

PROMJENA BRZINE SUŠENJA ZRNA KUKURUZA U  
ZAVISNOSTI O HIBRIDU\*

THE CHANGE OF DRYING VELOCITY DEPENDING ON THE TYPE  
OF HYBRIDS

Tajana Krička i S. Pliestić

SAŽETAK

U ovom radu analizirana je brzina sušenja 5 hibrida kukuruza (Bc 468, Zg 43-28, OSSK 407, Bc 492, Bc 48 W) zrna kukuruza FAO grupe 400, po tipu zuban.

Pri sušenju s temperaturom zraka od 130°C, hibrid Bc 468 se kraće sušio od hibrida Bc 492 za čak 83,3%. Kod temperature zraka od 110°C ta je razlika bila još veća. Tako se hibrid Zg 43-28 osušio brže u odnosu na Bc 492 i OSSK 407 čak za 125 %.

*Ključne riječi:* sušenje, kukuruz zuban, FAO GRUPA 400.

ABSTRACT

In this paper drying velocity of five different hybrids of corn kernel is given (Bc 468, Zg 43-28, OSSK 407, Bc 492 i Bc 48 W), All the hybrids are from FAO group 400, subspecies - dent yellow corn.

The hybrid Bc 468 took a shorter time to dry at the air drying temperature of 130°C for about 83,3% than hybrid Bc 492 at the same temperature.

When drying air temperature is the 110°C the differences are greater. Hybrid Zg 43-28 dried faster than hybrids Bc 492 and OSSK 407 by about 125 percent.

*Key words:* drying, dent yellow corn, FAO group 400.

\* Članak je objavljen u Agronomskom glasniku br. 6/1994., ali prilikom prijeloma došlo je do zaloma teksta jer su autori predali rad bez paginacije. Ponovno ga objavljujemo.

## UVOD

Poznata je činjenica da u času ubiranja zrno kukuruza ima veću vlažnost od ravnotežne, pri kojoj se ono može čuvati. Zbog toga je sušenje samo slijed i dovršenje prirodnog dozrijevanja zrna što se nije moglo obaviti prirodnim putem. Kako bi se omogućilo što duže skladištenje zrna, proces sušenja mora biti usmjeren u pravcu sačuvanja zrna i osiguranja njemu potrebnih normalnih uvjeta. Zadatak sušenja je oduzeti zrnu suvišnu vodu.

Brzina i kakvoća sušenja zrna ovisi o samom načinu sušenja. Povišenjem temperature zraka smanjuje se njegova vlažnost, pa povećana razlika parcijalnih tlakova između zrna i zraka pospješuje sušenje. Na učinkovitost sušenja utječe zrak, svojim toplinskim intenzitetom, brzinom strujanja i relativnom vlažnošću, te konstrukcija sušare.

Kukuruzno zrno se u sušaru doprema istodobno s raznih mjesta. Zrna su različite vlažnosti i različitih hibrida i prilikom punjenja sušare miješaju se i suše. Kako je to zrno s različitom vlažnošću, različite morfološke građe i različite veličine, tako se u procesu sušenja različito ponaša. Ispuštanje suvišne vode do higroskopne ravnoteže (za kukuruz 14%) za različite hibride je različito. Najveći otpor prolazu vode pruža perikarp (Dubravec, 1993.) Katić (1985.) prema Purdy-u i Crane-u, utvrđuje da je brzina sušenja u visokoj negativnoj korelaciji ( $r = -0,83$ ) s debljinom perikarpa. Vlahović i suradnici (1987.) utvrđuju da oko 90% vode iz zrna mora, zbog građe perikarpa, proći dugi put uzduž cijelog zrna kukuruza do klice zrna u kojoj se voda oslobađa.

Takvo neujednačeno zrno, na izlazu iz sušare također ima različitu vlažnost. Razlike vlažnosti zrna bile su izraženije posljednjih godina, zbog neadekvatne konstrukcije sušara. Razlika u vlažnosti zrna iznosila je čak do 11%. Bratko Justina (1990.). Naravno da je tako osušeno zrno bilo nemoguće trajno skladištiti. Takvo stanje na tržištu prouzročilo je velike probleme prilikom ocjene postrojenja za sušenje proizvođača sušara i naručitelja. Sve je to potaklo izradu i uvođenje "Pravilnika za konstrukciju i ocjenu postrojenja za sušenje ratarskih proizvoda" (Katić, 1989.) za određivanje stvarnog kapaciteta sušare i garantiranog rada sušare. Tako je uz ostale uvjete u točki 9.1.2. navedeno: "... suši se zrno kukuruza FAO grupe 400 po tipu zuban, temperature zraka 10°C, s max. 3% krupnih primjesa većih od zrna i 5% sitnih primjesa (pod sitnim primjesama računa se i lom zrna ispod 1/4 veličine cijelog zrna)".

## PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA

U Hrvatskoj se proizvode značajne količine kukuruza, koje se u relativno kratkom agrotehničkom roku ubiru. Pri tome je zbog visoke vlažnosti zrna u času ubiranja neophodno zrno konzervirati. Najčešće je to sušenjem. Zbog morfološke građe zrna kukuruza, prilikom ispitivanja problema sušenja uz kinematiku sušenja posebno valja proučiti i problem potrošnje energije po kilogramu isparene vode.

Glede toga, "Pravilnik za konstrukciju..." predvidio je da se određivanje kapaciteta sušare i garantiranost rada provedu sa zrnom hibrida kukuruza FAO grupe 400, po tipu zuban.

Cilj istraživanja ovog rada je utvrditi da li unutar zrna kukuruza FAO grupe 400, po tipu zuban, postoje signifikantne razlike u razini sušenja pojedinih hibrida, te da li je potrebno taj problem još točnije definirati.

## PREGLED LITERATURE

Problem definiranja hibrida kukuruza javio se već nakon prvih istraživanja na području sušenja i skladištenja.

Tako **Nelson** (1980.) provodi istraživanja specifične gustoće kukuruza za skladišne uvjete, na 21 različitom hibridu, po tipu zuban. Na osnovi dobivenoga, statističkom obradom daje opću jednadžbu za dobivanje specifične gustoće.

**Martins** i **Stroshine** (1987.) istraživali su utjecaj vlažnosti zrna na brzinu sušenja. Istraživanja su proveli kod tri različite vlažnosti zrna unutar svakog hibrida. Ispitivanja su provedena kroz tri godine (1985.-1987.). U prvoj godini istraženo je 11 hibrida, u drugoj 12, a u trećoj 8. Ukupni rezultati obrađeni su statistički i grafički.

Matematički modeli prikazani su pomoću eksponencijalnih jednadžbi, uz obrazloženje da su se hibridi ponašali različito u ovisnosti o godini. **Stroshine**, **Tuite** i **Craine** (1987.) istraživali su neke fizikalne karakteristike (težinu tisuću zrna, specifičnu gustoću, specifični volumen, debljinu perikarpa) zrna 24 hibrida kukuruza, te brzinu sušenja, u tri godine (1984.-1986.). Rezultati su statistički obrađeni, te daju matematički model brzine sušenja.

**Li** i **Morey** (1984.) služili su se eksponencijalnom jednadžbom koju je postavio **Page** (1949.) za opis sušenja tankog sloja kukuruza tvrduca u dvije godine, 1981. i 1982. Uz definiciju tipa kukuruza, autori su definirali brzinu i temperaturu zraka za sušenje, kao i početnu i konačnu vlagu zrna. Primjenjuju također eksponencijalni model, uz uvođenje koeficijenta za pojedini urod.

**Byler, Anderson i Brook** (1984.) postavljaju statističke metode i krivulje sušenja tankog sloja zrna kukuruza. Autori su izradili dva osnovna matematička modela i to mjerenje zrna preko kugle i mjerenje zrna preko paralelepipeda.

**Katić i sur.** (1988.) istraživali su relativan odnos brzina sušenja kukuruza kod različitih hibrida i različitih temperatura sušenja. Od desetak različitih tipičnih hibrida po tipu zubana i vlage koja se može uzeti kao uobičajena u elementarnom sloju u jednakim uvjetima za sve uzorke. Za sve dobivene rezultate mjerenja primjenjivana je eksponencijalna jednadžba. Koeficijent korelacije za sve dobivene vrijednosti bio je velik i ne ispod  $r = 0.99$ .

**Babić, Ljiljana** (1989.) analizirala je utjecaj hibrida kukuruza na kinetiku konvektivnog sušenja tri hibrida različitog vremena sazrijevanja, po tipu zubana. Autorica je utvrdila da ne postoji korelacija između kinetike i konvektivnog sušenja debelog nepokretnog sloja i FAO grupe hibrida kukuruza. To praktično znači da se dužina vegetacije pojedinih hibrida za sada ne može izraziti kao kvantitativna veličina koja bi našla svoje mjesto u matematičkom modelu.

**Nedeljkov i sur.** (1988.) postavili su eksponencijalnu jednadžbu sušenja višefaznog, impulsivnog i oscilatornog sušenja zrna kukuruza. Za svaki od navedenih postupaka uvode koeficijente kao konstante za proračun. Kod toga autori smatraju da nije potrebno definirati vrstu hibrida.

**Krička, Tajana** (1993.) istražuje tehnološki postupak perforiranja zrna kukuruza na brzinu sušenja konvencijom. Istraživanja provodi na 10 hibrida kukuruza, a od toga 9 hibrida su zubani i jedan polutvrđunac. Uz analizu brzine sušenja zrna nakon tehnološkog postupka perforiranja zrna, autorica utvrđuje da pri istim uvjetima sušenja kod približno istih početnih vlažnosti zrna, različiti hibridi imaju različito vrijeme sušenja. Uz eksponencijalni matematički prikaz, autorica paralelno obrađuje i polinomni i utvrđuje da nema signifikantne razlike između dva matematička modela.

## METODIKA ISTRAŽIVANJA

Radi rješavanja utjecaja hibrida unutar FAO grupe 400, po tipu zubana na brzinu sušenja zrna kukuruza, obavljani su pokusi sušenja 5 hibrida kukuruza.

Ispitivanja su provedena na hibridima kukuruza Bc 468, ZG 43- 28, OSSK 407, Bc492 i Bc 48 W. Kako bi izbjegli moguća oštećenja prilikom ispitivanja, kukuruz je ubran u klip na području "Jasinja"- Slavonski Brod. 1993. godine i ručno orunjen. Nakon toga etalonski mu je određena vlažnost zrna, kao jedan od podataka potrebnih za moguću usporedbu i ona se kretala od 24,30% do 25,00% (w.b.)

Sušenje je obavljeno na laboratorijskom modelu sušnice (detaljno opisanoj u doktorskoj disertaciji Tajane Krička, 1993.), temperaturom sušenja od 110°C i

130°C, kod brzine zraka na izlazu iz sušare oko 1,20 m/s. Uzorak je sušen u stacionarnom debelom sloju i svakih pet minuta mjerena je težina zrna, odnosno gubitak vlažnosti. Uz to mjereni su stvarna temperatura i brzina zraka. Težina zrna u procesu sušenja mjerena je na digitalnoj vagi. Kroz cijelo razdoblje mjerenja, praćena je temperatura i relativna vlaga zraka okoline.

Sva mjerenja izvedena su u pet ponavljanja i na osnovi toga je izrađen dijagram sušenja.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na osnovi izmjerenih i izračunatih podataka na tablici 1 date su srednje vrijednosti ukupnih mjerenja brzine zraka na izlazu iz sušnice ( $v_2$ ), stvarne temperature zraka na ulazu u sušnicu ( $t_2$ ), temperature okolnog zraka ( $t_0$ ), relativne vlažnosti zraka ( $\varphi_0$ ), te početna ( $w_1$ ) i konačna vlažnost zrna ( $w_2$ ).

Tablica 1                      Rezultati srednjih vrijednosti parametara istraživanja  
Table 1                      Mean values of drying parameters in investigations

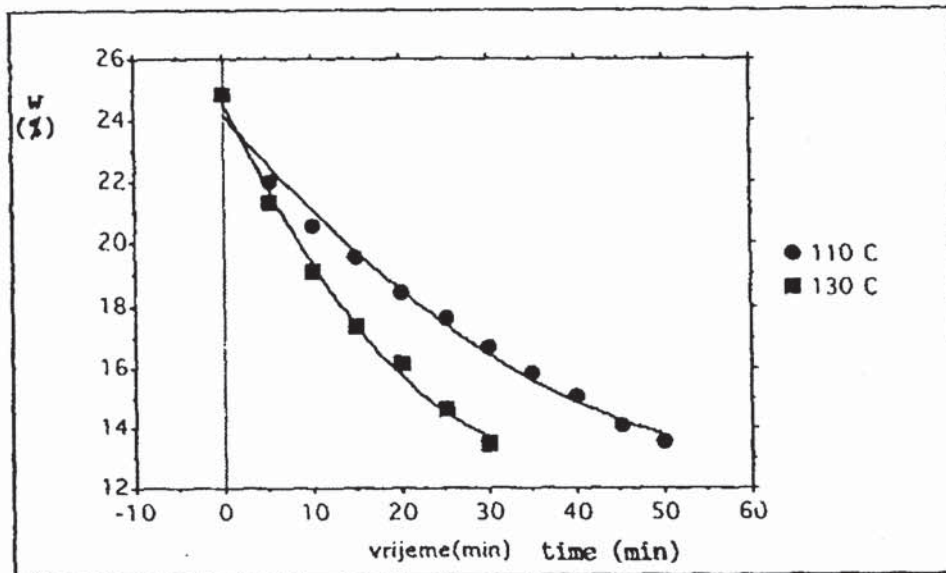
Hibrid Hybrid	$t_1(^{\circ}\text{C})$ zahtjev. demand	$v_2$ m/s	$t_2(^{\circ}\text{C})$ ostvareno realize	$t_0(^{\circ}\text{C})$	$\varphi_0(\%)$	$w_1(\%)$	$w_2(\%)$
Bc 468	110	1,21	111,0	21,2	51,6	24,89	13,54
	130	1,43	130,2	24,2	46,8	24,89	13,47
Zg 43-28	110	1,25	110,4	21,9	45,8	24,30	13,24
	130	1,29	130,4	22,4	46,6	24,30	13,94
OsSK 407	110	1,17	111,3	20,2	40,7	25,00	13,95
	130	1,25	130,4	22,0	48,0	25,00	13,92
Bc 492	110	1,22	110,6	23,2	40,1	24,57	13,78
	130	1,09	131,0	23,0	40,0	24,57	13,92
Bc 48 W	110	1,15	110,8	24,0	42,6	24,98	13,64
	130	1,10	131,2	22,8	43,2	24,98	13,99
x	110	1,20	110,8	22,1	44,54		
s	0	0,04	0,35	1,52	3,85		
x	130	1,23	130,6	22,9	44,92		
s	0	0,14	0,43	0,83	3,28		

Zbog usporedbe vremena sušenja zrna navedenih 5 hibrida kukuruza, na osnovi izmjerenih podataka vlažnosti zrna u 5 ponavljanja na 110°C i 130°C i gubitaka vode u procesu sušenja, utvrđena je srednja vrijednost svih mjerenja trenutačne vlažnosti zrna u određenom vremenu. Na dijagramu 1-5 date su utvrđene srednje vrijednosti brzina sušenja za svaki pojedini hibrid.

Na slici 1 je prikaz dobivenih rezultata hibrida Bc 468.

Slika 1 Brzina sušenja hibrida kukuruza Bc 468 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C

Figure 1 Drying velocity of corn hybrid Bc 468 at the drying air temperatures 110°C and 130°C



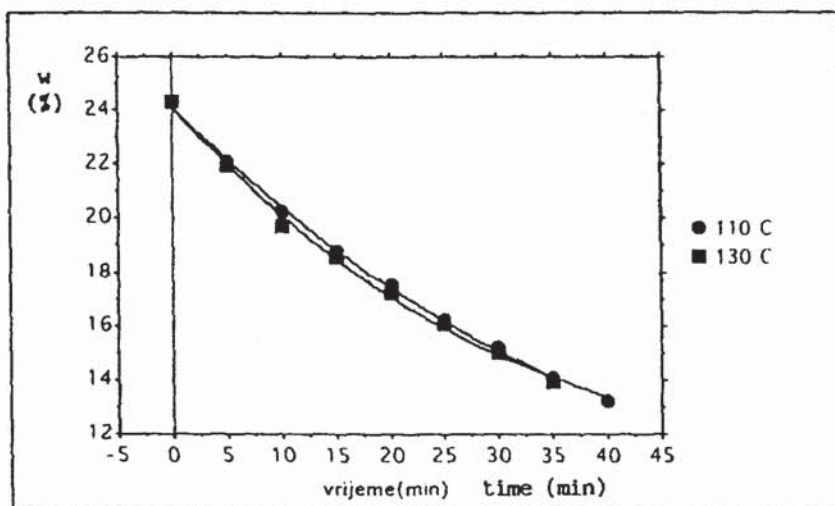
Proces sušenja hibrida kukuruza Bc 468 pri početnoj vlažnosti zrna 24,89% na konačnu 13,47% pri temperaturi zraka od 130°C trajao je 30 minuta. Pri temperaturi zraka od 110°C i pri istoj početnoj vlažnosti na konačnu od 13,54%, trajao je 50 minuta.

Na slici 2 je prikaz dobivenih rezultata hibrida Zg 43-28.

Hibrid kukuruza Zg 43-28 početne vlažnosti 24,30% kod temperature zraka 130°C, osušio se za 35 minuta na vlažnost 13,94%. Sa iste početne vlažnosti, kod temperature 110°C, zrno se osušilo na vlažnost od 13,24% za samo 40 minuta.

Slika 2 Sušenje hibrida kukuruza Zg 43-28 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C

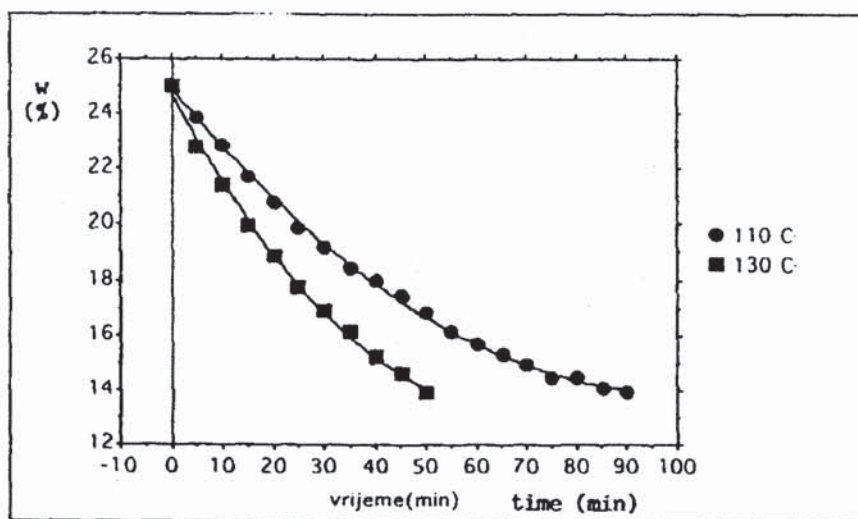
Figure 2 Drying velocity of corn hybrid Zg 43-28 at the drying air temperatures 110°C and 130°C.



Na slici 3 je prikaz dobivenih rezultata za hibrid OSSK 407.

Slika 3 Sušenje hibrida kukuruza OSS 407 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C.

Figure 3 Drying velocity of corn hybrid OSSK 407 at the drying air temperatures 110°C and 130°C.

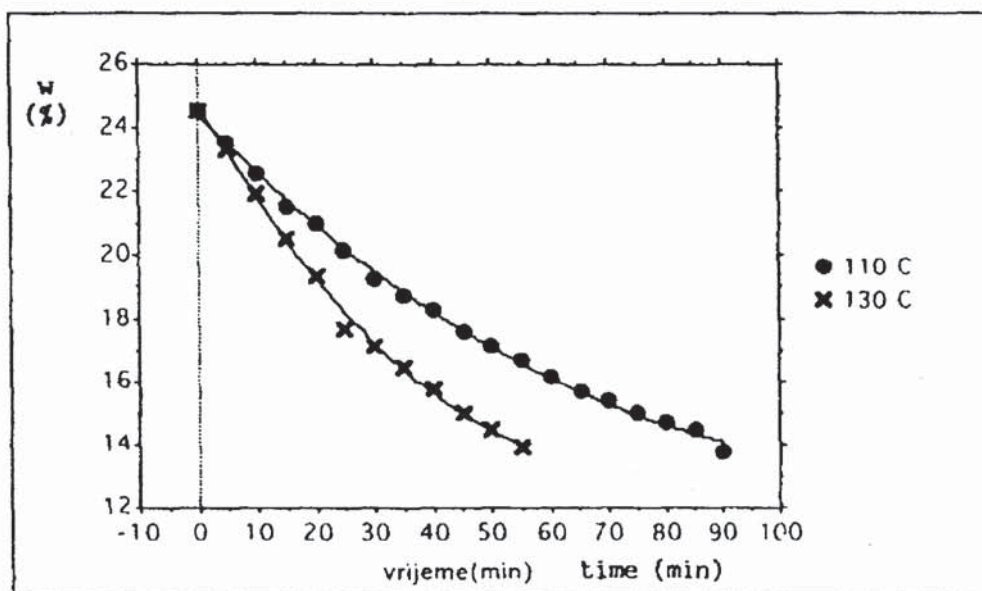


Hibrid kukuruza OOSK 407 početne vlažnosti 25,00% kod temperature zraka 130°C, osušio se za 50 minuta na vlažnost 13,92%. Kod iste početne vlažnosti pri temperaturi od 110°C, zrno se osušilo na vlažnost 13,92% za 85 minuta.

Na slici 4 je prikaz dobivenih rezultata za hibrid Bc 492.

Slika 4 Sušenje hibrida kukuruza Bc 492 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C.

Figure 4 Drying velocity of corn hybrid Bc 492 at the drying air temperatures 110°C and 130°C.



Hibrid kukuruza Bc 492 početne vlažnosti 24,57%, kod temperature zraka 130°C osušio se za 50 minuta na vlažnost 13,92%. Kod iste početne vlažnosti pri temperaturi od 110°C zrno se osušilo za 90 minuta na vlažnost od 13,78%.

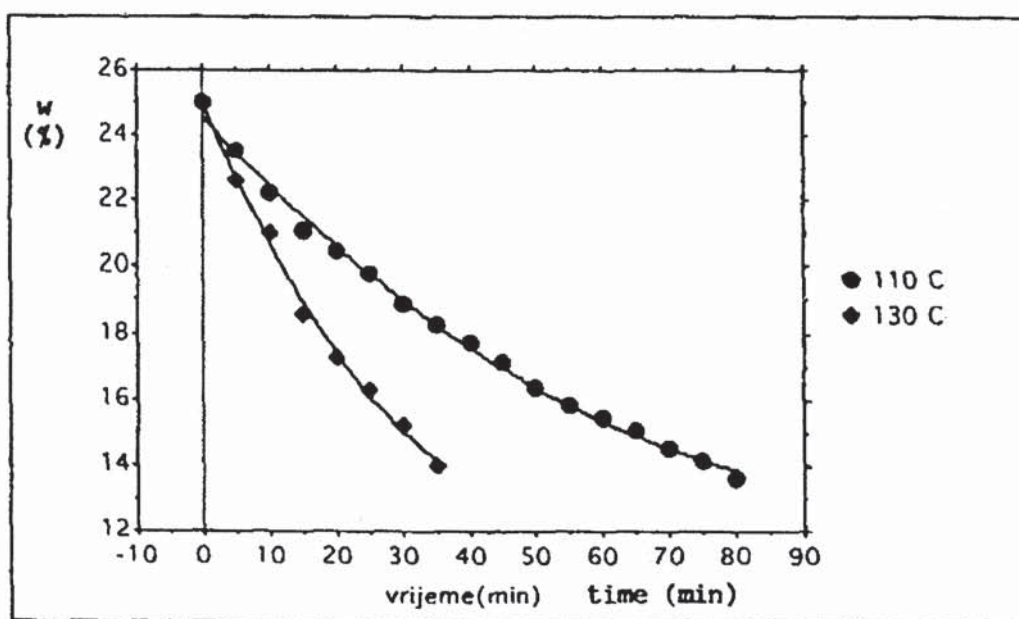
Na slici 5 je prikaz dobivenih rezultata za hibrid Bc 48 W.

Hibrid kukuruza Bc 48 W početne vlažnosti 24,98%, kod temperature zraka 130°C osušio se za 35 minuta na vlažnost 13,99%. Kod iste početne vlažnosti pri temperaturi od 110°C, zrno se osušilo za 80 minuta na vlažnost od 13,64%.



Slika 5 Sušenje hibrida kukuruza Bc 48 W pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C.

Figure 5 Drying velocity of corn hybrid Bc 48 W at the drying air temperatures 110°C and 130°C.



Iz dobivenih vrijednosti proizlazi jednadžba sušenja svakog pojedinog hibrida u odnosu na temperaturu sušenja (tablica 2).

Tablica 2, Jednadžbe sušenja zrna kukuruza ispitanih hibrida  
Table 2 Equations of corn kernels of different hybrids in drying proces

Hibrid - Hybrid	Jednadžba y =	Equation y =
	za $t_z$ (110°C)	za $t_z$ (130°C)
Bc 468	$24,156 - 0,332x + 0,002x^2$	$24,557 - 0,6x + 0,008x^2$
Zg 43-28	$24,12 - 0,4x + 0,003x^2$	$24,083 - 0,438x + 0,004x^2$
OSSK 407	$24,876 - 0,219x + 0,001x^2$	$24,661 - 0,339x + 0,003x^2$
Bc 492	$24,385 - 0,187x + 0,001x^2$	$24,732 - 0,318x + 0,002x^2$
Bc 48 W	$24,594 - 0,215x + 0,001x^2$	$24,958 - 0,47x + 0,05x^2$

## RASPRAVA REZULTATA

Kao što se vidi na tablici 1, sva su istraživanja obavljena uz unaprijed postavljene zahtjeve, za temperaturu zraka na ulazu i brzinu zraka na izlazu, te iste vlažnosti unutar hibrida iz sušare ( $t_1$ ,  $v_2$ ). Vlažnost zrna na ulazu i izlazu iz sušnice svih hibrida kukuruza ( $w_1$ ,  $w_2$ ) bila je približno ista. Uz to postupak sušenja za hibride kod 110°C i 130°C obavljen je u gotovo jednakim uvjetima parametara okoline ( $t_0$ ,  $\varphi_0$ ). Iz navedenog proizlazi da se vrijeme sušenja s temperaturom zraka 110°C može međusobno uspoređivati s vremenom pri sušenju s 130°C.

Tako za hibrid Bc 468 tendencija bržeg sušenja zrna tretiranog sa 130°C u odnosu na 110°C je 66,6%. Za hibrid Zg 43-28 to je samo 14,3%. Hibrid kukuruza OSSK 407 suši se na 130°C za 70% brže u odnosu na 110°C, a hibrid Bc 492 za 63,6%. Hibrid kukuruza Bc 48 W suši se na 130°C u odnosu na 110°C za čak 128,6% brže.

Usporede li se brzina sušenja svih pet hibrida kukuruza pri temperaturi zraka za sušenje od 130°C, uočava se da se hibrid kukuruza Bc 468 najkraće sušio (30 min), te zatim Zg 43-28 i Bc 48 W (35 min) i OSSK 407 (50 min), dok hibrid Bc 492 najduže (55 min). Postotno gledajući to je produženje sušenja za 83,3%.

Kod temperature zraka za sušenje od 110°C još su veće razlike. Najkraće se sušio hibrid Zg 43-28 (40 min), zatim Bc 468 (50 min), i hibrid Bc 48 W (80 min). Najduže su se sušili hibridi kukuruza OSSK 407 (85 min) i Bc 492 (90 min). Proizlazi da se hibrid Zg 43-28 osušio brže za 125%.

## ZAKLJUČCI

Na osnovi vlastitih istraživanja sušenja 5 hibrida kukuruza FAO grupe 400, po tipu zuba (Bc 468, Zg 43-28, OSSK 407, Bc 492, Bc 48 W) i utjecaja temperature (110°C i 130°C) moguće je donijeti sljedeće zaključke:

1. Pri temperaturi zraka za sušenje od 130°C i 110°C kod istih početnih vlažnosti zrna, unutar jednog hibrida, postoji različito vrijeme sušenja. Tako se pri temperaturi zraka od 130°C hibrid kukuruza Bc 468 sušio brže od hibrida Bc 492 za 83,3%. Kod temperature zraka od 110°C hibrid kukuruza Zg 43-28 sušio se brže za 125%.

2. Pri istim uvjetima sušenja kod približno istih početnih vlažnosti zrna hibridi imaju različito vrijeme sušenja, bez obzira što pripadaju istoj FAO grupi i istom tipu. Što je temperatura zraka za sušenje niža (u ovom slučaju 110°C) to je pojava naglašenija. Ono je pri temperaturi zraka od 130°C u odnosu na 110°C trajalo kod hibrida kukuruza Bc 468 za 66,6% duže, a kod hibrida Bc 48 W za čak 128,6%.

## LITERATURA

- Babić, Ljiljana** (1989): Utjecaj nekih hibrida kukuruza na brzinu sušenja sloja zrna debljine 100-300 mm, doktorski rad. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
- Bratko, Justina** (1990): Neujednačenost vlage zrna kukuruza na izlazu iz sušare. VI Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja str. 108-115. Zbornik radova, Tuheljske Toplice.
- Byer, R.K., Anderson, C.R., Brook, R.C.** (1984): Statistical Methods in Thin Layer Drying models. ASAE Paper No. 84-300z. St. Joseph. MI 49085.
- Dubravec, Katarina** (1993): Botanika, Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet, Zagreb.
- Katić, Z.** (1985): Istodobno sušenje kukuruznog zrna raznih sorata i hibrida različite vlage na početku sušenja. Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, str. 86-103. Zbornik radova, Stubičke Toplice.
- Katić i sur.** (1988): Korekcionni faktori kapaciteta sušare kada je vlaga suhog zrna različita od 14%. IV Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, str. 65-80. Zbornik radova, Stubičke Toplice.
- Katić, Z.** (1989.): Prijedlog Pravilnika za konstrukciju i ocjenu postrojenja za sušenje ratarskih proizvoda. V. Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, str. 393-405. Zbornik radova. Toplice Topusko.
- Krička, Tajana** (1993): Utjecaj perforiranja perikarpa pšena kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom, doktorski rad. Agronomski fakultet, Zagreb.
- Li, H., Morey, R.H.** (1984): Thin-Layer Drying of Yellow Dent Corn. Transactions of the ASAE 27 (2).
- Martins, J.H., Stroshine, R.L.** (1987): "Difference in Drying Efficiencies Among Corn Hybrids dried in a High-Temperature Column Batch Dryer", ASAE Paper No. 87-6559, St. Joseph, MI 49085.
- Nedeljkov, M.I., Stakić, M.P.** (1988): Mogućnosti racionalizacije procesa sušenja primjenom postupka s relaksacijom materijala. IV Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, str. 28-38. Zbornik radova, Stubičke Toplice.
- Nelson, S.O.** (1980): "Moisture - dependent Kernel and Bulk - density Relationship for Wheat and Corn". Transactions of ASAE 23 (1).
- Stroshine, R.L., Tuite, J., Crane, P.** (1987): "Effect of Kernel Physical Properties on shelled - Corn thin Layer Drying Rates" ASAE Paper No. 87-6557, St Joseph, MI 49085.

**Adresa autora - Author's address:**

Primljeno: 1. 3. 94.

Dr. sci. Tajana Krička

Dr. sci. Stjepan Pliestić

Agronomski fakultet

Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport

Zagreb, Svetošimunska 25