

**ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ**

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

**ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА**I/2-1197

(Број захтева)

08.11.2011

(Датум)

**ЗАХТЕВ****за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молим, да сходно члану 46. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета" број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата: Исидоре Милошевић

КАНДИДАТ: Исидора (Милоје) Милошевић

пријавио је докторску дисертацију под називом:

МОДЕЛОВАЊЕ ПРОЦЕСА ЛУЖЕЊА БОКСИТА У ЦИЉУ ПРЕДВИЂАЊА СТЕПЕНА ИЗЛУЖЕЊА  $Al_2O_3$ Из научне области: инжењерски менаџмент

Универзитет је дана **08. 07. 2010.** године својим актом под: Број **01/612-2673-2/10** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која гласи: МОДЕЛОВАЊЕ ПРОЦЕСА ЛУЖЕЊА БОКСИТА У ЦИЉУ ПРЕДВИЂАЊА СТЕПЕНА ИЗЛУЖЕЊА  $Al_2O_3$

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

Исидора (Милоје) Милошевић

(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној **22. 09. 2011.** године, одлуком факултета под бр. **VI/4-16-10**, у саставу:

| Име и презиме члана комисије/ | звање      | научна област            | установа у којој је запослен |
|-------------------------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1. Др Живан Живковић          | ред. проф. | инжењерски менаџмент     | Технички факултет у Бору     |
| 2. Др Иван Михајловић         | доцент,    | инжењерски менаџмент     | Технички факултет у Бору     |
| 3. Др Весна Спасојевић-Бркић  | доцент,    | индустријско инжењерство | Машински факултет у Београду |

Научно-наставно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној **20.10. 2011.** године.

Декан Факултета



Проф. др Милан Антонијевић

Прилог:

1. Извештај комисије са предлогом
2. Акт наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било

Универзитет у Београду  
Технички факултет у Бору  
Број: VI/4-17-5  
Бор, 21. 10. 2011. године.

На основу чл. 44. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 20. 10. 2011. године, донело је

## ОДЛУКУ

I – Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Исидоре Милошевић**, мастер инж. менаџмента, под називом “**Моделовање процеса лужења боксита у циљу предвиђања степена излужења  $Al_2O_3$** “ који је сачинила Комисија у саставу: др Живан Живковић, редовни професор Техничког факултета у Бору – ментор, др Иван Михајловић, доцент Техничког факултета у Бору – члан и др Весна Спасојевић-Бркић, доцент Машинског факултета у Београду- члан.

II – Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности.

### Достављено:

- Већу научне области Универзитета у Београду
- именованој
- члановима комисије
- архиви

ПРЕДСЕДНИК  
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА  
ДЕКАН  
Проф. др Милан Антонијевић



Predmet: Izveštaj Komisije o uradjenoj doktorskoj disertaciji Isidore Milošević

Odlukom Nastavno-naučnog veća od 22.09.2011.godine određeni smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Isidore Milošević (rođene Djurić) dipl.ing. industrijskog menadžmenta pod nazivom: *‘Modelovanje procesa luženja boksita u cilju predviđanja stepena izluženja  $Al_2O_3$ ’*. Posle pregleda uradjene doktorske disertacije i prateće dokumentacije koja nam je dostavljena podnosimo sledeći

## **I Z V E Š T A J**

### **1. UVOD**

#### **1.1. Naslov i obim disertacije**

Naslov doktorske disertacije kandidata Isidore Milošević je: *‘Modelovanje procesa luženja boksita u cilju predviđanja stepena izluženja  $Al_2O_3$ ’*. Disertacija je napisana u obimu od 79 strana i sastoji se od šest poglavlja.

#### **1.2. Hronologija odobravanja u izradi disertacije**

Hronologija odobravanja u izradi disertacije protekla je sledećom dinamikom:

- Odlukom br. VI/4-7/6.1 Nastavno-naučnog veća Tehničkog fakulteta u Boru od 17.06. 2010. godine odobrena je tema za izradu doktorske disertacije.
- Odlukom br. 01/612-2673-2/10 od 8.07. 2010. godine data je saglasnost Stručnog veća Univerziteta u Beogradu na predlog teme za izradu doktorske disertacije.
- Dana 16.02. 2010 godine kandidat je odbranio rad teorijske osnove doktorske disertacije – pristupni rad za izradu doktorske disertacije
- Kandidat je položio sve ispite predviđene nastavnim planom doktorskih studija na studijskom programu i uradio doktorsku disertaciju čime je stekao 180 ECTS bodova uključujući i 20 bodova za javnu odbranu.
- Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehničkog fakulteta u Boru od 22.09.2011. godine imenovana je Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije.

### 1.3. Mesto disertacije u odgovarajućoj naučnoj oblasti

Predmet istraživanja u doktorskoj disertaciji pripada tehničko-tehnološkoj oblasti, užoj naučnoj oblasti inženjerskog menadžmenta za koju je Tehnički fakultet u Boru akreditovan.

### 1.4. Biografski podaci o kandidatu

Isidora Milošević (rodjena Djurić) rodjena je 12.12.1977.godine u Boru gde je završila osnovnu i srednju školu. Na Tehničkom fakultetu u Boru diplomirala je 2007. godine na osnovnim akademskim studijama na studijskom programu - industrijski menadžment. Iste godine upisala je master studije na studijskom programu - inženjerski menadžment koje je završila 2008. godine. Od diplomiranja radila je kao saradnik u nastavi na Katedri za menadžment. Po završetku master studija, upisala je doktorske studije na studijskom programu inženjerski menadžment i dobila izbor u zvanje asistenta za užu naučnu oblast industrijski menadžment. Posle polaganja ispita koji su predviđeni nastavnim planom studija, kandidatu je odobrena tema za izradu doktorske disertacije pod nazivom: *“Modelovanje procesa luženja boksita u cilju predviđanja stepena izluženja  $Al_2O_3$ ”*.

## 2. OPIS DISERTACIJE

### 2.1. Struktura i sadržaj disertacije

Disertacija je napisana u obimu od 79 strana teksta koji je raspoređen u šest poglavlja: 1- Uvod (definisana hronologija predhodnih istraživanja, definisana metodologija i hipoteze istraživanja sa 45 literaturnih citata); 2 – Modelovanje kompenzacionog efekta za luženje različitih tipova boksita u rastvoru NaOH (sa 6 slika, 6 tabela i 28 literaturnih citata); 3 – Modelovanje kinetike procesa luženja različitih tipova boksita u Bayer-ovom procesu ( sa 3 tabele, 5 slika i 22 literaturna citata); 4- Predviđanje stepena izluženja  $Al_2O_3$  u Bayer-ovom procesu korišćenjem statističke multilinearne regresione analize (sa 4 tabele, 4 slike i 11 literaturnih citata); 5- Predviđanje stepena izluženja  $Al_2O_3$  iz boksita u Bayer-ovom procesu primenom veštačkih neuronskih mreža (sa 4 tabele, 5 slika i 22 literaturna citata); 6 – Završna razmatranja ( istaknuti su ostvareni doprinosi i dokazi postavljenih hipoteza sa naznakom daljih istraživanja; navodi se 20 literaturnih citata).

### 2.2. Kratak prikaz pojedinih poglavlja

U prvom poglavlju daju se uvodne napomene o doktorskoj disertaciji kao i hronološki pregled predhodnih istraživanja o modelovanju brzine procesa luženja različitih tipova boksita u Bayer-ovoj tehnologiji dobijanja glinice. U ovom poglavlju daju se osnovne hipoteze istraživanja i očekivani naučni doprinosi tokom predviđenih istraživanja.

U drugom poglavlju na osnovu laboratorijskih istraživanja kinetike procesa luženja različitih tipova boksita: hidrargilitnog, bemitnog i dijaspornog kao i njihove mešavine

hidrargilitno-bemitnog i bemitno- dijaspornog tipa, definisane su zavisnosti stepena izluženja od vremena i temperature-  $\alpha = f(t, T)$  i određeni kinetički modeli koji opisuju proces luženja različitih tipova boksita kao i njihovih odabranih mešavina. Definisana je zavisnost energije aktivacije procesa luženja od gustine boksita što daje osnovu procene kinetičkih parametara za bilo koju mešavinu boksita, što pored teorijskog ima i praktični značaj prognoze kinetičkog rezultata procesa luženja u industrijskim uslovima. Takođe, određena je linearna zavisnost Arrhenijus-ovog parametra A u odnosu na aktivacionu energiju  $\log A = f(E)$  sa  $R^2 = 0,999$  što je ukazalo da ova zavisnost može da se smatra potencijalnim kompenzacionim efektom istraživanih sistema.

Ovo poglavlje u disertaciji kompletno je publikovano pod istim nazivom u časopisu Chemical Engineering Communications 197(12)(2010)1485-1499. (SCI – IF = 0,913 ; 69/134 – 2010).

U trećem poglavlju, korišćenjem ideje predhodnog rezultata i definisane kompenzacione zavisnosti  $\log A = f(E)$  za proces luženja različitih tipova boksita, razvijen je originalni postupak modelovanja stepena izluženja boksita preko kompenzacionog efekta koji omogućuje da se na osnovu kinetičkih parametara dobijenih kod luženja čistih tipova boksita predvide stepeni izluženja njihovih mešavina. Shodno tome, zaključeno je da ovako definisani pristup modelovanju može biti koristan pokazatelj u Bayer-ovoj tehnologiji dobijanja glinice za izračunavanje stepena izluženja  $Al_2O_3$  iz različitih tipova boksita.

Rezultat ovog poglavlja takođe je u celosti pod istim nazivom publikovan u časopisu Canadian Metallurgical Quarterly 49(2010) 209-218 (SCI – IF = 0,400 ; 44/73 -2010)

U trećem poglavlju korišćena je formirana baza podataka u industrijskim uslovima odvijanja procesa luženja po Bayer-ovoj tehnologiji u fabrici glinice Birač- Zvornik (Bosna i Hercegovina) tokom 2008 i 2009. godine ( input parametri u proces luženja i output parametar: stepen izluženja  $Al_2O_3$  pri datim uslovima). Korišćenjem metode multilinearne regresione analize izvršeno je modelovanje u cilju definisanja zavisnosti stepen izluženja  $Al_2O_3 = f(\text{input parametari: koncentracija } Na_2O_k \text{ u lužnom rastvoru, kaustični odnos rastvora na početku luženja, sadržaj vlage u boksitu, sadržaj } Al_2O_3 \text{ u boksitu, sadržaj } SiO_2 \text{ u boksitu, sadržaj } Fe_2O_3 \text{ u boksitu, sadržaj } TiO_2 \text{ u boksitu, sadržaj } CaO \text{ u boksitu, gubitak žarenjem i kaustični odnos rastvora na kraju luženja})$ . Statističkom analizom po metodi Forced- entry utvrđena je značajna kolinearnost podataka zbog čega je skup redukovan na nivo  $4\sigma$  gde je kroz šest iteracija po metodi Stepwise ostvaren koeficijent determinacije  $R^2 = 0,759$ . Kod Stepwise metode u konačnom modelu došlo je do redukcije prediktora – izbačen je uticaj : koncentracije  $Na_2O$  u lužnom rastvoru, sadržaja  $Al_2O_3$  u boksitu, sadržaja  $TiO_2$  u boksitu i gubitak žarenjem, zato što je njihov uticaj na output procesa zanemarljiv u odnosu na druge razmatrane prediktore.

Kompletna tekst ovog poglavlja pod istim nazivom publikovan je u časopisu: Journal of Mining and Metallurgy, Section B:Metallurgy, 46(2)(2010)161-169. ( JCR , IF= 1, 293 ; 12/74 – 2010)

U petom poglavlju korišćene su metode nelinearne regresione analize u cilju definisanja matematičkog modela stepena izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3 = f(\text{input parametri})$ . Definisana je arhitektura ANN-a sa jednim skrivenim slojem koji sadrži 11 neurona. Proces modelovanja sastojao se od faze treniranja i faze testiranja ovako definisane arhitekture ANNs gde je u model uzeto u obzir svih 11 prediktora.

Nelinearna ANN procedura predviđa stepen izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sa dobrom tačnošću jer je ostvren koeficijent determinacije  $R^2 = 0,723$  u fazi testiranja modela. Definisani elementi ANN strukture mogu se generalno primeniti na uslove u bilo kojoj fabrici koja koristi Bayer-ovu tehnologiju za proizvodnju glinice.

Tekst ovog poglavlja u celosti pod istim nazivom predat je za publikovanje u časopisu: Journal of the Serbian Chemical Society, ( JCR – IF = 0,820 ; 87/140 – 2010).

U poslednjem šestom poglavlju dobijeni rezultati se upoređuju sa rezultatima iz literature (predhodna istraživanja sa jasno definisanim doprinosima koji su ostvareni). U ovom poglavlju ističu se ostvareni osnovnu naučni doprinosi i oni koji se mogu koristiti u praksi. Takodje, jasno se ukazuju mogući pravci daljeg istraživanja koji u ovom slučaju ukazuju na modelovanje iz logike kompenzacionog efekta koji očigledno ne može biti ignorisan. Sistem luženja različitih tipova boksita je pogodan za ispitivanja ove vrste, ali može biti korišćen i kod drugih sistema.

### **3. OCENA DISERTACIJE**

#### **3.1. Savremenost, originalnost i značaj**

Modelovanje pojedinih tehnoloških procesa u cilju predviđanja ishoda – autput procesa u novije vreme postaje sve aktuelnije, pre svega sa aspekta upravljanja parametrima tehnoloških procesa u cilju postizanja željenih ishoda. Modelovanje se vrši na osnovu rezultata dobijenih u laboratorijskim uslovima ili na osnovu rezultata dobijenih u industrijskim uslovima odvijanja procesa. U drugom slučaju, zbog većeg rasipanja rezultata kod modelovanja se koriste savremeni statistički alati medju kojima najčešće metode multilinearne regresione analize kao i metode nelinearne regresione analize gde značajno mesto zauzimaju veštačke neuronske mreže.

Bayer-ov proces dobijanja glinice iz boksita je jedna od najsloženijih tehnologija koja se u industrijskim uslovima koristi sa kapacitetima od preko 600.000 t glinice godišnje, što predstavlja poseban izazov za upravljanje brojnim procesima koji su sukcesivno primenjeni u ovoj tehnologiji. Proces luženja, prvi u tehnološkom nizu Bayer-ove tehnologije istovremeno je najsloženiji za upravljanje, jer veliki broj inputa utiče na rezultat luženja, izmedju ostalog tipovi ulazne sirovine – boksita od kojih u najvećoj meri zavisi autput luženja – stepen izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Od upravljanja u ovoj fazi Bayer-ove tehnologije zavisi upravljanje u narednim fazama koje se kontinuirano nastavljaju. Zbog ovih činjenica, vrše se pokušaji matematičkog modelovanja zavisnosti stepena izluženja

$\text{Al}_2\text{O}_3$  od input parametara procesa. Takođe, isti principi koriste se za modelovanje u ostalim fazama ove tehnologije .

U disertaciji se u prvoj fazi vrši modelovanje zavisnosti stepena izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  od vremena i temperature  $\alpha = f(t, T)$  za različite tipove boksita: hidrargilita, bemita i dijaspora kao i njihove prirodne mešavine (koje se sreću u ležištima) hidrargilit- bemit i bemit- dijaspor. Na osnovu izračunatih vrednosti energija aktivacije procesa i modela koji se koristi za linearizaciju eksperimentalnih izoterma  $\alpha = f(t)$  za različite temperature definisani su limitirajući parametri na brzinu procesa, čijim se upravljanjem de facto najviše utiče na upravljanje procesom u celini. Dobijeni rezultati omogućili su razradu originalne ideje u definisanju zavisnosti energije aktivacije od gustine minerala nosioca aluminijumoksida u boksitu , kao i kompenzacione zavisnosti Arrhenius-ovog predeksponencijalnog parametra A od energije aktivacije  $\log A = f(E)$ . Ova ideja otvorila je mogućnost originalnog postupka razvoja modela koji omogućuje da se definiše stepen izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  za mešavinu boksita ako se znaju kinetički modeli za luženje čistih boksita.

U disertaciji, pored navedenih istraživanja u laboratorijskim uslovima gde su ostvareni veliki stepeni fitovanja sa dobijenim rezultatima, u drugom delu rada korišćeni su podaci iz industrijske proizvodnje u fabrici glinice Birač u Zvorniku – Bosna i Hercegovina, tokom 2008 i 2009. godine. Napremljen je statistički skup od oko 700 kompleta podataka koji je redukovao na 660 sa kompletnim validnim vrednostima traženih inputa parametra u procesu luženja i outputa procesa – stepena izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Modelovanje je imalo za cilj da definiše zavisnost stepena izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3 = f(\text{input parametara})$  sa što većim stepenom fitovanja. Za rešenje ovog problema korišćene su metode multilinearne regresione analize i metode nelinearne regresione analize – veštačke neuronske mreže (Artificial Neural Networks – ANNs).

U fazi primene multilinearne regresione analize korišćen je skup od 300 podataka za 2008. godinu kada je prvo primenom Forced- entry metode utvrđena značajna kolinearnost među vrednostima, pa je primenom Stepwise metode kroz šest iteracija i svodjenje statističkog skupa na nivo  $4\sigma$ , (skup redukovao na 245 elemenata) sa  $\text{VIP} > 2$  i  $p < 0,05$  . U ovoj fazi treninga modela definisana je zavisnost stepena izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  od najznačajnijih prediktora sa  $R^2 = 0,764$ . Ovako definisan model testiran je u procesu validacije sa 330 podataka iz 2009. godine gde je postignuta vrednost  $R^2 = 0,759$ . Dobijeni rezultat ukazuje da je validacijom definisanog multilinearne modela za predviđanje stepena izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  iz boksita- Y u industrijskim uslovima Bayer-ovog procesa u fabrici glinice Birač u Zvorniku, dosledno opisuje 75,9% varijanse zavisnosti Y od razmatranih prediktora – input procesa.

Primenom nelinearnih modela za definisanje zavisnosti stepena izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  iz boksita korišćen je model veštačkih neuronskih mreža, u kome je definisana odgovarajuća struktura ANN sa jednim skrivenim slojem i 11 neurona u skrivenom sloju. Proces modelovanja vršen je u dve faze, u fazi treninga mreže korišćeno je 70% nasumice odabranih iz skupa raspoloživih podataka za 2008 i 2009. godinu, a za testiranje mreže preostalih 30% podataka. Konačni model ostvaruje  $R^2 = 0,723$  sa svim

razmatranim prediktorima sa razlikama koje se ostvaruju od – 3,20 do + 2,25, što se za industrijske uslove može smatrati sasvim pouzadim rezultatom.

Za modelovanja koja su vršena u ovom radu korišćena je softver aplikacija SPSS v.18 .

### **3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu**

U toku izrade ove disertacije korišćeno je preko 100 literaturnih izvora uglavnom članaka iz časopisa sa IF novijeg datuma i referentne knjige iz ove oblasti. Korišćena literatura je adekvatna, pokriva istraživanu problematiku, savremena je i uglavnom obrađuje radove autora koji obeležavaju ovu oblast svojim referencama i citatima zadnjih desetak godina.

Najvažnije reference koje su direktno podstakle istraživanja, nalaze se u radovima iz oblasti modelovanja tehnoloških procesa i modelovanja pojedinih faza iz Bayer-ove tehnologije dobijanja glinice, među kojima su najznačajnije sledeće reference:

1. Bao, L., Nguyen, A.V., (2010) Developing a physical consistent model for gibbsite leaching kinetics, Hydrometallurgy, 104: 86-98.
2. Habachi, F., (2009) Recent trends in extractive metallurgy, Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, 45(1)B: 1-13.
3. Chelgani, S.C., Jorjani, E., (2009) Artificial neural network prediction of  $Al_2O_3$  leaching recovery in the Bayer process – Jajarm alumina plant (Iran), Hydrometallurgy, 97:105-110.
4. Hu, B., Wingate, C., Smith, P., (2009) The effect of surface area on the modelling on quartz dissolution under conditions relevant to the Bayer process, Hydrometallurgy, 98:108-115.
5. Živković, Ž., Mihajlović, I., Nikolić, Dj., (2009) Artificial neural network applied on the non linear multivariate problems, Serbian Journal of Management, 4(2):143-156.
6. Dreyfus, G., (2004) Neural networks, Methodology and applications, Springer – Verlag, Berlin
7. Živković, Ž., Mihajlović, I., Djurić, I., Štrbac, N., (2010) Statistical modeling of the industrial sodium aluminate solutions decomposition process, Metallurgical and Materials Transactions B., 41:1116-1122.
8. Smiljanić, R., Lazić, D., Gligorić, M., Jotanović, M., Živković, Ž., Mihajlović, I., (2011) Modelling of the process of  $Al(OH)_3$  crystallization from industrial sodium aluminate solutions using artificial neural networks, Journal of the Serbian Chemical Society, 76:
9. Liu, D., Yuan, Y., Liao, S., (2009) Artificial neural networks for optimization of gold-bearing slime smelting, Expert Systems with Applications, 36: 10397-10400.

### **3.3. Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost**

Za uspešnu realizaciju ciljeva istraživanja i potvrđivanje postavljenih hipoteza u doktorskoj disertaciji korišćene su adekvatne eksperimentalne metode istraživanja, te

opšte i posebne metode logičkog rasudjivanja i definisanja naučnih saznanja. Od opštih metoda naučnog istraživanja korišćene su metode: analiza i sinteza, apstrakcija i konkretizacija, generalizacija i specifikacija, komparacija, induktivno i deduktivno zaključivanje. Od eksperimentalnih metoda korišćena je standardom usvojena metoda za izvođenje laboratorijskog eksperimenta luženja boksita rastvorom NaOH, a za određivanje faznog sastava metode X-Ray analize i simultane DTA-TG-DTG analize na uređajima novije generacije poznatih proizvođača. Za određivanje hemijskog sastava pojedinih komponenata korišćene su standardizovane metode koje se koriste u laboratoriji fabrike glinice u Zvorniku. Svi eksperimenti izvedeni u ovoj laboratoriji koja je sertifikovana u skladu sa ISO standardima. Obrada kinetičkih rezultata vršena je po opšte prihvaćenoj metodi Charp-a.

Za modelovanje procesa korišćene su metode multilinearne regresione analize i metode nelinearne regresione analize – veštačke neuronske mreže uz korišćenje licencirane softverske aplikacije SPSS verzija 18.

Može se oceniti da su primenjene metode za izvedena ispitivanja u ovoj doktorskoj disertaciji adekvatne za datu vrstu istraživanja, da su savremene i da ih koriste u istraživanjima ostali istraživači u svojim najnovijim publikacijama u časopisima sa impakt faktorom.

### **3.4. Ocena primenljivosti i verifikacije ostvarenih rezultata**

Svi rezultati dobijeni u ovoj disertaciji su inspirisani proizvodnom praksom, uradjeni su u laboratoriji u industrijsom pogonu, a brojni rezultati u izradi aplikativnog modela preuzeti su takodje iz proizvodne prakse u fabrici za proizvodnju glinice u Zvorniku. Na osnovu ovih činjenica, rezultati dobijeni u ovoj disertaciji su primenljivi u proizvodnoj praksi proizvodnje glinice po Bayer-ovom postupku gde se prva faza u postupku – proces luženja može uspešno pratiti i upravljati rezultatom procesa – stepenom izluženja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  iz boksita koji predstavlja jedan od ključnih pokazatelja u ukupnom upravljanju procesom proizvodnje glinice. Validacija definisanog modela u disertaciji na osnovu podataka iz 2008 i 2009. vršena je tokom 2010. godine u ovoj fabrici, pri čemu su dobijeni rezultati na istom nivou  $R^2$  kao i fazi testiranja modela.

### **3.5. Ocena sposobnostio kandidata za samostalni naučni rad**

Kroz uradjenu doktorsku disertaciju kao i učešćem u izradi i publikovanju radova izvan doktorske disertacije (dva rada u časopisima sa IF) i četiri rada u časopisima sa IF kao delova doktorske disertacije, ukazuje da je kandidat osposobljen za samostalni naučni rad. Komisija takodje ocenjuje da je kandidat pored nesporne osposobljenosti za samostalni naučni rad osposobljen i za učešće u timskom radu što je bitna odrednica u savremenom naučno-istraživačkom radu. Dosadašnji naučni rezultati, pre svega publikacije u časopisima sa IF ukazuju da kandidat Isidora Milošević obećava nove naučne rezultate koji će prevazići do sada ostvarene tokom izrade doktorske disertacije.

## 4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

### 4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Osnovni naučni doprinos koji je kandidat Isirora Milošević ostvarila kroz ovu doktorsku disertaciju sastoji se u sledećem:

- Definisani su kinetički modeli zavisnosti  $\alpha = f(t, T)$  i određeni kinetički parametri  $A$ ,  $E$  i  $k$ , za luženje različitih tipova boksita: hidrargilita, bemita i dijaspora kao i njihovih mešavina: hidrargilitno- bemitnog i bemitno-dijaspornog tipa boksita.
- Definisana je originalna zavisnost energije aktivacije procesa luženja od gustine minerala u kojima se nalazi aluminijum u boksitu, što daje mogućnost prognoze kinetičkih parametara za bilo koju mešavinu boksita. Ovaj rezultat daje mogućnost boljem inženjerskom upravljanju brzinom procesa luženja boksita u industrijskim uslovima odvijanja procesa.
- Definisana je zavisnost  $\log A = a.E + b$  za sistem luženja različitih tipova boksita, poznata u literaturi kao kompenzacioni efekat. Definisani kompenzacioni efekat u ovom sistemu se ne može ignorisati što je otvorilo kandidatu novo područje istraživanja – modelovanje iz definisane zavisnosti kompenzacionog efekata u proučavanom sistemu.
- Definisan je novi pristup modelovanju u sistemima sa kompenzacionim efektom, kakav je ispitivani sistem u ovom radu, koji omogućuje izračunavanje stepena izluženja bilo kog tipa boksita ako su poznate kinetičke zavisnosti za čiste boksite. Ostvreni  $R^2$  u ovom pristupu modelovanja je 0,99. Shodno tome, može se zaključiti da ovako definisani pristup modelovanju, može da se koristi kao pouzdani alat za predviđanje stepena izluženja  $Al_2O_3$  u Bayer-ovom procesu dobijanja glinice tokom luženja različitih vrsta boksita.
- Definisan je multilinear model zavisnosti stepena izluženja  $Al_2O_3$  od input parametara u procesu luženja na osnovu podataka iz industrijske prakse u fabrici glinice u Zvorniku za 2008 i 2009 . godinu sa  $R^2 = 0,764$  . U modelu su ušli samo inputi koji imaju najveći uticaj na pokazatelji procesa.
- Korišćenjem pogodno definiane arhitekture veštačke nauronske mreže definisan je nelinearni model zavisnosti stepena izluženja od svih prediktora sa  $R^2 = 0,723$  , koji je u procesu validacije potvrđen sa istim koeficijentom determinacije.

### 4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Uradjenu doktorsku disertaciju karakterišu veliki broj eksperimentalnih laboratorijskih podataka kao i podataka iz dvogodišnjeg kontinuiranog rada fabrike glinice u Zvorniku. Realno je očekivati da će rezultati, kako teorijski tako i praktični biti dopunjavani tokom vremena sa novim odnosima u boksitnoj šarži u fabrici glinice u Zvorniku, ili nekoj drugoj fabrici u cilju daljeg usavršavanja i dopuna definisanih modela.

### 4.3. Očekivana primena rezultata u praksi

Rezultati do kojih je kandidat došao u ovoj disertaciji su praktično primenljivi. Njihova primena zavisi od pristupa ljudi koji trenutno upravljaju organizacijom i procesima u fabrici glinice u Zvorniku na čijem primeru je model i definisan. Iskustva pokazuju da postoje epizode povećanog interesa za prezentirane rezultate i epizode kada ovi interesi izostaju.

### 4.4. Verifikacija naučnih doprinosa kroz objavljene radove u časopisima

Kvalitet i verifikacija doktorske disertacije u skladu sa pozitivnim zakonskim odredbama u Srbiji i kriterijumima Univerziteta u Beogradu, određuje se: ...''najmanje jednim publikovanim radom iz disertacije u časopisima sa IF gde bi kandidat po pravilu trebalo da bude prvi autor''. U predmetnoj doktorskoj disertaciji koja sadrži šest poglavlja, četiri kompletna poglavlja sa istim nazivima kandidat Isidora Milošević (rođena Djurić) publikovala je u časopisima sa impakt faktorom od toga, dva časopisa se nalaze na SCI listi, dva na JCR sa respektabilnim vrednostima IF i pozicijom u datoj oblasti, na svim radovima kandidat je prvi autor. Ove činjenice ukazuju da je kandidat ostvario i verifikovao zahtevani naučni doprinos u svojoj doktorskoj disertaciji. Iz disertacije, kao deo disertacije publikovani su sledeće radovi:

1. **I.Durić, I.Mihajlović, Ž.Živković, R.Filipović,(2010) Modeling the compensation effect for different bauxite types leaching in NaOH solution, *Chemical Engineering Communications*, 197(12): 1485-1499.  
( ISSN: 0098-6445; SCI – IF = 0,913 (2010) rang: 69/134)**
2. **I.Djurić, I.Mihajlović, Ž.Živković, Kinetic modelling of different bauxite types in the Bayer laching process, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 49:209-218.  
( ISSN: 0008-4433; SCI – IF = 0,400 (2010) rang: 44/73)**
3. **I.Djurić, P.Djordjević, I.Mihajlović, Dj.Nikolić, Ž.Živković,(2010) Prediction of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> leaching recovery in the Bayer process using statistical multilinear regresion analysis, *Journal of Mining and Meztallurgy, Section B:Metallurgy* , 46(2)B:161-169 ).  
**ISSN: 1450-5339; JCR – IF = 1,295 (2010); rang: 12/73)****
4. **I.Djurić, I.Mihajlović, Ž.Živković, D.Kešelj (2011) Artificial neural network predicrtion of the aluminium extraction from bauxite in the Bayer process, *Journal of Serbian Chemical Society*, (submitid),  
( ISSN: 0352-5139; JCR – IF 0,823 (2010) rang: 87/140)**

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

U disertaciji kandidata Isidore Milošević (rođene Djurić) urađjen je veći broj originalnih rezultata koji čine nadgradju dosadašnjih rezultata koji su navedeni u referentnoj literaturi novijeg datuma. Dato je nekoliko originalnih pristupa kao na primer modelovanje stepena izluženja iz modela kompenzacionog efekta za proučavani sistem luženja različitih tipova boksita rastvorom NaOH, što otvara nova područja za modelovanje brzina odvijanja brojnih heterogenih procesa kod složenih sistema sa promenljivim sastavom.

Publikovani rezultati iz doktorske disertacije u respektibilnim časopisima sa SCI liste (dva rada) i JCR sa zavidnim rangom u njihovim oblastima (dva rada), na najbolji način potvrđuju nivo ostvarenih rezultata kandidata u ovome radu.

Na osnovu pregledane doktorske disertacije, Komisija za ocenu urađjene doktorske disertacije, zaključuje da kandidat Isidora Milošević (rođena Djurić) ispunjava sve zakonske i ostale uslove za odbranu urađjene doktorske disertacije. Takodje, Komisija zaključuje da je urađjena doktorska disertacija napisana prema svim standardima o naučno-istraživačkom radu kao i da ispunjava sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, Standardima za akreditaciju kao i Statutom Tehničkog fakulteta u Boru Univerziteta u Beogradu.

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehničkog fakulteta u Boru da prihvati pozitivan izveštaj o urađjenoj doktorskoj disertaciji kandidata Isidore Milošević (rođene Djurić) pod nazivom : *''Modelovanje procesa luženja boksita u cilju predviđanja stepena izluženja  $Al_2O_3$ ''*, i da isti uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti Tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, a da nakon toga kandidata pozove na javnu odbranu.

U Boru, 26.09.2011.

K O M I S I J A

Prof. Dr Živan Živković, red.prof – mentor  
Tehnički fakultet u Boru

Dr Ivan Mihajlović, docent, član  
Tehnički fakultet u Boru

Dr Vesna Brkić- Spasojević, docent  
Mašinski fakultet u Beogradu