



HR9700075

Doc. dr. sc. TAJANA KRIČKA
Dr. sc. STJEPAN PLIESTIĆ
AGRONOMSKI FAKULTET
Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport

UPOTREBA BIOMASE KUKURUZA (ZEA MAYS) U PROCESU SUŠENJA

SAŽETAK

Kukuruz, uz pšenicu i rižu, najznačajnija je ratarska kultura u svjetskoj poljoprivrednoj proizvodnji. Prosječno, u posljednjih 10 godina, Republika Hrvatska proizvodi oko 2.000.000 tona kukuruza godišnje. Od toga se za potrebe ljudske i životinjske prehrane, te sjemenskog materijala osuši oko 1.000.000 tona. Ta količina materijala zahtijeva, ovisno o vlažnosti zrna, između 35.000 do 40.000 tona ekvivalenta nafte.

Zbog toga će se u ovom radu obraditi mogućnosti zamjene fosilnih goriva biomasom kukuruza preostalom nakon berbe, te uštede fosilnih goriva.

THE USE OF CORN (ZEA MAYS) BIO-MASS IN DRYING PROCESS

SUMMARY

The most important agricultural crop in the world, besides wheat and rice is corn. In the last 10 years, Republic Croatia has produced about 2,000,000 tons of corn. Most of that is used for food and feed and for seed production and it is 1,000,000 tons in quantity. This quantity demands between 35,000 to 40,000 tons of oil.

For the reason, this paper describes the possibilities of the substitution of oil with corn bio-mass after harvesting.

1. OPĆENITO O SUŠENJU KUKURUZA (ZEA MAYS)

Sušenje je jedan od najstarijih načina konzerviranja robe. Tehnološkim postupkom sušenja povećava se koncentracija sadržanih sastojaka (šećer, škrob, i dr.), odnosno povećava se osmotski tlak u zrnu tako da je otežana hranidba mikroorganizama.

U procesu sušenja zrna kukuruza najčešće se primjenjuju dva tehnološka postupka: jednofazno i dvofazno. Jednofazno sušenje je takav tehnološki postupak se zrno

kukuruzu početne vlažnosti (u našim uvjetima između 30% i 35%) u jednom prolazu osuši i ohladi u sušari na konačnu vlažnost od 14%. Kod dvofaznog sušenja zrno se suši od početne vlažnosti do vlažnosti od 18% do 22%. Zatim se bez hlađenja stavlja u silosni odjeljak da odleži između 8 i 12 sati. Za to vrijeme se vlažnost zrna približno izjednači. Takovo se zrno tada dosušuje do konačne vlažnosti i nakon toga se hladi. Ovim se načinom sušenja štedi toplinska energija i povećava kapacitet sušare.

U ovisnosti o njegovoj namjeni, je li merkantilni ili sjemenski kukuruz, zrno kukuruza suši se u dva osnovna režima i to:

- merkantilni kukuruz na temperaturi zraka od 120⁰C do 250⁰C;
- sjemenski kukuruz na temperaturi zraka do najviše 42⁰C.

Proces sušenja kod merkantilnog kukuruza, u ovisnosti o vlažnosti i hibridu zrna i kapacitetu sušare, traje između 3 do 8 sati.

Kod sjemenskog kukuruza situacija je potpuno drugačija. Sjemenski kukuruz, zbog zaštite klice, ubire se isključivo strojevima beračima (za razliku od merkantilnog koji se ubire kombajnima i u sušaru se doprema zrno). To znači da se sjemenski kukuruz na sušenje doprema zajedno s oklaskom. Zbog morfološke građe, odnosno perikarpa zrna, sušenje se zrna u udjelu od 95% obavlja preko klice. To znači, da bi se zrno moglo osušiti oklasak mora biti suši. Zbog toga proces sušenja sjemenskog kukuruza prosječno traje između 60 do 100 sati.

2. UTROŠAK ENERGIJE ZA SUŠENJE ZRNA KUKURUZA

U Republici Hrvatskoj energija za sušenje uglavnom se podmiruje iz fosilnih goriva. U 49% slučajeva suši se merkantilni kukuruz dvofazno, a 51% jednofazno. Nadalje, pri tome je korišteno 41,37% plina, 37,31 % loživa ulja, 15,86% mazuta i 5,46% ugljena.

Kod sjemenskog kukuruza jednofazno sušenje koristi 83,3% sušara, a 16,7 % dvofazno. Isti postotni udio kao gorivo koristi plin, odnosno oklasak. (Izvor podataka su ankete.)

Potrošnja energije uglavnom ovisi o postotnom udjelu vlage u zrnu kukuruza koje se suši. Primjerice, ako se suši zrno kukuruza prosječne vlažnosti 25%, troši se oko 315 kWh po toni zrna (1130 MJ). Međutim, pri prosječnoj vlažnosti od 30%, potrošnja se povećava na 510 kWh po toni zrna (1840 MJ), a pri 40% vlage zrna čak na 690 kWh/t (2.500 MJ).

3. PROIZVODNJA MERKANTILNOG KUKURUZA I UKUPNA POTROŠNJA ENERGIJE ZA SUŠENJE ZRNA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Posljednjih godina kukuruz u svjetskim razmjerima zauzima važno mjesto i u strateškom smislu, tako da je danas kukuruz, zajedno s naftom, na prvom mjestu po važnosti.

U Republici Hrvatskoj, nažalost, kao posljedica rata bilježi se smanjenje proizvodnje kukuruza. Tako je u razdoblju od 1990. do 1994. godine ukupna proizvodnja smanjena s prosječno 2.500.000 tona zrna prije rata, na 1.800.000 tona (tablica 1).

Danas se suši oko 50% ukupnog prinosa s površina zasijanih kukuruzom, dok druga polovica ide u silažu. Energija potrebna za sušenje mase može se izračunati iz energije potrebne za isparavanje vode i energije kojom se ugrije i ohladi zrno. Ova energija je jednaka energiji koju je unio zrak iz okoline i energije koja je potrošena za propuhivanje tijekom sušenja. Energija potrebna za isparavanje vode iz zrna veća je od energije potrebne za isparavanje vode sa slobodne površine. U tablici 1 prikazana je proizvodnja merkantilnog kukuruza i ukupna potrošnja energije za sušenje.

Tablica 1 - Proizvodnja osušenog merkantilnog kukuruza i utrošak goriva (t)

Godina	Površine pod kukuruzom (ha)	Ukupna proizvodnja zrna kukuruza	Osušeno kukuruza (t)	Utrošena količina fosilnih goriva
1990.	503.000	1.950.011	975.000	36.370
1991.	488.000	2.387.533	1.193.700	44.530
1992.	370.000	1.357.663	678.000	25.290
1993.	373.000	1.671.819	835.900	31.180
1994.	371.000	1.686.992	843.500	31.460

3.1. Biomasa merkantilnog kukuruza (*Zea mays*) kao goriva

Nakon berbe kukuruza na obrađenom zemljištu ostaje kukuruzovina, stabljika s lišćem, oklasak i komušina, češće nazvana biomasa. Budući da je prosječni odnos zrna i mase (tzv. žetveni omjer) 53% : 47%, proizlazi da biomase ima približno koliko i zrna. Ako se razluče kukuruzovina i oklasak, tada je njihov odnos prosječno 82% : 18%. U tablici 2 prikazane su dobivene vrijednosti.

Tablica 2 - Proizvodnja kukuruza i njegove biomase

Godina	Ukupna proizvodnja zrna kukuruza (t)	Biomasa kukuruza (t)	Kukuruzovina (t)	Oklasak (t)
1990.	1.950.011	1.729.255	1.417.989	311.266
1991.	2.387.533	2.117.246	1.736.142	381.104
1992.	1.357.663	1.203.965	987.251	216.714
1993.	1.671.819	1.482.556	1.215.696	266.860
1994.	1.686.992	1.496.012	1.226.730	269.282

Međutim, postoje oprečna mišljenja o korištenju te biomase. Neosporno je da se ona mora prvenstveno vraćati u zemlju, zbog poboljšanja zemljišta i stvaranja humusa, ali je sporna količina te mase. Iako manja skupina stručnjaka smatra da se treba zaorati cjelokupna masa, preporuča se zaoravanje između 30% i 50% te mase.

Nadalje, oko 20% navedene mase danas se pokupi s polja i koristi kao stočna hrana ili kao stelja. Znači da od navedene biomase kukuruza ostaje minimalno 30% (tablica 3).

Donja ogrjevna vrijednost kukuruzne stabljike može se izraziti na osnovi njene vlažnosti (w) i to:

$$H_d = -186,82 (w) + 19.002,44 \text{ (kJ/kg)}$$

iz čega proizlazi da je donja ogrjevna vrijednost pri 20% vlažnosti kukuruzne stabljike 15.266 kJ/kg, a pri 30% vlažnosti 3.398 kJ/kg. Usporede li se dobivene vrijednosti s prosječnom donjom ogrjevnom vrijednošću nafte ($H_d \approx 42.000$ kJ/kg) proizlazi da je odnos energetske vrijednosti nafte i kukuruzne stabljike pri 10% vlažnosti 2,75, a pri 20% vlažnosti 1 : 3,13.

Za oklasak donja ogrjevna vrijednost iznosi:

$$H_d = -184,68 (w) + 18.888,82 \text{ (kJ/kg)}$$

Proizlazi da je donja ogrjevna vrijednost oklaska pri vlažnosti od 20%, 15.195 kJ/kg, a pri 30% vlažnosti 13.348 kJ/kg. Odnos energetske vrijednosti nafte i oklaska je 1:2,76 za 20%, te 1:3,15 za 30% vlage u oklasku.

Dobivene vrijednosti daju omjer energetske vrijednosti nafte spram biomase kukuruza 1:3. U tablici 3 prikazane su izgubljene vrijednosti tona ekvivalenta nafte (TEN) dobivene iz biomase kukuruza.

3.2. Stvarno dobivene energetske vrijednosti iz biomase merkantilnog kukuruza

Berba kukuruza u Hrvatskoj započinje, kao što je rečeno, pri prosječnoj vlažnosti zrna između 30 do 35%. Tada vlažnost kukuruzovine i oklasa bude oko 35-40%. Za izgaranje takovih visokovlažnih materijala potrebna su posebna ložišta, koja su razvijena posljednjih godina i koriste se.

Visoka vlažnost i mala nasipna masa (120 - 230 kg/m³) onemogućuju trajnije skladištenje biomase, zahtijevaju velike skladišne prostore i otežavaju transport. Zbog toga, ostavi li se masa dva do tri dana nakon kombajniranja na polju, vlaga će u stabiljici biti oko 20%. Nakon toga kukuruzovina se strojevima skuplja i preša u bale težine 25 do 250 kg i odvozi do skladišta. Tu se dosušuje ili dorađuje peletiranjem ili briketiranjem (nasipna masa 650 - 750 kg/m³).

Za sakupljanje biomase i za transport do 30 km udaljenosti troši se 6 - 7% od vrijednosti njene energije. Dodatno još se troši za sušenje mase dodatnih 14% i za peletiranje još 10%. Proizlazi da treba uložiti 31% vrijednosti njene energije. U tablici 3 dane su stvarno dobivene vrijednosti tona ekvivalenta nafte iz biomase kukuruza.

Tablica 3 - Ukupno proizvedena količina biomase kukuruza i stvarno dobiveni TEN

Godina	BIOMASA (90%)		UKUPNO	TEN	Stvarno dobiveni TEN
	Kukuruzovina (t)	Oklasak (t)			
1990.	425.397	93.380	518.777	172.926	119.319
1991.	520.843	114.331	635.174	211.725	146.090
1992.	296.175	65.014	361.189	120.396	83.073
1993.	364.709	80.058	444.767	148.256	102.297
1994.	368.019	80.785	448.804	149.601	103.225

Usporedi li se utrošena količina fosilnih goriva za sušenje zrna kukuruza u razdoblju od 1990. do 1994. godine (tablica 1) s ostvarenom količinom TEN-a iz bio-mase kukuruza (tablica 3), može se utvrditi da danas Republika Hrvatska proizvodi dva puta više goriva, nego što je potrebno za proces sušenja merkantilnog kukuruza.

4. PROIZVODNJA SJEMENSKOG KUKURUZA I UKUPNA POTROŠNJA ENERGIJE

Osim navedene ukupne proizvodnje merkantilnog kukuruza, nigdje, pa ni u statističkim ljetopisima Republike Hrvatske, ne postoji poseban prikaz proizvodnje sjemenskog kukuruza. Prema vlastitim istraživanjima, Republika Hrvatska je u razdoblju od 1990. - 1994. godine osušila između 6.000 i 10.000 t sjemenskog kukuruza.

Promatrajući ukupnu masu zrna nakon ubiranja, smatra se da je prosječna težina oklaska oko 9%.

Zbog navedenih tehnoloških postupaka sušenja sjemenskog kukuruza (jednofazno i dvofazno) najčešća vlažnost oklaska iznosi oko 10% (u 83,3% slučajeva), odnosno 20% (u 16,7% slučajeva). Tako za oklasak s 10% vlažnosti donja ogrjevna vrijednost iznosi 17.042 kJ/kg, a za oklasak 20% vlažnosti iznosi 15.195 kJ/kg. Usporedimo li tako dobivene vrijednosti s prosječnom donjom ogrjevnom vrijednošću nafte ($H_d = 42.000$ kJ/kg) dobiva se odnos 1:2,46 za 10% vlažnosti i 1:2,76 za 20% vlažnosti oklaska. Pri tome se za proces sušenja utrošilo između 330 i 450 tona goriva.

4.1. Stvarno dobivene energetske vrijednosti oklaska sjemenskog kukuruza

Sjemenski kukuruz u Hrvatskoj ubire se s prosječno nešto nižom vlagom od merkantilnog (oko 28%). Berba se izvodi strojevima beračima, kako bi se omogućilo sušenje sjemena na klipu do runjenja.

Zbog toga, energetske promatrano, za proces sušenja najvažniji je dio biomase sjemenskog kukuruza oklasak. Naime, nakon procesa runjenja i daljnje dorade sjemenskog materijala, oklasak prosječne vlažnosti oko 10% ostaje kao otpad koji se najčešće baca ili pali. Problemi i troškovi vezani uz skupljanje, transport i sušenje oklaska ovime otpadaju. Proizlazi da je Hrvatska u promatranom razdoblju izgubila između 540 i 900 t oklaska prosječne energetske vrijednosti $H_d = 17.042$ kJ/kg, odnosno 219,5 do 366 t nafte.

Usporedi li se to s ukupno utrošenom količinom energije proizlazi da se sjemenski kukuruz može osušiti vlastitim oklaskom kao gorivom, što se na pilot-postrojenju u Vinkovcima - sjemenarstvo - i dokazalo.

ZAKLJUČAK

1. Danas kukuruzovina čini u proizvodnji kukuruza najveći energetske potencijal. Masovnije korištenje, zbog povećane vlažnosti kukuruzovine i male nasipne mase, moralo bi se vezati uz liniju sušenja i briketiranja. Na taj bi se način dobio kvalitetan energent (15.266 kJ/kg) uz povećanu nasipnu masu (oko 700 kg/m³).

Linije proizvodnje briketa (zbog transportnih troškova) trebalo bi graditi bliže zasijanim površinama. Briketi bi se mogli koristiti, osim za sušenje zrna, i u kotlovnica industrije, kao i u toplinskim stanicama za centralno grijanje, no ložišta moraju biti za to predviđena.

2. Oklasak kukuruza ima dovoljno energije (17.042 kJ/kg) za sušenje zrna kukuruza kojeg nosi. To se jednostavno može koristiti kod sušare sjemenskog kukuruza gdje je oklasak već prikupljen i najčešće je otpad. Takove sušare, zbog sadržaja vode u

oklasku i stvaranja vode pri izgaranju, kao i zbog požarne opasnosti, trebaju imati izmjenjivač topline, kao i posebno izvedena ložišta.

Ako bi se u tome uspjelo bila bi riješena zamjena najvećeg dijela fosilnih goriva koja se koriste za sušenje zrna kukuruza, kao i ostalih poljoprivrednih proizvoda, njihovom biomasom.

LITERATURA

1. Bočkinac, D. i sur. (1987): *Pravodobno izdvajanje i upotreba otpada sušenja i skladištenja kukuruza u ishrani stoka - garancija očuvanja visoke kvalitete i dobrih financijskih efekata*. III. savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
2. Green, B.M. (1978): *Eating oil - energy use in food production*, Westview Press, Boulder
3. Katić, Z., Krička, Tajana, Pliestić, S. (1990): *Zdravstveni, tehnološki i energetski aspekt problematike konzerviranja zrnatih ratarskih proizvoda*, Međunarodni kongres "Energija i zaštita čovjekove okoline", Opatija
4. Katić, Z. (1994): *Sušenje i sušare u poljoprivredi*, Skripta - III. dio, Agronomski fakultet, Zagreb
5. Krička, Tajana (1985): *Efikasnost korištenja kukuruznog oklaska u sušarama s direktnim zagrijavanjem zraka*, Krmiva, Zagreb
6. Nikola, S. (1993): *Energija nusprodukata biomasa Hrvatske - potencijali, stanje korištenja i perspektive*, IX. Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Stubičke Toplice
7. Stanhill, G. (1984): *Energy and Agriculture*, Springer - Verlag, New York
8. Ujević, A. (1988): *Tehnologija dorade i čuvanje sjemena*, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb
9. (1990): *Anketna upitnica*, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomski fakultet, Zagreb
10. (1991): *Anketna upitnica*, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomski fakultet, Zagreb
11. (1992): *Anketna upitnica*, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomski fakultet, Zagreb
12. (1993): *Anketna upitnica*, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomski fakultet, Zagreb
13. (1994): *Anketna upitnica*, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomski fakultet, Zagreb