

ZP HIBRIDNI KUKURUZ KAO SIROVINA ZA PROIZVODNJU BIOETANOLA ZP MAIZE HYBRIDS AS A RAW MATERIAL FOR THE BIOETHANOL PRODUCTION

Dr Milica RADOSAVLJEVIĆ*, Ljiljana MOJOVIĆ**, Marica RAKIN**, Marija MILAŠINOVIĆ*

*Institut za kukuruz „Zemun Polje“, Beograd- Zemun

**Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd

REZIME

Interesovanje za kukuruz kao etanol produkujuću biljku uzrokovano je energetsom krizom i obnovljeno je još početkom 1970-ih godina. Poslednjih desetak godina proizvodnja bioetanolu za gorivo je u sve većoj ekspanziji. Obnovljivost kukuruza kao sirovine i sve veća zagađenost životne sredine produktima nafte predstavljaju dva osnovna razloga da on postaje jedna od glavnih sirovina za proizvodnju energije.

Sagledavajući perspektivu razvoja istraživačkog rada na unapređenju korišćenja kukuruza za cilj ovog rada je postavljeno da se ispita kvalitet zrna i pogodnost ZP hibrida kukuruza različite genetičke osnove za proizvodnju bioetanolu. U radu su prikazani rezultati ispitivanja hemijskog sastava, fizičkih i fermentacionih karakteristika zrna odabranih ZP hibrida kukuruza.

Cljučne reči: bioetanol, ZP kukuruzni hibridi, hidroliza, fermentacija.

SUMMARY

The interest in maize as an ethanol producing plant was caused by the energetic crisis and restored as early as the beginning of the 1970s. The production of bioethanol as a fuel has been expanding for the last ten years. Renewability of maize as a raw material and growing environmental pollution by oil products represent two principal reasons for maize becoming one of the major raw materials for the energy production.

According to the insight into the development of the research work on the improvement of maize utilisation, the objective of the present study was set up. The objective was to observe grain quality and fitness of ZP maize hybrids of a different genetic background in order to use them in the bioethanol production. The results obtained on the chemical composition, physical and fermentable properties of grain of selected ZP maize hybrids were presented in this study.

Key words: bioethanol, ZP maize hybrids; hydrolysis, fermentation.

UVOD

Svetska potrošnja energije se konstantno povećava što je posledica globalnog industrijskog razvoja i demografske ekspanzije. Tako je, samo u toku prošlog veka svetska potrošnja energije povećana za oko 17 puta (Demirbas, 2007). Danas je očigledno da konvencionalni izvori energije, kao što su fosilna goriva ne mogu zadovoljiti rastuće energetske potrebe u svetu. Pored toga što su količine neobnovljivih (konvencionalnih) izvora energije ograničeni, ova goriva imaju negativno dejstvo na životnu sredinu pre svega zbog visoke emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. Korišćenje bioetanolu kao alternativnog izvora energije proizvedenog fermentacijom obnovljive biomase ima značajnih prednosti nad konvencionalnim gorivima koje se ogledaju u manjem zagađenju životne sredine tj. u smanjenoj emisiji CO₂, manjoj zavisnosti od uvoza fosilnog goriva za veliki broj zemalja sveta, mogućnostima razvoja ruralnih oblasti bogatih obnovljivom biomasom i otvaranju novih radnih mesta i dr. (Mojović i sar, 2007). Trenutna proizvodnja bioetanolu na svetskom nivou iznosi oko 50 miliona m³ godišnje i ona se konstantno povećava tako da se predviđa da će do 2025. godine dostići 120 miliona m³ godišnje (Berg, 2004, Licht, 2007). Veliki broj zemalja u svetu je postavio nacionalne planove vezane za proizvodnju i korišćenje bioetanolu kao alternativnog goriva (Henke et al, 2005; Burnes et al, 2005). Evropska Unija je usvojila direktive o proizvodnji i korišćenju biogoriva proizvedenih na obnovljivim sirovinama prema kojima se planira zamena oko 20% konvencionalnih goriva biogorivom u toku sledećih 15 godina (Directive 2003/30/CE European Commission 2003).

Bioetanol se može proizvoditi iz biomase koja sadrži šećere, skrob ili celulozu. Na industrijskom nivou su danas dominantna šećerne i skrobne sirovine i pored toga što se lignocelulozna biomasa smatra jednom od najperspektivnijih u bliskoj buduć-

nosti. U Srbiji se smatra da je kukuruz najpodesnija i najrasprostranjenija poljoprivredna kultura za proizvodnju bioetanolu jer se već duži niz godina stvaraju viškovi u odnosu na potrošnju (Mojović i sar, 2007). U 2008. godini je objavljeno da je u Srbiji proizvedeno oko 6-7 miliona tona kukuruza, a domaće potrebe iznose između 4 i 5 miliona tona (www.b92.net). Ovo pokazuje da postoji dovoljno domaćeg kukuruza da se zadovolje potrebe za ishranu (koje su prioritete) i viškovi koji se mogu usmeriti za proizvodnju biogoriva.

Cilj ovog rada bio je da se utvrdi i uporedi podobnost 5 domaćih hibrida kukuruza stvorenih u Institutu za kukuruz u Zemun Polju (ZP hibridi) za proizvodnju bioetanolu. Radi toga je ispitivan njihov sastav, fizičko-hemijske karakteristike kao i alkoholna fermentacija hidrolizata navedenih hibrida pomoću kvasca iz roda *Saccharomyces cerevisiae* var. *elipsoideus*, koji je u našim prethodnim ispitivanjima dao najviše prinose etanolu na sličnim supstratima (Rakin i sar, 2007).

MATERIJAL I METOD

Kukuruzno brašno ZP hibrida

U radu je korišćeno kukuruzno brašno 5 hibrida stvorenih u Institutu za kukuruz u Zemun Polju (ZP hibridi) i to: ZP-341, ZP-434, ZP-505, ZP-544 i ZP-704wx. Kukuruzno brašno je dobijeno primenom postupka suvog mlevenja na laboratorijskom mlinu (Perten Instruments, Švedska) za finu pripremu uzoraka (sito 0,5 mm).

Metode za utvrđivanje fizičkih i hemijskih karakteristika ZP hibrida

Na uzorcima odabranih hibrida kukuruza ispitivane su fizičke karakteristike klipa (dužina klipa, masa klipa, broj re-

dova, broj zrna, masa koćanke i masa zrna), fizičke karakteristike zrna (hektolitarska i apsolutna masa, gustina, indeks flotacije i apsorpcije vode, otpornost na mlevenje, udeo tvrde i meke frakcije endosperma i struktura zrna, odnosno sadržaj perikarpa, klice i endosperma), kao i hemijski sastav zrna (sadržaj skroba, proteina, ulja, celuloze i pepela). Sve u radu korišćene metode za određivanje kvaliteta zrna odnosno njegovih fizičkih karakteristika i hemijskog sastava detaljno su opisane u ranije objavljenom radu (Radosavljević i sar, 2001).

Hidroliza kukuruznog brašna

Pre izvođenja alkoholne fermentacije vršena je dvojni-enzimska hidroliza skrobne suspenzije uzoraka brašna do fermentabilnih šećera. Za hidrolizu su korišćeni komercijalni enzimski preparati koji su dobijeni od kompanije Novozymes iz Danske. Prva faza hidrolize, likvefakcija je vršena pomoću komercijalnog preparata termostabilne α -amilaze iz *Bacillus licheniformis* pod nazivom Termamyl® SC. Aktivnost ovog enzima je iznosila 133 KNU/g (KNU - Kilo Novo Jedinica α -amilaze). 1 KNU je količina enzima koja razgrađuje 5,26 g skroba u toku jednog časa. Druga faza hidrolize, saharifikacija, je izvođena pomoću SAN Extra® L glukoamilaze iz *Aspergillus niger* deklarisanе aktivnosti od 437 AGU/g (AGU je količina enzima koja hidrolizuje 1 μ mol maltoze po minuti pod specificiranim uslovima).

Hidroliza je vršena u laboratorijskim uslovima u vodenom kupatilu u sterilnim zatvorenim balonima pri definisanim uslovima temperature, pH, intenziteta mešanja (150 o/min) i količine enzima. Uzorci kukuruznog brašna su mešani sa vodom u odnosu 1:3 (60 g brašna i 180 ml destilovane vode). Suspenziji je dodavano 8,8 mg $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ na 10 g suspenzije radi aktivacije enzima i nekoliko kapi 1M NaOH ili H_2SO_4 radi podešavanja pH vrednosti. Likvefakcija je vršena na 85°C pri pH=6,0 u toku 1 h sa dodatkom enzima Termamyl® (0,002 ml na 10 g brašna), dok je saharifikacija vršena na 55°C i pH=5,0 u toku 4 h sa dodatkom enzima SAN Extra® L (0,016 ml na 10 g brašna) (Mojović i sar, 2006; Nikolić i sar, 2009).

Priprema inokuluma za fermentaciju

Za fermentaciju hidrolizata kukuruznog skroba korišćena je kultura *Saccharomyces cerevisiae* var. *elipsoideus* (iz kolekcije Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd), koja je održavana na kosom sladnom agaru čuvana na 4°C. Ova hranjiva podloga je sadržala sladni ekstrakt (17 g/l), pepton (3 g/l), agar (18 g/l) i vodu (do 1 l). Aktivacija i umnožavanje ćelija kvasca počinju presejavanjem ćelija na svežu podlogu kosog sladnog agara i inkubacijom u termostatu na temperaturi 30°C u toku 24 h. Nakon toga kvasac je sa kosog agara presejavan u balone (500 ml) sa sterilnom tečnom podlogom (sadrži iste komponente kao i čvrsta podloga osim agara) gde je aerobno gajen u toku 24 časa na vodenom kupatilu sa mućkanjem na 30°C, nakon čega je vršena separacija kulture pomoću laboratorijske centrifuge. Ovako dobijen kvasac korišćen je kao inokulum za zasejavanje balona sa pripremljenim hidrolizatima uzoraka kukuruznog brašna.

Alkoholna fermentacija hidrolizata kukuruznog brašna

Alkoholna fermentacija hidrolizata uzoraka kukuruznog brašna je izvođena anaerobno u zatvorenim sterilnim balonima smeštenim u vodeno kupatilo pri sledećim uslovima: pH=5,0; t=30°C; brzina mešanja, v=100 rpm. Pre početka fermentacije hidrolizat je obogaćen faktorima rasta (0,4 g/l MgSO_4 , 2 g/l

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i 4 g/l KH_2PO_4). Fermentacija je počinjala zasejavanjem podloge sa 2% inokuluma što odgovara početnoj koncentraciji kvasca od $0,1-0,8 \times 10^7$ ćelija kvasca. U toku fermentacije praćena je potrošnja supstrata (glukoze) i produkcija etanola, kao i broj ćelija kvasca.

Metode za praćenje hidrolize i fermentacije

U toku hidrolize i fermentacije u određenim vremenskim intervalima uzimani su uzorci u kojima je određivana koncentracija redukujućih šećera spektrofotometrijski po metodi sa 3,5-dinitrosalicilnom kiselinom (Miller, 1959). Apsorbancije uzoraka su merene na 570 nm pomoću spektrofotometra Ultrospec 3300 (Amersham Biosciences, Švedska), a sadržaj redukujućih šećera (glukoze) je određivan na osnovu prethodno definisane standardne krive. Pored toga, u toku fermentacije vršeno je određivanje koncentracije etanola i koncentracija biomase kvasca. Koncentracija etanola, izražena u težinskim %, je određivana merenjem gustine alkoholnih destilata uzoraka uzetih u toku fermentacije i korišćenjem standardnih tablica (Official Methods 923.03). Broj ćelija (CFU) u suspenziji je određivan standardnom tehnikom direktnog brojanja kolonija izraslih nakon inkubacije na Petri ploćama sa sladnim agarom na 30°C u toku 44 h (Nikolić i sar, 2009). Pri tom je prelićvanje Petri ploća vršeno sa tri razblaženja uzoraka (10^{-4} , 10^{-6} , 10^{-8}) i uzimana je srednja vrednost utvrđenog broja.

REZULTATI I DISKUSIJA

Fizičke i hemijske karakteristike ZP hibrida

U radu je analizirano 5 ZP hibrida: ZP 341, ZP 434, ZP 505, ZP 544 i ZP 704wx. Fizičke karakteristike klipa navedenih genotipova su date u tabeli 1. Tabela 2 i 3 prikazuju fizičke karakteristike zrna i strukturu zrna ZPHibrida, dok je hemijski sastav zrna prikazan u tabeli 4.

Tabela 1. Fizičke karakteristike klipa ZP hibrida kukuruza
Table 1. Ear Physical Properties of ZP Maize Hybrids

Hibrid Hybrid	Vlaga Moisture (%)	Dužina klipa Ear length (cm)	Masa klipa Ear mass (g)	Broj redova Row num- ber	Broj zrna Kernel num- ber	Masa koćanke Cob mass (g)	Masa zrna Kernel mass (g)
ZP 341	11,1	21,4	255,6	16,0	669,2	37,5	218,1
ZP 434	9,9	20,8	225,5	14,2	573,8	35,3	190,2
ZP 505	10,4	22,7	262,3	15,7	698,4	38,7	223,6
ZP 544	10,5	20,6	255,1	13,6	588,5	45,5	209,3
ZP 704wx	10,9	21,8	292,4	14,6	728,9	40,5	251,9

Tabela 2. Fizičke karakteristike zrna ZP hibrida kukuruza
Table 2. Kernels Physical Properties of ZP Maize Hybrids

Hibrid	HM	AM	G	IF	OM	TF	MF	IAV
ZP 341	797,6	319,3	1,25	57,7	11,0	64,9	35,1	0,223
ZP 434	794,1	308,6	1,23	81,1	9,2	62,5	37,5	0,226
ZP 505	849,9	305,6	1,28	0,6	15,1	71,1	28,9	0,212
ZP 544	801,3	323,1	1,25	52,4	10,5	61,5	38,5	0,195
ZP 704wx	780,7	319,2	1,25	53,7	10,4	65,7	34,3	0,243

* HM-hektolitarska masa (kgm^{-3})/test weight (kgm^{-3}); AM-apsolutna masa (g)/1000-kernel weight (g); G-gustina, ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)/density, ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); IF-indeks flotacije (%)/flotation index (%); OM-otpornost na mlevenje, (s)/milling response. (s); TF-tvrda frakcija, (%)/hard endosperm. (%); MF-meka frakcija, (%)/soft endosperm. (%); IAV-indeks apsorpcije vode/water absorption index.

Tabela 3. Struktura zrna ZP hibrida kukuruza
Table 3. Kernel Structure of ZP Maize Hybrids

Hibrid Hybrid	Perikarp Pericarp (%)	Klica Germ (%)	Endosperm Endosperm (%)
ZP 341	7,2	13,3	79,5
ZP 434	7,3	13,3	79,4
ZP 505	6,2	12,1	81,7
ZP 544	6,4	13,0	80,6
ZP 704wx	5,8	13,4	80,8

Tabela 4. Hemijski sastav zrna ZP hibrida kukuruza
Table 4. Kernel Chemical Composition of ZP Maize Hybrids

Hibrid Hybrid	Skrob Starch (%)	Protein Protein (%)	Ulje Oil (%)	Pepeo Ash (%)	Celuloza Cellulose (%)
ZP 341	69,00	9,57	6,28	1,12	2,34
ZP 434	69,96	9,20	5,52	1,38	2,56
ZP 505	71,99	9,38	6,48	0,97	2,26
ZP 544	73,48	9,12	6,56	1,37	2,32
ZP 704wx	74,13	10,30	5,71	1,51	2,26

Dobijeni rezultati su pokazali da se hektolitarska masa zrna ispitivanih hibrida kretala u rasponu od 780,7 kgm⁻³ (ZP 704wx) do 849,9 kgm⁻³ (ZP 505). Apsolutna masa i gustina zrna kretala se od 305,6 g i 1,23 gcm⁻³ kod hibrida ZP 505 i ZP 434 do 323,1g i 1,28 gcm⁻³ kod hibrida ZP 544 i 505. Indeks flotacije kao veoma značajan pokazatelj tvrdoće kretao se od 0,6 za ZP 505 do 81,1 za ZP 434. Otpornost na mlevenje je bila u rasponu od 9,2 s (ZP 434) do 15,1 s (ZP 505), dok se udeo tvrde i meke frakcije endosperma kretao od 61,5 odnosno 38,5 za ZP 544 do 71,1 odnosno 28,9% za ZP505. Indeks apsorpcije vode kod ispitivanih hibrida bio je u intervalu, od najnižeg 0,195 (ZP544) do najvišeg 0,243 (ZP 704wx). Udeo pojedinih fizičkih delova zrna ispitivanih hibrida kretao u sledećim intervalima: endosperm 79,4-81,7%, klica 12,10-13,4% i perikarp 5,8-7,3%. Osnovni hemijski sastav zrna ispitivanih hibrida bio je u sledećim intervalima: sadržaj skroba od 69,00 do 74,13%; ulja od 5,52 do 6,56%; proteina od 9,12 do 10,30%; celuloze od 2,26 do 2,56% i pepela od 0,97 do 1,51%.

Na osnovu ovako dobijenih rezultata može se zaključiti da se ispitivani ZP hibridi kukuruza razlikuju po svojim fizičkim karakteristikama i hemijskom sastavu zrna što pruža raznovrsne mogućnosti njihove primene. Rezultati ovih istraživanja ukazuju na veliki značaj ispitivanja priznatih hibrida kukuruza u pogledu hemijskog sastava i fizičkih karakteristika na osnovu kojih treba vršiti izbor odgovarajućih hibrida za određenu namenu.

Ispitivanje podobnosti ZP hibrida za proizvodnju bioetanola

Nakon dvojno enzimске hidrolize suspenzije kukuruznog brašna dobijeni uzorci hidrolizata pet navedenih ZP hibrida su podvrgnuti anaerobnoj fermentaciji pomoću kvasca *Saccharomyces cerevisiae* var. *elipsoideus* u cilju proizvodnje etanola. Pre početka fermentacije i nakon 20 i 34 časova fermentacije u uzorcima je određivan sadržaj etanola, sadržaj preostalih fermentabilnih izražen preko sadržaja glukoze i broj živih ćelija kvasca. Ovi rezultati su prikazani u tabeli 5.

Kao što se vidi iz tabele 5, u ispitivanim uzorcima je nakon 34 sati postignut sadržaj etanola između 7,22 i 8,32%. U svim uzorcima je u toku fermentacije evidentiran porast biomase kvasca, s tim što je on manje izražen na hidrolizatima hibrida ZP 505 i ZP 544. Nakon 34 sati fermentacije hidrolizata suspenzije kukuruznog brašna hibrida ZP 544 primećen je čak i trend op-

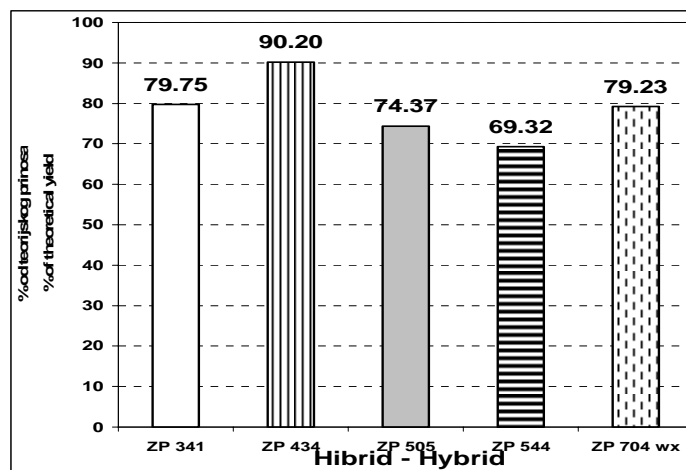
adanja koncentracije biomase, tj. broja živih ćelija kvasca što može ukazati na inhibiciju rasta (koja može biti rezultat prisustva određenih inhibitora u supstratu) ili na trend bržeg postizanja stacionarne faze nakon koje sledi faza umiranja ćelija u ovom šaržnom sistemu (tabela 5).

Tabela 5. Sadržaj etanola, koncentracija glukoze i broj živih ćelija kvasca tokom fermentacije hidrolizata suspenzije kukuruznog brašna pet ZP hibrida.

Table 5. Ethanol content, glucose concentration and a number of viable cells during the fermentation of corn meal hydrolysates of five ZP hybrids

Hibrid Hybrid	Vreme (h) Time (h)	Sadržaj etanola (%) Ethanol content (%)	Koncentracija glukoze (g/L) Glucose concentration (g/L)	Broj ćelija, CFU·10 ⁷ /g Viable cells, CFU·10 ⁷ /g
ZP 341	0	0	175,64	0,85
	20	5,15	50,49	6,40
	34	7,75	9,15	27,10
ZP 434	0	0	168,05	0,11
	20	5,25	55,50	6,50
	34	8,95	7,93	26,5
ZP 505	0	0	191,57	0,84
	20	3,98	85,34	6,85
	34	7,59	12,40	6,15
ZP 544	0	0	190,75	0,11
	20	4,47	38,81	15,5
	34	7,22	13,21	1,6
ZP 704wx	0	0	186,69	0,82
	20	4,10	85,12	1,9
	34	8,32	7,52	29,45

Na slici 1 prikazan je teorijski prinos etanola postignut nakon 34 sati fermentacije hidrolizata kukuruznog brašna ispitivanih uzoraka. Teorijski prinos etanola je računat na osnovu sadržaja skroba u ZP hibridima kukuruza i prikazan je u tabeli 5.



Sl. 1. Prinos etanola (u % od teorijskog prinosa) postignut nakon 34 sati fermentacije hidrolizata kukuruznog brašna ispitivanih uzoraka

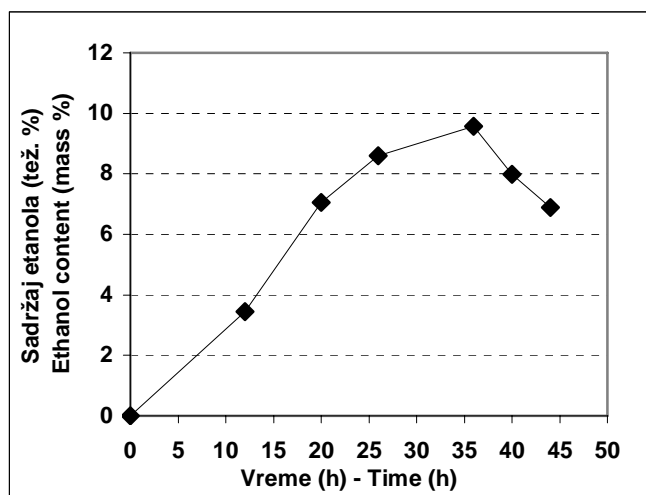
Fig. 1. Ethanol yield (in % of the theoretical yield) achieved after 36 hours of the fermentation of samples of corn meal hydrolysates

Kao što se vidi sa slike 1, najveći prinos etanola, izražen u % u odnosu na teorijski prinos računat na sadržaj skroba, nakon 34 sati fermentacije hidrolizata kukuruznog brašna ispitivanih uzoraka je postignut na uzorku ZP 434 i iznosio je 90,2%. Hibrid ZP 434 imao je najnižu gustinu i otpornost na mlevenje, kao i najniži indeks flotacije i sadržaj ulja. Najniži prinos etanola od

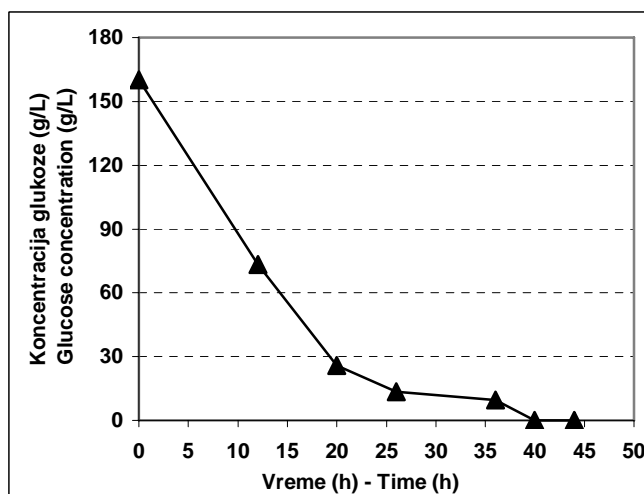
69,32% je postignut za hibrid ZP 544. Na kukuruznim hibridi ZP 704 i ZP 341 je postignut sličan prinos etanola od oko 79%. Pri tom je važno naglasiti da se ova dva hibrida naviše razlikuju u sadržaju skroba. Naime, najviši sadržaj skroba ima hibrid ZP 704wx (74,13- tabela 4), a najniži hibrid ZP 341 (69,00- tabela 4).

U daljim ispitivanjima praćena je kinetika alkoholne fermentacije hidrolizata suspenzije kukuruznog brašna hibrida ZP 434. Praćen je sadržaj etanola (slika 2), potrošnja fermentabilnih šećera (slika 3) i ćelijski rast (slika 4) u periodu od 44 sati fermentacije. Kao što se može uočiti sa slike 2, maksimalni sadržaj etanola od 9,56% (što odgovara 96% od teorijskog prinosa) je postignut nakon 36 sati fermentacije. Nakon toga dolazi do blagog pada koncentracije etanola što ukazuje na potrebu završetka procesa fermentacije nakon ovog vremena. Ovaj pad koncentracije etanola se može objasniti činjenicom da su u tom periodu već skoro potpuno potrošeni fermentabilni šećeri iz podloge (što se može uočiti sa slike 3) pa kvasac počinje da koristi etanol kao hranu. Sa slike 4 se može videti da se kvasac *Saccharomyces cerevisiae* var. *elipsoideus* u toku prvih 20 časova nalazi u fazi logaritamskog rasta, nakon čega sledi stacionarna faza koja traje do oko 36-tog časa fermentacije, kada počinje faza umiranja ćelija koja je uslovljena iscrpljivanjem šećera iz podloge i eventualno inhibicijom visokom koncentracijom etanola.

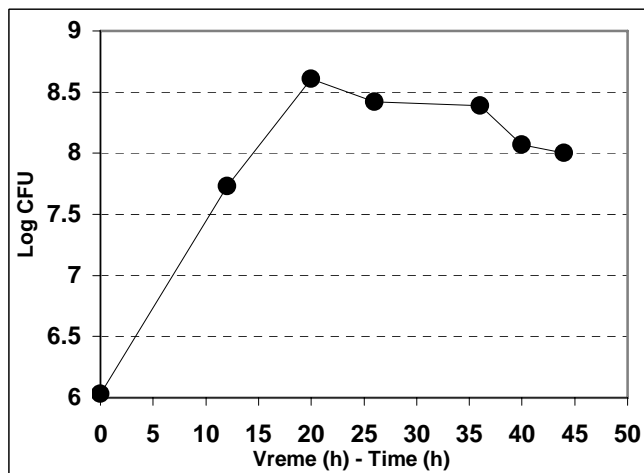
Ako se uporedi prinos etanola postignut na hidrolizatu kukuruznog brašna hibrida ZP 434 sa prinosima koje smo postigli u našim predhodnim istraživanjima na hidrolizatima uzoraka komercijalnog kukuruznog brašna ili kukuruzne krupica, a koji su se kretali od 76,79 do 92,35% (Radosavljević i sar, 2001; Nikolić et al, 2009), ili pak sa prinosima objavljenim u šaržnom postupku od strane drugih autora na hidrolizatima kukuruznog skroba, koji su bili ispod 90% (Bebić et al, 2000), može se konstatovati da je ovaj hibrid izuzetno pogodan za proizvodnju bioetnola. Budući da je prinos od 96% postignut na hidrolizatu brašna hibrida ZP 434 u šaržnom postupku u kome je primenjena odvojena hidroliza i fermentacija (tzv. SHF postupak), dalje povećanje produktivnosti proces može se očekivati primenom postupka simultane saharifikacije i hidrolize (tzv. SSF postupak) (Bebić et al, 2009) što će biti predmet naših daljih istraživanja.



Sl. 2. Kinetika proizvodnje etanola u toku fermentacije hidrolizata kukuruznog brašna hibrida ZP 434
Fig. 2. Kinetics of ethanol production during the fermentation of corn meal hydrolysate of ZP 434 hybrid



Sl. 3. Kinetika potrošnje šećera u toku fermentacije hidrolizata kukuruznog brašna hibrida ZP 434
Fig. 3. Kinetics of sugar consumption during the fermentation of corn meal hydrolysate of ZP 434 hybrid



Sl. 4. Kinetika rasta kvasca u toku fermentacije hidrolizata kukuruznog brašna hibrida ZP 434
Fig. 4. Kinetics of yeast growth during the fermentation of corn meal hydrolysate of ZP 434 hybrid

ZAKLJUČAK

U radu je ispitivana podobnost pet ZP hibrida kukuruza različite genetičke osnove (ZP 341, ZP 434, ZP 505, ZP 544 i ZP 704wx) za proizvodnju bioetnola kao ekološkog goriva. U tom cilju izvršena je analiza fizičkih karakteristika i hemijskog sastava navedenih hibrida kao i alkoholna fermentacija hidrolizata navedenih hibrida sa kvascem *Saccharomyces cerevisiae* var. *elipsoideus*.

Najveći prinos etanola od 90,2% od teorijskog prinosa (računat na sadržaj skroba) je postignut nakon 34 sati fermentacije hidrolizata kukuruznog brašna na uzorku ZP 434. Najniži prinos etanola od 69,32% od teorijskog prinosa je postignut na uzorku ZP 544. Na kukuruznim hibridima ZP 704wx i ZP 341 je postignut sličan prinos etanola od oko 79%. Pri tom je važno naglasiti da se ova dva poslednja hibrida naviše razlikuju u sadržaju skroba. Naime, najviši sadržaj skroba ima genotip ZP 704wx (74,13%), a najniži genotip ZP 341 (69,00%).

Daljim praćenjem kinetike fermentacije hidrolizata hibrida ZP 434, ustanovljeno je da se maksimalni sadržaj etanola od 9,56% (što odgovara 96% od teorijskog prinosa) postiže nakon

36 sati fermentacije. Nakon toga dolazi do blagog pada koncentracije etanola što ukazuje na potrebu završetka procesa posle 36-tog sata.

Ostvareni rezultati u ovom radu pokazuju da je hibrid ZP 434 izuzetno pogodan za proizvodnju bioetnola, pa će ga koristiti i u našim budućim istraživanjima.

NAPOMENA: Autori se zahvaljuju Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije koje je finansiralo ova istraživanja u okviru projekta: TR 18002 i TR 20114.

LITERATURA:

- [1] Demirbas A: Progress and recent trends in biofuels. *Prog Energ Combust* 33 (2007) p.1-18.
- [2] Mojović, L, Pejin, D. i Lazić, M, Bioetanol kao gorivo - stanje i perspektive, (Monografija), Tehnološki fakultet Leskovac, ISBN 978-86-82367-72-7, (2007) pp. 1-149.
- [3] Berg, C: World Fuel Ethanol Analysis and Outlook, The Online Distillery Network for Distilleries and Fuel Ethanol Plants Worldwide (2004) (<http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html>).
- [4] Licht, F.O: World ethanol production 2007 to hit new record, *World Ethanol and Biofuels Report*, 5(2007) (<http://www.agra-net.com/portal/>).
- [5] Henke, J, M, Klepper, G, Schmitz, N: Tax exemption for biofuels in Germany: Is bio-ethanol really an option for climate policy? *Energy*, 30 (2005) p. 2617-2635.
- [6] Burnes, E, Wichelns, D, Hagen, J.W: Economic and policy implications of public support for ethanol production in California's San Joaquin Valley, *Energy Policy*, 33 (2005) p. 1155-1167.
- [7] Rakin, M, Mojović, L, Nikolić, S, Vukašinović, M, Nedović, V: Comparative study of bioethanol production from corn hydrolyzates using different yeast preparations. In: *Proceedings of the 15th European Biomass Conference & Exhibition: From Research to Market Deployment*, CD edition, Berlin, Germany, May 2007, p. 58-63.
- [8] Radosavljević Milica, Božović Irina, Bekrić V, Jovanović R, Žilić Slađana, Terzić Dušanka: Savremene metode određivanja kvaliteta i tehnološke vrednosti kukuruza. *PTEP- časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi*, 5(2001)3, s. 85-88.
- [9] Mojović, L, Nikolić, S, Rakin, M, Vukasinović, M: Production of bioethanol from corn meal hydrolyzates, *Fuel*, 85(2006) p. 1750-1755.
- [10] Nikolić, S, Mojović, L, Rakin, M, Pejin, D: Bioethanol production from corn meal by simultaneous enzymatic saccharification and fermentation with immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*, *Fuel*, In press 2009. Available online 12 January 2009. doi:10.1016/j.fuel.2008.12.019
- [11] Miller, G.L, Use of dinitrosalicylic acid reagent for determining reducing sugars, *Anal. Chem.* 31 (1959) p.426-428.
- [12] Nikolić, S, Mojović, L, Pejin, D, Rakin M, Vučurović, V: Improvement of Ethanol Fermentation of Hydrolyzates of Corn Semolina by Immobilized *Saccharomyces cerevisiae* var. *elipsoideus* by Media Supplementation, *Food Technology and Biotechnology*, 47, No1 (2009) p. 83-89.
- [13] Official Methods 923.03. In: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 17th ed., Gaithersburg, MD, USA: AOAC International; 2000.
- [14] Bebić, Z, Jakovljević, J, Baras, J: The corn starch hydrolyzate as a fermentation substrates for ethanol production. *Hem Ind* 54 (2000) p.5-9.
- [15] Directive 2003/30/CE European Commission (2003).
- [16] <http://www.b92.net/biz/vesti/srbija.php>

Primljeno: 09.03.2009

Prihvaćeno: 15.03.2009.