno matematički stopostotno tačan. To je iz razloga što je izvedeni izraz (1) definisan za uslove ne promenjive debljine pločice pa bi formalno gledano tačna korekcija promene debljine trebala biti uneta pre integraljenja izraza iz koga je nastala jednačina (1). U literaturi se ovaj vid korekcije promene karakteristične dimenzije uzorka pominje u radu L.Hassinia, kao i A.O. Disse gde se može videti da se dobijaju precizniji podaci.

U radovima Wiltona Pereire da Silve je opisan način rešavanja difuzione jednačine za slučaj uzorka oblika sfere i dat prikaz algoritma programa za rešavanje. Planom istraživanja predviđena su istraživanja u cilju unapređenja njihovih modela na osnovu rezultata eksperimentalnih određivanja i savremenih matematičkih modela i to za slučaj kada postoji skupljanje i za slučaj kada ne postoji skupljanje uzorka.

3.2.2 Modelovanje procesa sušenja zasnovano na poluteorijskim postavkama.

U ovom delu doktorske teze će se izvršiti modelovanje procesa sušenja pomoću postojećih literaturno dostupnih tankoslojnih modela sušenja i novog tankoslojnog modela. Biće dat prikaz razvoja novog tankoslojnog modela, koji predstavlja modifikaciju Pageovog i logaritamskog modela.

3.2.3 Modelovanje procesa sušenja zasnovano na empirijskim postavkama

U ovom delu doktorske teze će se izučavati zavisnost efektivnog koeficijenta difuzije određenog merenjem, u funkciji parametara medijuma za sušenje (brzine, vlažnosti i temperature vazduha). Time će se dobiti zavisnost koja zamenom u Crank-ovu jednačinu daje mogućnost za predviđanje procesa sušenja u okviru granica zadatih

planiranim eksperimentom. Pored ovoga pokušće se uspostavljanje zavisnost parametara (k , n , a i b) novog tankoslojnog modela u funkciji parametara medijuma za sušenje. Time bi se stvorila realna pretpostavka o mogućnosti predviđanja procesa sušenja u okviru granica zadatih planom eksperimenta.

Da bi se smanjio broj eksperimenata neophodnih za uspostavljanje određene fizičke zavisnosti od neke druge ili drugih fizičkih veličina, koje predstavljaju cilj eksperimenta, unazad petnestak godina se primenjuju metode planiranog eksperimenta. Zavisnost između izlaznih parametara (odziva) i ulaznih parametara (faktora) naziva se funkcija odziva i ona je predstavljena sledećom jednačinom: $y=f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, gde je :

- y – odziv, rezultat eksperimenta i u našem slučaju će predstavljati D_{eff} a,
- $x_1, x_2, \dots, x_k$ – nezavisno promenljive, odnosno faktori koji se mogu birati pri postavljanju eksperimenta i u našem slučaju su to parametri medijuma za sušenje temperatura, brzina i vlažnost.

Postupak dolaženja do zavisnosti matematičkog modela podrazumeva metod postepenog traženja, tj. pokušava se da se opisivanje pojave izvrši sa „najprostijim linearnim modelom“. Nakon toga se ocenjuje njegov kvalitet i ukoliko ne zadovoljava, povećava se stepen polinoma, odnosno broj njegovih članova. Sa povećanjem broja članova se nastavlja sve dok dobijeni matematički model ne bude odgovarajući, odnosno adekvatan za opis pojave iz eksperimenta. Provera adekvatnosti modela se vrši pomoću Fišerovog kriterijuma F a model se smatra adekvatnim kada vrednost F ne odstupa od tablične vrednosti ili dogovorene vrednosti. Uobičajeno je da je ta vrednost $F = 0,05$ (odnosno 5%). Danas postoje brojni kompjuterski paketi za obradu i statističku analizu podataka.

4. Naučne metode istraživanja

U postupku karakterizacije opekarskih glina korišćenih u eksperimentalnom radu koristiće se svremene ispitne metode kao što su:

- hemijska silikatna analiza
- granulamotrijska analiza
- diferencijalno termijska naliza
- diferencijalno termogravimetrijska analiza
- rentgenska analiza
- dilatometrijska naliza
- mineraloška analiza idr.

Keramičko – tehnološka ispitivanja opekarskih glina obuhvatće određivanje:

- svojstva sirovine posle prerade i homogenizacije,
- svojstva i ponašanje sirovine u procesu oblikovanja i
- ponašanje sirovine u procesu sušenja i karakteristike suvih proizvoda

Proučavanje operacije sušenja sprovedeće se u laboratorijskoj recirkulacionoj sušari specijalno adaptiranoj za ova ispitivanja, koja je opremljena PC kontrolerima i poseduje mogućnost regulacije: temperature, relativne vlažnosti i brzine medijuma za sušenje. Monitoring svih zadatih parametara sušenja i zapisi o promeni težine i o skupljnju ispitnog uzorka vrši se automatski uz pomoć PC računara.

5. Očekivani naučni doprinos

Očekuje se da rezultati istraživanja daju značajan doprinos u određivanju efektivnog koeficijenta difuzije i modelovanju procesa sušenja opekarskih proizvoda.

Očekivani doprinos predstavlja:

- nov pristup definisanja načina za određivanje efektivnog koeficijenta difuzije za slučaj „tankoslojnog modela“ kada se skupljanje može zanemariti i za slučaj kada se skupljanje ne sme zanemariti.,
- izrada matematičkog modela za određivanje efektivnog koeficijenta difuzije za slučaj kada se skupljanje može zanemariti i za slučaj kada se skupljanje ne sme zanemariti
- definisanje načina za rešavanje Crank-ove difuzione jednačine, i izgradnja softvera za rešavanje iste.
- definisanje i izrada novog tankoslojnog modela sušenja kao i
- definisanje prognozne jednačine za opis procesa sušenja u funkciji temperature, brzine i vlažnosti vazduha za sušenje.

Na osnovu definisanja prognozne jednačine realno je očekivati da se može izvršiti optimizacija procesa sušenja opekarskih proizvoda, što kao krajnji praktični rezultat vodi ka smanjenju vremena sušenja i uštedi energije u ovom procesu.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Plan i struktura istraživanja obuhvatiće:

- Izbor opekarskih sirovina, koje predstavljaju tipične opekarske sirovine koje se mogu naći u upotrebi u našoj zemlji.
- Karakterizacija izabranih sirovina (analize: hemijskog sastava, rendgenska analiza, DTA i TG analize, dilatometrijskih ispitivanja, određivanja granulometrijskog sastava, idr).
- Keramičko tehnološka ispitivanja (određivanje plastičnosti sirovine po Pfefferkorn-u, skupljanje pri sušenju, zapreminska masa, pritisna čvrstoća suvih proizvoda, osetljivost na sušenje, položaj kritične tačke idr.).
- ispitivanje procesa sušenja (Definisanje granica planiranih eksperimenata i kreiranje dva eksperimentalna seta. Svaki set eksperimenata će se sastojati od osam eksperimenata, pri čemu će u prvom setu vrednosti temperature brzine i vlažnosti vazduha za sušenje biti konstantne. U drugom setu proces sušenja će biti podeljen na tri segmenta, unutar kojih će vrednosti temperature brzine i vlažnosti vazduha za sušenje biti konstantne. Planirana su još dva dopunska eksperimenta unutar svakog eksperimentalnog seta. Vrednosti temperature brzine i vlažnosti vazduha u dopunskim eksperimentima se nalaze unutar prethodno definisanih granica za oba eksperimentalna seta.)
- Uspostavljanje modela sušenja (Modelovanje procesa sušenja će se zasnivati na određivanju efektivnog koeficijenta difuzije a poluteorijsko i eksperimentalno modelovanje će se zasnivati na određivanju regresionih i statističkih parametara za nekoliko literaturno dostupnih modela kao i novo kreiranog tankoslojnog modela. Biće razvijen metod, i definisan nov softver za određivanje efektivnog koeficijenta difuzije, čijom zamenom u polaznu jednačinu Crancka se dobijaju

prognose vrednosti krive sušenja. Zamenom regresionih parametara u jednačine tankoslojnih modela takođe se dobijaju prognozne vrednosti krive sušenja.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu podataka iznetih u ovom materijalu članovi Komisije smatraju da je tema doktorske disertacije koju je predložio mr Miloš Vasić dipl.inž. utemeljena i naučno zasnovana. Stoga predlažemo Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da mr Milošu Vasiću dip.inž tehnologije, odobri izradu doktorske disertacije pod nazivom: „Modelovanje i optimizacija procesa sušenja opekarskih proizvoda“ i da za mentora imenuje prof. dr Željka Grbavčića, redovnog profesora Tehnološko-metalurškog fakulteta.

ČLANOVI KOMISIJE

1. Dr Željko Grbavčić red. prof. TMF-a
2. Dr Đorđe Janačković red. prof. TMF-a
3. Dr Zagorka Radojević, naučni savetnik
Institut za ispitivanje materijala Srbije

U Beogradu, 15.03.2011.