

# KUKURUZ - OBNOVLJIV IZVOR ENERGIJE I PROIZVODA MAIZE - A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY AND PRODUCTS

Dr Milica RADOSAVLJEVIĆ  
Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd-Zemun

## REZIME

*Kukuruz je jedna od najznačajnijih prirodno obnovljivih ugljenohidratnih sirovina, energije i niza raznovrsnih proizvoda. Iako njegova uloga nije uvek sasvim jasna slobodno se može reći da je on veoma važan deo u skoro svim aspektima našeg svakodnevnog života počev od savremene i zdrave ishrane do održivog razvoja i zaštite životne sredine. Pored toga, ima i ogroman ekonomski značaj. U ovom radu je dat zbirni prikaz dosadašnjih dostignuća i kratak osvrt na stanje i perspektive budućeg razvoja korišćenja kukuruza u našoj zemlji i u svetu.*

**Cljučne reči:** kukuruz, energija, proizvodi, skrobarska, mlinarska i biotehnoška prerada.

## SUMMARY

*Maize is one of the most important naturally renewable sources of carbohydrate raw materials, energy and series of diverse products. Although its role is not completely clear yet it can be freely stated that it is a crucial part of almost all aspects of our daily life, starting from a contemporary and healthy nutrition to a sustainable development and protection of the environment. Furthermore, an economic importance of maize is enormous. A collective review of previous accomplishments and a brief retrospective view of the state and prospects of the maize utilisation development not only in our country but abroad too are presented in this paper.*

**Key words:** maize, energy, products, wet milling, dry milling and biotechnological processing.

## UVOD

Obistinile su se procene vodećih svetskih eksperata da kukuruz ne određuje proizvodnja nego njegova upotreba i da svaka nova upotreba dovodi do povećanja njegove cene. Svedoci smo da kukuruz ovih dana na svetskom tržištu postaje pravi hit. Glavni razlog za to su značajne promene u njegovoj potrošnji. Visoke cene nafte i globalni ekološki problemi uveli su pogonski etanol kao realnost u potrošnji benzina. U narednim godinama planira se povećanje setvenih površina pod kukuruzom i očekuju se još značajnije promene njegovog korišćenja.

Posmatrano u svetskim razmerama, Srbija se ubraja među značajne proizvođače kukuruza (<http://www.fao.org>). U 2006. godini kukuruz je u našoj zemlji gajen na 1.170.000 hektara. Ostvarena je godišnja proizvodnja od 6,016 miliona tona. (Statistički godišnjak Republike Srbije, 2006). Otuda, i ispitivanja mogućnosti proizvodnje i dalje prerade ove za našu zemlju izuzetno značajne i tradicionalno gajene ratarske biljke, sa pravom zahteva posebnu pažnju. Institut za kukuruz „Zemun Polje“ je za sada jedina naučna ustanova u zemlji u kojoj se već više decenija sveobuhvatno radi na unapređenju korišćenja kukuruza. Ova istraživanja su usmerena ka stvaranju novog asortimana kvalitetne biološki vredne hrane i ekološki bezbednih proizvoda. Primenom savremenih tehnologija prerade osvojena je proizvodnja nove i jedinstvene visokovredne hrane: integralno brašno mikronizovanog zrna crvenog, žutog i belog kukuruza, koncentrat za proizvodnju hleba, hleb i proja sa biološki vrednim sastojcima kukuruza crvenog i žutog zrna. Pored toga, razrađena je originalna tehnologija prerade kukuruznog oklaska. Dobijeni su različiti lignocelulozni granulati namenjeni za upotrebu u različitim granama industrije, poljoprivredi i zaštiti životne sredine. U ranije objavljenim radovima detaljno su prikazani rezultati ovog višegodišnjeg naučnoistraživačkog rada (Radosavljević i sar. 2002, Radosavljević i sar. 2005, Radosavljević 2006).

Cilj ovog rada je da se zbirno prikažu, opišu i diskutuju dosadašnja dostignuća, stanje i perspektive budućeg razvoja nauke u oblasti hemije i tehnologije kukuruza u našoj zemlji i u svetu.

## ŠTA ČINI ZRNO KUKURUZA TOLIKO I TAKO VREDNIM PRIRODNO OBNOVLJIVIM IZVOROM ENERGIJE I PROIZVODA?

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 i proizvoda.

Zrelo zrno kukuruza sastavljeno je iz tri osnovna dela: perikarpa (omotača), klice i endosperma. Na osnovu karakteristika zrna postoji pet osnovnih tipova kukuruza: zubani, tvrdunci, brašnasti, kokičari i šećerci. Najviše komercijalno gajeni hibridi kukuruza kod nas i u svetu su zubani žutog zrna. Rezultati mnogobrojnih ispitivanja strukture zrna pokazuju da se dobro sazrelo zrno standardnog zubana sastoji od: 6-7% omotača, 10-12% klice i oko 80% endosperma (Bekrić, 1997).

Posmatrano sa aspekta praktične primene hemijski sastav kukuruznog zrna predstavlja njegovo najbitnije svojstvo, kako za one koji ga koriste u industrijske svrhe, tako i kod njegove upotrebe za ishranu ljudi i životinja. U tabeli 1. je dat prosečan hemijski sastav zrna kukuruza zubana.

*Tabela 1. Prosečan hemijski sastav zrna kukuruza zubana (White and Johnson, 2003)*

*Table 1. Average chemical characteristics of corn (White and Johnson, 2003)*

Karakteristika/Characteristics	Opseg/Range	Prosek/Average
Sadržaj vlage/Moisture (%)	7-23	16,0
Sadržaj skroba/Starch (%)	61-78	71,7
Sadržaj proteina/Protein (%)	6-12	9,5
Sadržaj ulja/Fat (%)	3,1-5,7	4,3
Sadržaj pepela/Ash (%)	1,1-3,9	1,4
Sadržaj pentozana (kao ksiloza) / Pentosans (as xylose) (%)	5,8-6,6	6,2
Sadržaj vlakana – NDF / Fiber (neutral detergent residue) (%)	8,3-11,9	9,5
Sadržaj celuloze i lignina – ADF/ cellulose+lignin (acid detergent residue) (%)	3,3-4,3	3,3
Sadržaj ukupnih šećera (kao glukoza) / Sugars, total (as glucose) (%)	1,0-3,0	2,6
Sadržaj ukupnih karotenoida / Total carotenoides (mg/kg)	12-36	26

## KUDA IDE KUKURUZ?

Najveći deo proizvedenog kukuruza, u našoj zemlji kao i u svetu, troši se u tradicionalnom domenu njegove primene za ishranu domaćih životinja. U novije vreme sve veći značaj, naročito u svetskim razmerama, dobijaju i ostali vidovi potrošnje kukuruza odnosno zapaža se sve veće učešće kukuruza u industrijskoj preradi (Corn Annual, 2006).

Pod industrijskom preradom podrazumevaju se tri osnovna procesa njegove prerade: mokro mlevenje ili skrobarska prerada, suva ili mlinarska prerada i biotehnoška/ fermentaciona prerada. Mokrim mlevenjem kukuruza zrno se razdvaja na svoje osnovne sastojke: skrob, protein (gluten), ulje (klicu) i vlakna (mekinje). Broj i vrsta proizvoda u suvoj preradi zavisi od načina usitnjavanja različitih delova zrna kao i veličine čestica. Kao sirovina kukuruz je postao i predmet intenzivnijih istraživanja za proizvodnju etanola kao alternativnog izvora energije, biodegradabilne plastike, različitih hemikalija, polimera, lekova, enzima i mnogih drugih prehrambenih i ekološki bezbednih proizvoda. Pored toga što je važan deo našeg svakodnevnog života i savremene zdrave ishrane kukuruz ima i značajnu ekonomsku ulogu u našoj i svakoj drugoj zemlji u kojoj se proizvodi. U potrošnji kukuruza u narednom periodu očekuju se značajne promene.

## ZAŠTO I KAKO SEJEMO KUKURUZ A ŽANJEMO ENERGIJU?

Poznato je da prosečan prinos od 5t<sup>ha</sup><sup>-1</sup> zrna kukuruza može da da više od 80184256kJ i 105505600 kJ od ostataka kukuruzne biljke. Ova energija je ekvivalentna energiji od 4430 kg nafte ili 6156 kg uglja (Radosavljević i Bekrić, 1999).

Šta je to što čini kukuruz toliko vrednijim izvorom energije u odnosu na ostala žita? Jedan od najboljih načina za poređenje različitih žita kao izvora energije je njihova ukupna proizvodnja ugljenih hidrata i masti. Kukuruz je veoma kompetetivan kao visoko prinosa ugljenohidratna biljka u odnosu na ostala žita. U tabeli 2 je dat uporedni prikaz energije različitih žita i masti. Ovo poređenje je zasnovano na metaboličkoj energiji, odnosno energiji koja može biti iskorišćena od strane životinje. Podaci pokazuju da kukuruz ima najvišu metaboličku energiju u odnosu na ostala žita. Pored toga, postoje najmanje 25 različitih tipova hrane za životinje koja se mogu dobiti od kukuruza. Isto tako u njihovoj proizvodnji zastupljeno je najmanje 25 različitih procesa. Tako je na primer gluten sa 65% proteina sporedni proizvod vlažne meljave i koristi se kao visokoproteinska hrana za životinje, kukuruzno ulje koje se dobija iz kukuruzne klice proizvedene suvom ili vlažnom meljavom koristi se kao visok izvor energije, zelena biljka kukuruza i kukuruzna silaža se koriste kao meka hrana, dekstroza je proizvod hidrolize skroba koja je kompletno svarljiva i tako dalje.

Tabela 2. Sadržaj metabolička energija (ME) u različitim žitima i mastima

Table 2. Metabolized energy in cereals and fats

Žita/Cereal	ME* (kJ/kg)	Masti/Fat	ME* (kJ/kg)
Kukuruz/Maize	14110	Loj za stočnu hranu / Animal Fat	29760
Sirak/Sorghum	13810	Svinjska mast/Lard	33150
Pšenica/Wheat	13350	Sojino ulje/Soybean Oil	38680
Ječam/Barley	11800	Goveđi loj/Tallow	26370
Ovas/Oats	11130	Masne kiseline iz soje Fatty Acids from Soybean	43110
Raž/Rye	11970	Lecitin/Lecithin	28170

\* Metabolized energy

Druga veoma važna primena kukuruza posmatrano sa aspekta energije je korišćenje kukuruza u proizvodnji etanola. Interesovanje za kukuruz kao etanol produkujuću biljku uzrokovano je energetsom krizom i obnovljeno je još početkom 1970-ih godina. Etanol je alkohol koji se proizvede fermentacijom i destilacijom iz biljnog materijala koji sadrži šećere ili druge ugljene hidrate. U tabeli 3 prikazani su prinosi etanola po hektaru za različita žita.

Tabela 3. Prinosi etanola iz različitih žita

Table 3. Ethanol yield in cereals

Žita / Cereal	Prinos etanola Ethanol Yield (l/t zrna)	Prinos/ Yield	
		Zrno/Grain (t/ha)	Etanol/Ethanol (l/ha)
Kukuruz/Maize	360	5,4	1950
Pšenica/Wheat	340	3,1	1054
Ječam/Barley	250	2,5	625
Pirinač/Rice	430	5,0	2200
Sirak/Sorghum	350	3,7	1300
Ovas/Oats	240	2,4	580

Etanol koji se proizvodi iz kukuruza predstavlja obnovljivo alternativno gorivo za automobilske i druge vrste motora. Njegovo korišćenje ima i određene prednosti u zaštiti životne sredine jer se uglavnom koristi kao dodatak gorivu da redukuje emisiju štetnih gasova. U Sjedinjenim Američkim Državama u 2005. godini više od 4,5 milijardi galona etanola je proizvedeno od skroba kukuruza uz stalno povećanje od 12% godišnje. U Evropskoj Uniji je tokom 2004. godine proizvedeno 2,4 miliona tona biogoriva od toga 0,5 miliona tona etanola i 1,9 miliona tona biodizela (Drinić i Radosavljević, 2006).

Samo ugljenohidratni deo zrna se konvertuje u etanol, sve ostalo se može iskoristiti kao vredan sporedni proizvod takozvani suvi ostatak posle destilacije koji se prodaje kao visokovredna hrana za životinje. Najvažniji kriterijum kvaliteta za ovaj tip upotrebe je sadržaj skroba u zrnu koji treba da bude preko 70% da bi se od 100 kg kukuruza dobilo 37 do 40 litara čistog alkohola. Kukuruz je praktično izvor energije i ugljenika za bilo koju fermentaciju. Napred navedeni procesi suve i vlažne meljave su alternativne načini za koncentrisanje skrobne komponente kukuruza. Suvom meljavom proizvodi se substrat koji ima viši sadržaj skroba od celog zrna, odnosno oko 80%. Procesom mokre meljave kukuruza dobija se čist skrob koji skoro kompletno može biti konvertovan u etanol. U konverziji skroba koriste se četiri različita enzima: alfa-amilaza za utečnjavanje i beta-amilaza, glukoamilaza i pululanaza za ošećerenje. Uloga enzima alfa-amilaze u prvom stepenu konverzije je da smanji viskozitet želatinizovanog skroba. Kao produkti reakcije utečnjavanja dobijaju se dekstrini različite dužine lanaca. Enzimi za ošećerenje hidrolizuju skrob i dekstrine do glukoze ili maltoze. Fermentacija je jedan anaeroban proces u kome se od jednog molekula glukoze dobijaju dva molekula etanola i dva molekula ugljen dioksida. Destilacija je proces kojim iz smeše dobijene fermentacijom se odvaja voda. Destilacijom se može proizvesti tečnost koja sadrži maksimalno 95% etanola i 5% vode.

Prema procenama vodećih svetskih eksperata kukuruz će biti glavna sirovina za proizvodnju etanola čija potrošnja kao alternativnog goriva u svetu naglo raste. Na osnovu iznetih tendencija u svetu može se konstatovati da i naša zemlja kao jedan od značajnijih proizvođača kukuruza u Evropi ima preduslove za proizvodnju etanola. Pošto postoje velike potrebe i čine kontinualna napor i nastojanja da se nađu alternativni izvori energije, etanol na bazi kukuruza, kao i sam kukuruz biće u budućnosti

veoma važan i za energetska nezavisnost zemlja u kojima se proizvodi.

## ZAŠTO I KAKO SEJEMO KUKURUZ, A ŽANJEMO PROIZVODE?

Istraživanja mogućnosti korišćenja poljoprivrednih proizvoda kao obnovljivih sirovina brojnih proizvoda koji se tradicionalno proizvode iz nafte i drugih fosilnih goriva dobijaju poslednjih godina sve veći i zasluženi značaj u vodećim istraživačkim centrima u svetu. U okviru ovih programa stalno se otvaraju novi projekti i nove mogućnosti za kukuruz kao jednu od najznačajnijih gajenih biljnih vrsta. Proizvodnja novih biološki vrednih i ekološki bezbednih proizvoda na bazi kukuruza u skladu sa ovim najnovijim trendovima svetske nauke u oblasti hemije i tehnologije se smatra izuzetno aktuelnom i atraktivnom.

Pored etanola brojni su i drugi načini na koji kukuruz doprinosi održivom razvoju i zaštiti životne sredine. Kao bogat izvor ugljenih hidrata odnosno skroba on predstavlja polaznu sirovinu čitavog niza proizvoda:

- modifikati skroba (dekstrini, oksidovani skrobovi, fracionisani skrobovi, dialdehidni skrobovi, preželatizirani skrobovi, ekstrudirani skrobovi, kationski/anionski skrob, skrobni etri i estri, umreženi skrobovi, ciklodekstrini, rezistentni skrobovi),
- skrobni zaslađivači (maltodekstrini, skrobni sirupi, skrobni šećer, kristalna glukoza, kristalna maltoza, maltooligo saharidi, izošećer, kristalna fruktoza i šećerni alkoholi-sorbitol, manitol, maltitol, likazini)
- biotehnoški proizvodi (antibiotici, vitamini, enzimi-amilaze i proteaze, kiseline-limunska, mlečna i oksalna, aminokiselinelizini i glutaminske, etanol-konzumni, tehnički i pogonski, biodegradabilna plastika).

Jedna od najnovijih industrijskih primena kukuruza je proizvodnja gore navedenih biopolimera odnosno biodegradabilne plastike. Samo do pre deset godina njihova komercijalna proizvodnja je bila samo san. Pored toga, s obzirom na pravce nutritivnih istraživanja rezistentni skrobovi danas privlače veliku pažnju istraživača širom sveta. Za to postoje dva osnovna razloga: njihov potencijalni pozitivni efekti koje oni imaju na zdravlje ljudi jer doprinose prevenciji nekih bolesti kao i njihove jedinstvene funkcionalne osobine u hrani. Vodeći svetski proizvođači hrane se prosto takmiče ko će pre da izade na tržište sa novom vrstom ovih proizvoda niskog glukoznog indeksa koji se u ljudskom organizmu fiziološki slično ponašaju kao prehrambena odnosno funkcionalna vlakna (Radosavljević 2003).

Koji su to pravci kojima bi trebalo krenuti u industrijskoj preradi kukuruza da bi u našim uslovima uskladili raspoložive prinose sa nesrazmernom i ničim opravdanom zapostavljenom preradom?

Značajan napredak u industrijskoj preradi kukuruza može se ostvariti orijentacijom na proizvodnju: zaslađivača iz kukuruza kao ozbiljnu i konkurentnu zamenu saharozu u procesima industrijskog zaslađivanja; etanola kao dodatka motornom benzinu; ciklodekstrina i drugih skrobnih modifikata kao bitnih komponenta hrane i mnogih drugih finalnih proizvoda; šećernih alkohola (sorbitol, manitol, maltitol) kao nedostajućih poliola u hemijskoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji i novog asortimana suve prerade žita (kukuruz, pšenice, ječma, raži, ovsa, tritikale) i leguminoza (soje, graška, boba, lupine, pasulja). Početkom XXI veka, veka u kome će istraživanja u oblasti hrane i zdravlja imati prioritet, u skladu sa preporukama nutricionista koji se zalažu za što veće učešće integralnog, odnosno celog zrna različitih žita u ishrani jer se na taj način u organizam unose ne-

ophodni vitamini, minerali i prehrambena vlakna-deficitarne materije, očekuje se značajan porast potražnje kukuruznih proizvoda za spravljanje žitnih jela sa smanjenim vremenom pripreme ili koja su odmah spremna za upotrebu.

## ZAKLJUČAK

U ovom radu pregledno su date osnove korišćenja kukuruza kao izvora energije i velikog broja različitih proizvoda. Porast stanovništva, potrebe za visokovrednom hranom, održivim razvojem i zaštitom životne sredine, napredak u tehnologijama prerade generišu porast tražnje kukuruza i doprinose da se njegova istorijska uloga u ljudskoj delatnosti nastavlja i u XXI veku. Ovo upravo ide u prilog činjenici da su čuda kukuruza kao i njegove mogućnosti bezgranična.

I na kraju sagledavajući najnovije trendove svetske nauke u oblasti hemije i tehnologije kukuruza sa pravom se može zaključiti da je ona puna pravih i velikih izazova.

*NAPOMENA: Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, Nacionalni program „Biotehnologija i agroindustrija“ Projekat BTN-321001B: Razvoj novih biološki vrednih proizvoda od kukuruza.*

## LITERATURA

- [1] Bekrić V: Upotreba kukuruza, Institut za kukuruz, Zemun Polje, Beograd-Zemun, 1997.
- [2] Corn Annual 2006, Corn Refiners Association, Washington, D.C, 2006.
- [3] Drinić G, M. Radosavljević (2006): Oplemenjivanje i korišćenje kukuruza - Stanje i perspektive. Zbornik abstrakata Simpozijuma sa međunarodnim učešćem „Unapređenja poljoprivredne proizvodnje na teritoriji Kosova i Metohije“, V. Banja, 26-29. jun 2006. godine, 12.
- [4] Radosavljević M. (2003): Corn Starch as an Important Renewable Resources, VII Education and training workshop» Environmental technologies, renewable resources, harmony and ethics for the sustainability», Belgrade 20-26. October 2003.  
<http://www.rcub.bg.ac.yu/monograph/2003>.
- [5] Radosavljević M. (2006): Kvalitet zrna i mogućnosti namenskog korišćenja kukuruza. Mlinpek almanah, godina XII, decembar 2006, broj 133, 7-10.
- [6] Radosavljević M, V. Bekrić (1999): Corn as a source of energy. INFORMATION & TECHNOLOGY TRANSFER ON RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, FOOD CHAIN AND HFA '99, <http://rcub.bg.ac.yu/~todorom>.
- [7] Radosavljević M, I. Božović, R. Jovanović, V. Bekrić, S. Žilić, D. Terzić (2002): Visokovredna hrana i novi tehnički proizvodi na bazi kukuruza i soje. PTEP, Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, Novi Sad, 6: 1-2, 54-60.
- [8] Radosavljević M, R. Jovanović, J. Vančetović, 2005. Kvalitet zrna i mogućnosti korišćenja ZP hibrida kukuruza. PTEP, Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, 9: 1-2, 12-14.
- [9] Statistički zavod Republike Srbije (2006): Statistički godišnjak Srbije, 2006.
- [10] White J. P. and Johnson (2003): Corn: Chemistry and technology, AACC, St. Paul, USA.

Primljeno: 07.3.2007.

Prihvaćeno: 10.3.2007.