

PROMJENA BRZINE SUŠENJA ZRNA KUKURUZA U ZAVISNOSTI O HIBRIDU

THE CHANGE OF DRYING VELOCITY ON DEPENDING OF THE TYPE OF HYBRIDS

Tajana Krička i S. Plietić

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 zavisna je 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, kao i konstrukcija sušare.

Kukuruzno zrno koje se u sušari suši istodobno se doprema s raznih mjesta. Takva zrna različite su 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 ima također 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 nemoguće bilo trajno skladištiti. Takvo stanje na tržištu prouzročilo je velike probleme prilikom ocjene postrojenja za sušenje proizvođača sušara i naručioca. Sve to ubrzalo je 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)".

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 (Bc 468, Zg 43-28, OSSK 407, Bc 492, Bc 48 W) is given. All the hybrids are from FAO group 400, subspecies - dent yellow corn.

Hybrid Bc 468 was dried shorter at the air drying temperature of 130 °C for about 83,3% than hybrid Bc 492 at the same temperature.

When the air drying temperature was 110°C this differences was even 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.

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 momentu ubiranja neophodno zrno konzervirati. Najčešće je to sušenjem. Zbog morfološke građe zrna kukuruza, prilikom ispitivanja problema sušenja uz kinematiku sušenja i potrošnju energije po kilogramu isparene vode treba posebno proučiti.

Glede toga "Pravilnik za konstrukciju..." predvidio je da se određivanje kapaciteta sušare i garantiranog rada iste provede na zrnju 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, svi po tipu zubani. Na osnovi rezultata, 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 tijekom tri godine (1985-1987.). U prvoj godini istražena su 11 hibrida, u drugoj 12, a u trećoj 8. Ukupni rezultati statistički i grafički su obrađeni.

Matematički modeli prikazani su pomoću eksponencijalnih jednadžbi, uz obrazloženje da su se hibridi ponašali različito u ovisnosti o godini. *Stroshine* *Tuite* i *Crane* (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.) primijenili su eksponencijalnu jednadžbu koju je postavio *Page* (1949.) za opis sušenja tankog sloja kukuruza tvrdunca 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 radili dva osnovna matematička modela i to mjerenje zrna preko kugle i mjerenje zrna preko paralelopipeda.

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 korištena 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, kako ne postoji korelacija između kinetike i konvektivnog sušenja debelog nepokretnog sloja i FAO grupe hibrida kukuruza. To praktički 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 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 konvekcijom. 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 značajne razlike između dva matematička modela.

Zbog usporedbe vremena sušenja zrna navedenih 5 hibrida kukuruza, na osnovi izmjerenih podataka vlažnosti zrna u 5 ponavljanja na 100°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.

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 za hibrid 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%. S iste početne vlažnosti, kod temperature od 110°C, zrno se osušilo na vlažnost od 13,24% za samo 40 minuta.

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

Hibrid kukuruza OSSK 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.

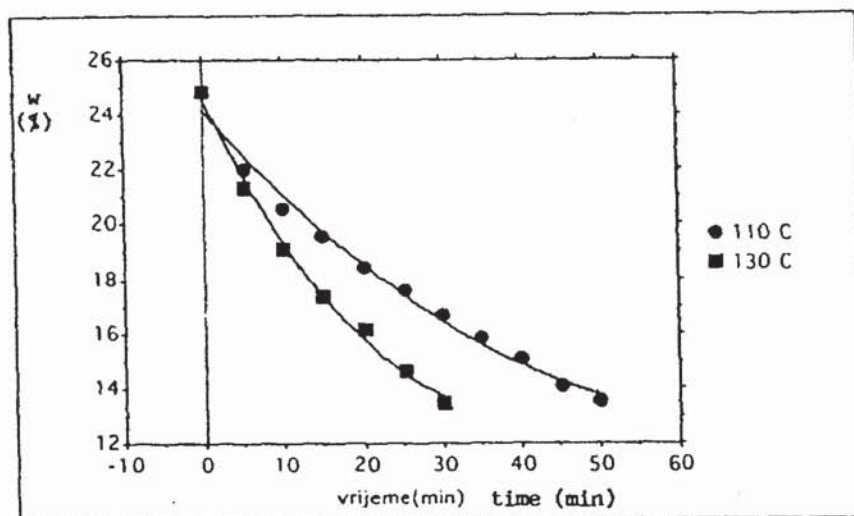
Na slici 4 je prikaz dobivenih rezultata za hibrid Bc 492.

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 .

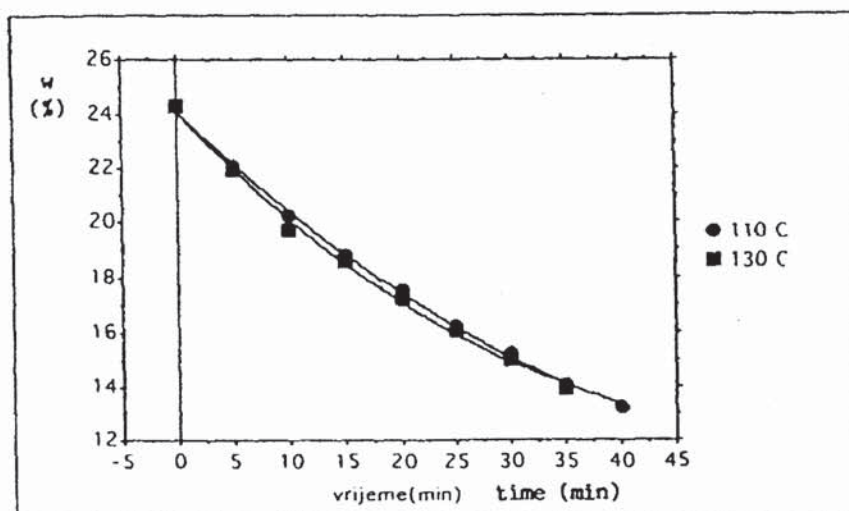
Slika 1 Brzina sušenja hibrida kukuruza Bc 468 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C

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



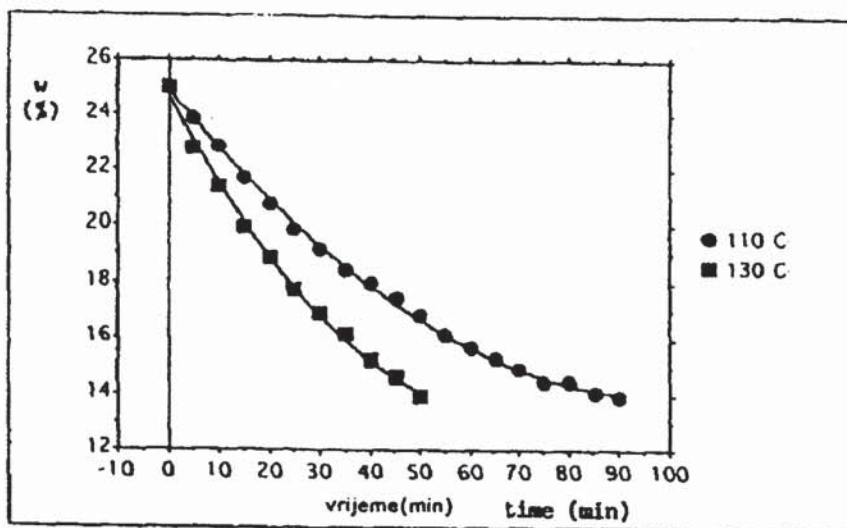
Slika 2 Sušenje hibrida kukuruza Zg 43-28 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C

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



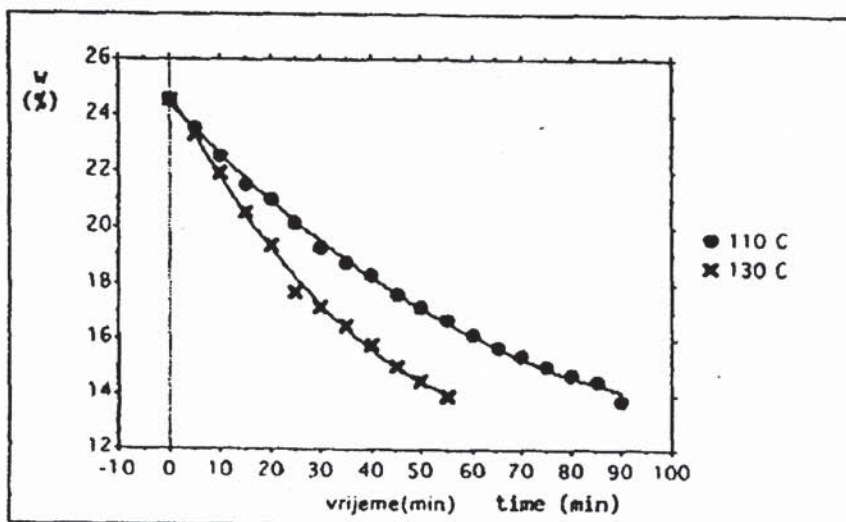
Slika 3 Sušenje hibrida kukuruza OSSK 407 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C

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



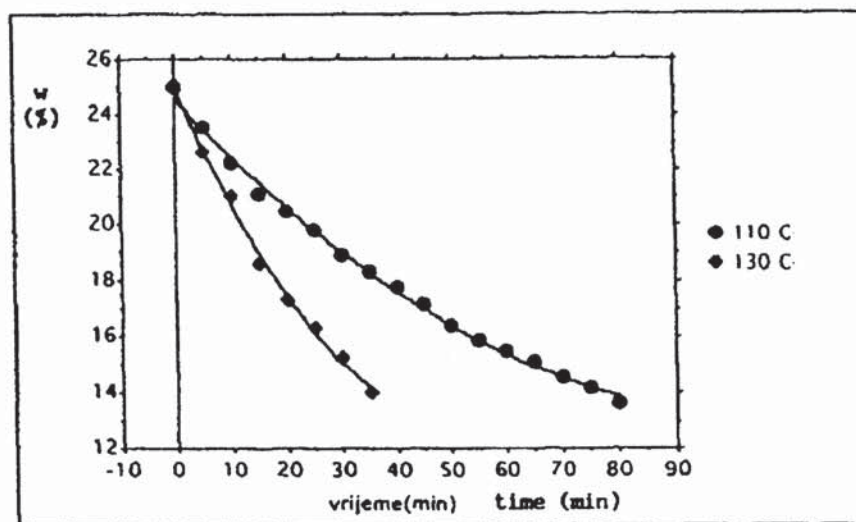
Slika 4 Sušenje hibrida kukuruza Bc 492 pri temperaturi zraka od 110°C i 130°C

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



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

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



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%.

Iz dobivenih vrijednosti proizlaze jednadžbe sušenja svakog pojedinog hibrida u odnosu na temperaturu sušenja (tablica 1)

Tablica 1 Jednadžbe sušenja zrna kukuruza ispitanih hibrida
Table 1 Equations of corn kernels of different hybrids in the drying process

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	$24,594 - 0,215x + 0,001x^2$	$24,958 - 0,47x + 0,05x^2$

METODIKA ISTRAŽIVANJA

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

Ispitivanja su provedena na hibridima kukuruza Bc 468, Zg 43- 28, OSSK 407, Bc 492 i Bc 48 W. Kako bi izbjegli moguća oštećenja prilikom ispitivanja, kukuruz je ubran u klip u 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 mjerena je stvarna temperatura i brzina zraka. Težina zraka 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 2 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 (φ_0), te početna (w_1) i konačna vlažnost zrna (w_2).

Tablica 2 Rezultati srednjih vrijednosti parametara istraživanja
Table 2 Mean values of drying parameters in investigations

Hibrid Hybrid	t_1 (°C) zahtjev. demand	v_2 m/s	t_2 (°C) ostvareno realized	t_0 (°C)	φ_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

Hibrid Hybrid	$t_1(^{\circ}\text{C})$ zahtjev. demand	v_2 m/s	$t_2(^{\circ}\text{C})$ ostvareno realized	$t_0(^{\circ}\text{C})$	$\varphi_0(\%)$	$w_1(\%)$	$w_2(\%)$
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 s	110	1,20	110,8	22,1	44,54		
	0	0,04	0,35	1,52	3,85		
x s	130	1,23	130,6	22,9	44,92		
	0	0,14	0,43	0,83	3,28		

RASPRAVA REZULTATA

Kao što je vidljivo iz tablice 2, sva istraživanja su obavljena kod unaprijed postavljenih zahtjeva, 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 , φ_0). Iz navedenog proizlazi da se vrijeme sušenja temperaturom zraka 110°C može međusobno uspoređivati s vremenom pri sušenju na 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 brže za 70% 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 sušio se 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 u odnosu na 130°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 primenom 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". Transaction 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. 1995.

Dr. sci. Tajana Krička

Mr. sci. Stjepan Pliestić

Agronomski fakultet

Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport

Zagreb, Svetošimunska 25