

## UTICAJ FOTOKATALITIČKOG PREDTRETMANA KUKURUZNE KRUPICE NA PROIZVODNJU BIOETANOLA

Aleksandar Savić, Blanka Škipina, Vanja Jakanović, Đorđe Marinković, Ana Velemir,  
Maja Stojković

Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 73, 78000  
Banja Luka, Bosna i Hercegovina, aleksandar.savic@tf.unibl.org

### SAŽETAK

Bioetanol se može dobiti iz raznih biorazgradivih sirovina, a jedna od jeftinijih sirovina je kukuruzna krupica (*Zea mays* L.). Najvažnije, a istovremeno i najduže operacije u toku dobijanja bioetanol iz kukuruzne krupice su enzimaska hidroliza i fermentacija, a na dužinu trajanja ovih operacija može se uticati primjenom raznih predtretmana. Cilj ovog rada je ispitivanje uticaja fotokatalitičkog predtretmana kukuruzne krupice, sa i bez dodatka  $\text{TiO}_2$ , na fermentaciju bioetanol, uz korištenje SHF i SSF postupaka fermentacije. Fermentacija je praćena 7 dana i veći intenzitet fermentacije dobijen je primjenom SHF procesa, a dodatak  $\text{TiO}_2$  je imao pozitivan uticaj i kod SSF i kod SHF postupaka (kod uzoraka obrađivanih UV zračenjem 180 i 240 minuta).

**Cljučne riječi:** fotokatalitički predtretman, kukuruzna krupica, fermentacija, bioetanol.

### UVOD

Kukuruz (*Zea mays* L.) sadrži preko 70% ugljenih hidrata, od čega najviše skroba, što ga čini veoma dobrom sirovinom za dobijanje bioetanol. Najznačajnija faza u tehnološkom postupku proizvodnje bioetanol od skrobnih sirovina je hidroliza skroba, čiji je osnovni cilj efikasna konverzija dvije polimerne komponente skroba, amiloze i amilopektina do fermentabilnih šećera koji se zatim mogu fermentisati do etanol. U procesu hidrolize moguće je primijeniti tri različita postupka: kiselinski, kiselinsko-enzimski i dvojno-enzimski (Pejin et al., 2012). Prevođenje skrobne sirovine u bioetanol može se provoditi na više načina, a najčešće se koriste ova dva postupka: nakon ošćerenja – odvojena hidroliza i fermentacija (eng. Separate Hydrolysis and Fermentation, SHF) ili istovremeno (simultano) hidroliza i ošćerenje (eng. Simultaneous Saccharification and Fermentation, SSF). Iako je proces enzimske hidrolize tačno definisan, tokom pretvaranja nerastvorljivih granula skroba u polimerne fragmente i prevođenja u redukujuće šećere (saharifikacija), tokom SHF postupka često dolazi do pojave određenih problema vezanih za korištenje različitih optimalnih pH vrijednosti i temperatura za korištene enzime, što uzrokuje povećanje potrošnje energije i pomoćnih materijala koji se koriste za prečišćavanje hidrolizata (Lucyna, Zielonka, & Jaros, 2013). Međutim, ovaj problem bi se mogao prevazići korišćenjem procesa simultane saharifikacije i fermentacije (SSF). Međutim, uprkos ovim prednostima, postoje neki nedostaci korišćenja SSF-a, kao što su npr. različite optimalne temperature za djelovanje enzima:  $\alpha$ -amilaze i glukoamilaze i rast kvasca, što znači da uslovi koji se koriste u SSF-u ne mogu biti optimalni za oboje, enzime i kvasac (Ohgren, Bura, Lesnicki, Saddler, & Zacchi, 2007). Još jedno važno ograničenje tokom ovih procesa je stvaranje nepoželjnih taćaka grananja tokom uteñjavanja, kao što su  $\alpha$ -1,6-glikozidne veze (4-6%), koje se, takođe, moraju cijepati do potpune hidrolize. Međutim, na njih ne djeluje enzimski kompleks, jer je većina hidrolitićkih enzima specifićna za  $\alpha$ -1,4-glikozidne veze (Collares et al., 2012; Absar et al., 2009; Lesiecki, Bialas, & Lewandowicz, 2012). U cilju unaprjeđenja stepena iskorišćenja sirovina mogu se koristiti različiti predtretmani: kiselinama, bazama, upotrebom mikrotalasnog i ultrazvućnog zraćenja itd. O ovim postupcima se u stručnoj i naućnoj literaturi može naći dosta podataka. Međutim, fotokatalitićki predtretman spada u predtretmane koji nisu dovoljno istražen. Pojam fotokataliza odnosi se na proces u kojem se za aktiviranje katalizatora koristi elektromagnetno zraćenje, odnosno taj proces predstavlja kombinaciju hemijskih i katalitićkih reakcija u prisustvu elektromagnetnog zraćenja.

Titanijum(IV) oksid ( $\text{TiO}_2$ ) je predmet mnogih istraživanja zbog svojih poluprovodničkih i fotokatalitičkih svojstava. Nanočestice  $\text{TiO}_2$  su netoksične i imaju antimikrobno dejstvo i kao takve koriste se kao dodatak hrani, u lijekovima, kozmetici, ali i kao izbjeljivači. Pod uticajem UV zračenja talasnih dužina manjih od 387 nm (energijski gep  $\text{TiO}_2$  je 3,2 eV) dolazi do pobuđivanja  $\text{TiO}_2$ , tj. razdvajanja naelektrisanja pri čemu se formiraju parovi elektron-šupljina, odnosno radikali kao što su hidroksil radikal ( $\cdot\text{OH}$ ) i superoksid radikal ( $\text{O}_2\cdot^-$ ) koji su veoma reaktivni i dovode do degradacije supstance putem redoks reakcija (Goni-Ciaurritz, & Velaz, 2022; Oma Ibhaddon, & Fitzpatrick, 2013). U dostupnoj literaturi nema dovoljno podataka o korišćenju fotokatalitičkog predtretmana za dobijanje bioetanola. Međutim, mogu se naći podaci za transformaciju organskog otpada (Liu et al., 2013; Dumanli, & Onar, 2009; Kim et al., 2009; Kim, Ito, Murabayashi, & Kim, 1999) i složenih struktura kao što je lignoceluloza (Yasuda et al., 2011), ali je njego primjena u modifikovanju skrobnog materijala koji se koristi za proizvodnju bioetanola, veoma slabo opisana. López-Vásquez et al. (López-Vásquez, Cobo-Angel, & Convers-Sánchez, 2019) su ispitivali uticaj fotokatalitičkog predtretmana krompirovog skroba, uz dodatak  $\text{TiO}_2$  prije i poslije procesa želatinizacije, na dobijanje bioetanola. Oni su ustanovili da je fotokatalitički predtretman skratio dužinu trajanja bioloških reakcija i da proizvodnja bioetanola, uz pomoć ovog tretmana, može biti ekološki prihvatljiv proces. Na osnovu svega prethodno navedenog, cilj ovog rada bio je ispitivanje uticaja fotokatalitičkog predtretmana kukuruzne krupice, sa i bez dodatka  $\text{TiO}_2$ , na fermentaciju bioetanola, uz korištenje SHF i SSF postupaka fermentacije.

## **MATERIJAL I METODE**

### **Fotokatalitički predtretman**

Fotokatalitički predtretman kukuruzne krupice obavljen je prema djelimično modifikovanoj metodi prikazanoj u radu López-Vásquez et al. (2019): smjesa kukuruzne krupice (MladegsPak, BiH) i destilovane vode (17% w/w) miješana je 15 minuta na magnetnoj miješalici MM-540 (Tehtnica, Železniki, Slovenia). U smjesu kukuruzne krupice i vode dodano je 1%  $\text{TiO}_2$  - Titanijum(IV) oksid nanočestice, veličine 21 nm (Sigma-Aldrich, USA) i smješa je miješana dodatnih 15 minuta. Uzorci su izliveni u šire staklene sudove i zračeni su UV lampama na talasnoj dužini 365nm (UV-A zračenje), u trajanju od 120, 180 i 240 minuta, uz konstantno miješanje. Rastojanje između lampe i uzoraka bilo je oko 30 cm. Na isti način, ali bez dodatka  $\text{TiO}_2$ , pripremljeni su i kontrolni uzorci.

### **Enzimska hidroliza i fermentacija**

Nakon završenog fotokatalitičkog predtretmana, uzorci su podijeljeni na dva dijela i obavljani su SHF i SSF postupci:

#### **SHF**

U svaku suspenziju dodana je termostabilna  $\alpha$ -amilaza Termamyl 120L (Novozymes, Denmark) i  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  kao stabilizator enzima za hidrolizu. Nakon toga, izvršena je korekcija pH vrijednosti svake suspenzije, upotrebom 1 M NaOH ili 1 M HCl, na optimalnu pH vrijednost za  $\alpha$ -amilazu (6.0-6.5). Poslije miješanja suspenzije su stavljene u zagrijano vodeno kupatilo (80-90 °C) i podvrgnute hidrolizi (likvefakciji) u trajanju od 2 časa. Nakon toga, dobijeni hidrolizati su ohlađeni na 45 °C, dodan im je enzim glukoamilaza Dextrozyme (Novozymes, Denmark) i podešena pH vrijednost svake suspenzije na pH ~ 4.5. Sve suspenzije su stavljene u termostat na temperaturu od 45 °C. Nakon 19 h termostatiranja, sve tri suspenzije su prebačene u zagrijano vodeno kupatilo (60 °C), i izvršeno je dodatno ošećerenje u trajanju od 3 časa. Na kraju je izvršena provjera stepena ošećerenja Lugolovim rastvorom. Na kraju procesa, dobijeni hidrolizati su profiltrirani i ohlađeni na temperaturu od 30 °C. Uzorci ohlađeni na 30 °C prebačeni su u boce za fermentaciju (u 2 ponavljanja). U svaki uzorak zapremine 180-190ml dodano je 200mg/l hrane za kvasac VitaFerm® Ultra F3 (Erblsoh, Germany) i 600mg/l pekarskog kvasca (Alltech Fermin, Serbia). Na boce za fermentaciju postavljene su vrenjače; boce su izvagane i stavljene u termostat na 30 °C.

## **SSF**

U svaku suspenziju dodana je termostabilna  $\alpha$ -amilaza Termamyl 120L (Novozymes, Denmark) i  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  kao stabilizator enzima za hidrolizu. Nakon toga izvršena je korekcija pH vrijednosti svake suspenzije, upotrebom 1 M NaOH ili 1 M HCl, na optimalnu pH vrijednost za  $\alpha$ -amilazu (6.0-6.5). Poslije miješanja suspenzije su stavljene u zagrijano vodeno kupatilo (80-90 °C) i podvrgnute hidrolizi (likvefakciji) u trajanju od 2 časa. Djelimično hidrolizovani uzorci su profiltrirani, ohlađeni na 37 °C i pH vrijednost im je podešena na 4.5, te su prebačeni u boce za fermentaciju. U boce je dodana glukoamilaza Dextrozyme (Novozymes, Denmark), 600mg/l pekarskog kvasca (Alltech Fermin, Serbia) i 200mg/l hrane za kvasac VitaFerm® Ultra F3 (Erbilsoh, Germany). Na boce za fermentaciju postavljene su vrenjače; boce su izvagane i stavljene u termostat na 37 °C.

## **Praćenje dinamike procesa fermentacije**

Prije nego što je dodan u uzorak, kvasac je prethodno razmućen u toploj vodi i držan u termostatu na temperaturi 35-40 °C u trajanju od 20-30 minuta, da bi se izvršila njegova revitalizacija. Dinamika procesa fermentacije praćena je 7 dana na osnovu mjerenja mase tikvica svaka 24 h (Lakićević et al., 2018).

## **Metode analize**

Za potrebe rada korištene su slijedeće metode analize:

- Određivanje pH vrijednosti baždarenim pH-metrom HI-2211 (Hanna Instruments, USA);
- Određivanje sadržaja skroba po Ewers-u – polarimetrijska metoda (ISO 10520, 1997);
- Određivanje sadržaja etanola i metanola gasnom hromatografijom na instrumentu Clarus 680.

Perkin Elmer sa FID detektorom, pri čemu su korišteni: kolona Elite-Wax L 60 m, ID 0,32, DF 0.5, a kao interni standard acetonitril. Temperatura injektora i detektora bile su 250 °C, volumen uzorka bio je 0.5  $\mu\text{L}$ , a temperaturni režim 45 °C 2 min., 45 °C/min. do 245 °C i 1 min. na 245 °C. Ukupno dužina trajanja 7.44 min., a protok gasa nosača (azot) bio je 3ml/min. Jedan gram apsolutnog etanola, metanola i acetonitrila su stavljani u volumetrijsku bocu od 100 mL, a zatim je dodana destilovana voda do oznake od 100 mL. Tako su pripremljeni 1% (v/v) standardni rastvor etanola, metanola i interni standardni rastvor (acetonitril). Izračunat je relativni faktor odgovora (RRF) etanola i metanola na acetonitril.

Sve hemikalije korištene u radu bile su p.a.stepena čistoće.

## **REZULTATI I DISKUSIJA**

U kukuruznoj krupciji izmjereni polazni sadržaj skroba u sirovini bio je prilično visok (75,2%), što je omogućilo dobijanje visokog sadržaja etanola u gotovom proizvodu. Nakon fotokatalitičkog predtretmana i enzimске hidrolize sirovina, provedena je alkoholna fermentacija u trajanju od 7 dana. Kinetika procesa fermentacije praćena je mjerenjem promjene mase boca tokom fermentacije, i izražena je kao kumulativna masa ( $\Delta m$  (g/l)) oslobođenog  $\text{CO}_2$  u određenom vremenskom periodu. Proizvodnja  $\text{CO}_2$  tokom alkoholne fermentacije predstavlja indirektnu mjeru za potrošnju fermentabilnih šećera (Lakićević et al., 2018). Nakon završene fermentacije uzorci su analizirani i rezultati su prikazani u tabelama 1 i 2.

Tabela 1. Rezultati analize uzoraka, bez dodatka TiO<sub>2</sub>, nakon završene fermentacije.

Table 1. The results of the analysis of the samples, without the addition of TiO<sub>2</sub>, after the fermentation was completed.

Postupak/ Process	TiO <sub>2</sub> (1%)	Trajanje (min) Duration (min)	Δm (g/l) 7 dana/ 7 days	EtOH (vol%)	MetOH (vol%)
SSF	-	120	56.5	9.16	0.0014
SHF	-	120	81.14	9.33	0.00027
SSF	-	180	61.6	8.75	0.0004
SHF	-	180	75.1	9.48	0.00039
SSF	-	240	53.87	9.04	0.00021
SHF	-	240	73.94	9.58	0.00023

Tabela 2. Rezultati analize uzoraka, sa dodatkom TiO<sub>2</sub>, nakon završene fermentacije.

Table 2. The results of the analysis of the samples, with the addition of TiO<sub>2</sub>, after the fermentation was completed.

Postupak/ Process	TiO <sub>2</sub> (1%)	Trajanje (min) Duration (min)	Δm (g/l) 7 dana/ 7 days	EtOH (vol%)	MetOH (vol%)
SSF	+	120	49.97	8.14	0.00031
SHF	+	120	75.57	9.94	0.00079
SSF	+	180	63.27	9.32	0.00032
SHF	+	180	77.2	9.93	0.0008
SSF	+	240	57.47	8.56	0.00038
SHF	+	240	77.7	10.09	0.00084

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 1 može se primijetiti da je dužina dejstva UV zračenja uticala na dužinu trajanja fermentacije i na izmjereni sadržaj etanola, i da su veće vrijednosti promjene mase boca Δm (g/l) i sadržaja etanola (vol%) dobijene primjenom SHF postupka. Najveća promjena mase ostvarena je primjenom SHF postupka kod uzorka koji je obrađen UV zračenjem u trajanju od 120 minuta (Δm (g/l) = 81.14), a najmanja promjena mase ostvarena je primjenom SSF postupka kod uzorka koji je obrađen UV zračenjem u trajanju od 240 minuta (Δm (g/l) = 53.87). Najviši sadržaj etanola izmjeren je kod SHF postupka u uzorku koji je obrađen UV zračenjem u trajanju od 240 minuta (9.58 vol%), a najmanji kod SSF postupka u uzorku koji je obrađen UV zračenjem u trajanju od 180 minuta (8.75 vol%). Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 2 može se primijetiti da je dužina dejstva UV zračenja u kombinaciji sa dodatkom TiO<sub>2</sub> uticala na dužinu trajanja fermentacije i na izmjereni sadržaj etanola, i da su veće vrijednosti promjene mase boca Δm (g/l) i sadržaja etanola (vol%), kao i u eksperimentu bez korištenja TiO<sub>2</sub>, dobijene primjenom SHF postupka. Uopšteno gledajući, veći intenzitet fermentacije dobijen je primjenom SHF procesa, vjerovatno kao posljedica razlika između SSF i SHF postupaka (inhibicija enzima proizvodima koji nastaju tokom fermentacije), dok je TiO<sub>2</sub> pokazao pozitivan uticaj kod oba postupka (kod uzoraka obrađivanih 180 i 240 minuta). López-Vásquez et al. (2019) su ispitali uticaj fotokatalitičkog predtretmana krompirovog skroba, uz dodatak TiO<sub>2</sub>, na proizvodnju bioetanola SSF postupkom. Oni su ustanovili da je proizvodnja bioetanola bila veća kada su primijenili ovaj predtretman, a da su na produktivnost i prinos etanola mogli uticati OH<sup>-</sup> radikali nastali tokom fotokatalitičkog predtretmana. Ovi OH<sup>-</sup> radikali mogu uticati na strukturne promjene tokom zračenja i ubrzati razgradnju α-1,6-glikozidne veze, što ih čini podložnijim dejstvu enzima tokom saharifikacije (Sapkal, Shinde, Rajpure, & Bhosale, 2013). Takođe, López-Vásquez et al. (2019) su dobili slične vrijednosti za koncentraciju bioetanola kao i kod primjene standardnog dvojnog-enzimskog postupka, pa su efekat fotokatalitičkog predtretmana povezali sa skraćivanjem dužine trajanja SSF postupka, na približno 30 h. Yasuda et al. (2011) su ispitali uticaj TiO<sub>2</sub>-fotokatalitičkog predtretmana na biološku proizvodnju etanola iz lignoceluloznih sirovina i ustanovili su da TiO<sub>2</sub>-fotokatalitički predtretman nije uticao na dejstvo enzima celulaze i kvasca, pri čemu je znatno skraćena dužina trajanja bioloških reakcija (dejstvo enzima i kvasca). Pošto su ovi rezultati dobijeni bez upotrebe kiselina i alkalija, oni su, na kraju, zaključili da se radi o ekološki prihvatljivom procesu. U toku fotokatalitičkog predtretmana smješe kukuruzne krupice

(UV-A zračenje talasne dužine 365 nm u prisustvu TiO<sub>2</sub>) novonastali parovi elektron-šupljina, koji su odgovorni za proces degradacije, mogu se rekombinovati (elektron se vraća u valentnu zonu i nestaje par elektron-šupljina). U ovom slučaju ne dolazi do redoks reakcija, pri čemu se apsorbovana energija oslobađa u vidu toplote (Oma Ibhaddon, & Fitzpatrick, 2013). Proces rekombinacije je slučajan proces tako da je potrebno stvoriti optimalne uslove u kojima će vrijeme života elektron-šupljina para biti dovoljno dugo da dođe do stvaranja slobodnih radikala i hemijske reakcije sa smješom kukuruzne krupice.

## ZAKLJUČCI

U ovom radu je ispitivan uticaj fotokatalitičkog predtretmana kukuruzne krupice, sa i bez dodatka TiO<sub>2</sub>, na SHF i SSF postupke fermentacije bioetanola. Tok fermentacije je praćen 7 dana i veći intenzitet fermentacije dobijen je primjenom SHF procesa, a TiO<sub>2</sub> je pokazao pozitivan uticaj kod oba postupka (kod uzoraka obrađivanih 180 i 240 minuta). Takođe, primjenom SHF procesa nastalo je više etanola nego kod upotrebe SSF procesa. Rezultati dobijeni u ovom radu su obećavajući, ali je potrebno nastaviti istraživanja radi pronalaznja optimalne koncentracije i vrste fotokatalizatora, kao i radi optimizacije procesnih parametara.

## NAPOMENA

Rezultati prikazani u ovom radu dio su istraživanja u okviru projekta „Ultrazvučna i mikrotalasna obrada različitih sirovina i otpadaka u svrhu dobijanja bioetanola“ (Ugovor br. 19.032/961-111/19), koji finansira Ministarstvo za naučnotehnološki razvoj, visoko obrazovanje i informaciono društvo Republike Srpske u periodu od 2020-2021. godine.

## LITERATURA

- Absar, N., Zaidul, I.S.M., Takigawa, S., Hashimoto, N., MatsuuraEndo, C., Yamauchi, H., & Noda, T. (2009). Enzymatic hydrolysis of potato starches containing different amounts of phosphorus. *Food Chemistry*, 112(1), 57-62.
- Collares, R.M., Miklasevicius, L.V.S., Bassaco, M.M., Salau, N.P.G., Mazutti, M.A., Bisognin, D.A., & Terra, L.M. (2012). Optimization of enzymatic hydrolysis of cassava to obtain fermentable sugars. *Journal of Zhejiang University Science B*, 13(7), 579-586.
- Dumanli, O., & Onar, A.N. (2009). Activation of glassy carbon electrodes by photocatalytic pre-treatment. *Electrochimica Acta*, 54(26), 6438-6444.
- Goñi-Ciaurriz, L., & Vélaz, I. (2022). Antibacterial and degradable properties of β-cyclodextrin-TiO<sub>2</sub> cellulose acetate and polylactic acid bionanocomposites for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 216, 347-360.
- Kim, J.S., Ito, K., Murabayashi, M., & Ahn Kim, B. (1999). Pre-treatment of the photocatalyst and the photocatalytic degradation of trichloroethylene in the gas-phase. *Chemosphere*, 38(13), 2969-2978.
- Kim, G.G., Kang, J.A., Kim, J.H., Lee, K., Kim, S.J., & Kim, S.-J. (2007). Photocatalytic pre-treatment of acrylonitrile-butadiene-styrene polymer for electroless plating. *Scripta Materialia*, 56(5), 349-351.
- Lakićević, H.S., Karabegović, I.T., Nikolić, N.Č., Petrović, M.G., Djordjevic, S.A., & Lazić, L.M. (2018). The kinetics of alcoholic fermentation, phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of the wine obtained from plovdiva grape with the addition of aromatic herbs. *Advances technologies*, 7(2), 11-18.
- Lesiecki, M., Bialas, W., & Lewandowicz, G. (2012). Enzymatic hydrolysis of potato pulp. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 11(1), 53-59.
- Liu, C., Shi, W., Kim, M., Yang, Y., Lei, Z., & Zhang, Z. (2013). Photocatalytic pre-treatment for the redox conversion of waste activated sludge to enhance biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(18), 7246-7252.
- López-Vásquez, A.F., Cobo-Angel, M.I., & Convers-Sánchez, J.D. (2019). Effect of photocatalytic pretreatment of potato starch for bioethanol production using *Saccharomyces cerevisiae* during simultaneous saccharification-fermentation (SSF). *Revista Dyna*, 86(208), 251-256.

- Lucyna, S., Zielonka, R., & Jaros, L. (2013). The unconventional single stage hydrolysis of potato starch. *Polish Journal of Chemical Technology*, 15(3), 7-14.
- Öhgren, K., Bura, R., Lesnicki, G., Saddler, J., & Zacchi, G. (2007). A comparison between simultaneous saccharification and fermentation and separate hydrolysis and fermentation using steam-pretreated corn stover. *Process Biochemistry*, 42, 834–839.
- Omo Ibhad, A., & Fitzpatrick, P. (2013). Heterogeneous photocatalysis: recent advances and applications. *Catalysts*, 3, 189–218.
- Pejin, D.J., Mojović, Lj.V., Pejin, J.D., Grujić, O.S., Markov, S.L., Nikolić, S.B., & Marković, M.N. (2012). Increase in bioethanol production yield from triticale by simultaneous saccharification and fermentation with application of ultrasound. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 87(2), 170-176.
- Sapkal, R.T., Shinde, S.S., Rajpure, K.Y., & Bhosale, C.H. (2013). Photoelectrocatalytic hydrolysis of starch by using sprayed ZnO thin films. *Journal of Semiconductors*, 34(5), 53001.
- Yasuda, M., Miura, A., Yuki, R., Nakamura, Y., Shiragami, T., Ishii, Y., & Yokoi, H. (2011). The effect of TiO<sub>2</sub>-photocatalytic pre-treatment on the biological production of ethanol from lignocelluloses. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 220(2-3), 195-199.

## INFLUENCE OF PHOTOCATALYTIC PRETREATMENT OF CORNMEAL ON BIOETHANOL PRODUCTION

Aleksandar Savić, Blanka Škipina, Vanja Jokanović, Đorđe Marinković, Ana Velemir,  
Maja Stojković

University of Banja Luka, Faculty of Technology, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 73, 78000  
Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, [aleksandar.savic@tf.unibl.org](mailto:aleksandar.savic@tf.unibl.org)

### ABSTRACT

Bioethanol can be obtained from a variety of biodegradable raw materials, and one of the cheaper raw materials is cornmeals (*Zea mays*). The most important, and at the same time the longest operations during the production of bioethanol from corn grits are enzymatic hydrolysis and fermentation, and the duration of these operations can be influenced by the application of various pretreatments. The aim of this study was to investigate the effect of photocatalytic pretreatment of corn grits, with or without the addition of TiO<sub>2</sub>, on the fermentation of bioethanol, using SHF and SSF fermentation procedures. Fermentation was monitored 7 days and better results were obtained with SHF process, and the addition of TiO<sub>2</sub> had a positive effect in both SSF and SHF procedures (for samples treated for 180 and 240 minutes).

**Keywords:** photocatalytic pretreatment, cornmeal, fermentation, bioethanol.