

BRZINA SUŠENJA PERFORIRANOG I NEPERFORIRANOG ZRNA KUKURUZA NAKON "COOKING" POSTUPKA

DRYING VELOCITY OF PERFORATED AND NONPERFORATED CORN KERNEL AFTER "COOKING" TREATMENT

Tajana Krička, S. Plietić

Izvorni znanstveni članak
UDK: 636.085.64.086.15
Primljeno: 15. srpanj 1994.

SAŽETAK

U ovom radu dat je matematički model sušenja zrna kukuruza hibrida Bc 492, FAO grupe 490, po podvrsti zuban. Obavljena je analiza rezultata zrna koje je sušeno bez ikakvog prethodnog tehnološkog postupka, te zrna koje je prethodno kuhano, pa zatim sušeno i zrna kukuruza koje je prije sušenja perforirano i kuhano, te nakon toga sušeno.

Ključne riječi: zrno kukuruza, sušenje, "cooking" postupak, perforiranje

UVOD

U sveukupnoj proizvodnji ratarskih kultura, kukuruz je u našim krajevima uz pšenicu, najzastupljeniji po zasijanim površinama. Prema podacima koje iznose Pucarić i sur. (1993.) u ukupnim poljoprivrednim resursima Hrvatske, na 76,3 % zasijanih površina kukuruz se uzgaja za proizvodnju suhog zrna, 17,2% za proizvodnju vlažnog zrna za siliranje i 6,4% za proizvodnju silaže čitave biljke.

Uz integralnu tehniku sjetve i zaštite u svijetu se ispituju novi postupci dorade kojima se povećava kakvoća ratarskih proizvoda.

Najčešće se radi na principu termičke obrade i to vrućim zrakom, vodenom parom, elektromagnetskim i radio-valovima različitih valnih duljina i raznim kombinacijama tih postupaka (Putier, 1993). Jedna od tih metoda je i "cooking" metoda, koja se osniva na tretiranju zrna vodenom parom pod tlakom, kako bi mu se

povećala probavljivost. Sedamdesetih godina Katić (1992.) upozorava na novu tehnologiju koja se pojavljuje u svijetu, međutim tada nije bilo odjeka za tu doradu. Puača (1970.) obavlja i prva istraživanja u svezi s toplinskom obradom zrna kukuruza i utjecajem na sastav i efikasnost iskorištavanja zrna.

1.0. PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA

Posljednje vrijeme počinju se ispitivati razni postupci i dorade zrna, te priprema i utjecaj na brzinu sušenja. Kontroliranim provođenjem nekog od ovih postupaka dobije se zrno veće kakvoće (Putier, 1993).

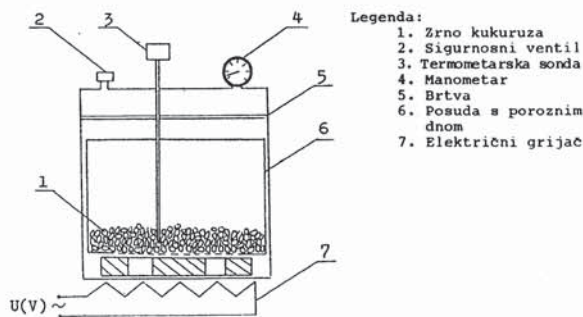
dr. Tajana Krička, Mr. Stjepan Plietić, Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska - Croatia

1.1. "Cooking", tehnološka priprema zrna kukuruza

Kod ovog postupka pripreme primjenjuje se "cooking" kolona. Ta kolona je okomito postavljen bubanj s pet razina u kojima se zrno zadržava određeno vrijeme. Na ulazu u kolonu miješa se zrno i vodena para tlaka od 2 - 5 bara. Zrnom je tako zasićen ulaz u kolonu, gdje se miješa i s razine na razinu pomoću mješalice. Vruća para dodaje se ili ubrizgavanjem ili kondukcijski. Cjelokupni postupak traje od 30 - 60 minuta ovisno o kulturi i konstrukciji mješalice i kolone.

1.2. Modificirani "cooking" postupak pripreme zrna kukuruza

Kod ove metode umjesto "cooking" kolone poslužila je hermetička posuda. Razlika je u tome što se para ne dovodi izvana, nego se zrno uparava vodom s dna posude. U posudu je ugrađena dodatna posuda s poroznim dnom, a ispod nje keramička ploča s rupama, koja odvaja zrno od direktnog dodira s vodom i visokim temperaturama. Para slobodno prolazi i tretira zrno. Posuda je hermetički zatvorena zbog postizanja tlaka. U posudu je ugrađena digitalna termometarska sonda, za očitavanje temperature zrna. Posuda se zagrijava pomoću električnog grijača, a temperatura regulira pomoću promjenjivog otpornika.



Slika 1 - Shematski prikaz hermetičke posude

Osim mogućnosti povećanja kakvoće zrna kukuruza, na tržištu Europe pojavili su se i strojevi koji mehanički, pomoću iglica, perforiraju površinu zrna, radi lakšeg sušenja. Na osnovi laboratorijskih istraživanja (Krička, 1993.) utvrđeno je da perforacija utječe na brzinu sušenja zrna i da je u direktnoj svezi s vlažnošću zrna.

Za perforaciju zrna kukuruza posebno je upotrijebljen laboratorijski "jež".

Zbog takvih novih postupaka sušenja koji još nisu dovoljno istraženi, cilj ovih istraživanja bio je ispitati utje-

caj "cooking" postupka pripreme zrna kukuruza na brzinu sušenja. Usporedno je obavljeno sušenje zrna tretiranog "cooking" postupkom i to neperforirano i perforirano zrno i zrno bez posebne pripreme. Ispitivanja su provedena na zrnu hibrida Bc 492.

Temeljem dobivenih rezultata treba izraditi jednadžbe sušenja za različite metode, te ih statistički i grafički prikazati.

2.0. PREGLED LITERATURE

Mnogo autora već dugi niz godina proučava problematiku sušenja. Provedena ispitivanja bazirana su ili na tankom (elementarnom) sloju ili pak na debelom sloju zrna. Matematičko modeliranje procesa sušenja (gubitak važnosti iz zrna) autori prikazuju najčešće polinomnim, eksponencijalnim ili logaritamskim jednadžbama.

Bloome, Gene (1971.), analiziraju učinke sušenja u debelom sloju s hladnim zrakom i utvrđuju da čimbenici o kojima ovise sušenje zrna su: omjer zraka za sušenje, ravnotežna vlažnost zrna i dan berbe. Također smatraju da proticanje vode u zrno koje se suši ovisi o omjeru koji je nastao zbog evaporacije toplinom i omjeru koji je nastao zbog apsorpiranja vlage.

Interesantno je da autori smatraju kako niti jedna jednadžba sušenja ne može egzistirati kao model.

Tompson (1967.) postavlja logaritamsku jednadžbu sušenja kukuruza tvrdunca u tankom sloju:

$$t = A * \ln(Mr) + B \ln(Mr)^2$$

gdje je t - vrijeme sušenja (sati)

A, B - konstante vezane za karakteristike zrna

Mr - omjer vlage materijala

Li i Morey (1984.) koriste se eksponencijalnom jednadžbom za opis sušenja tankog sloja kukuruza tvrdunca u dvije sezone, s različitim temperaturama zraka i različitim početnom vlažnošću zrna.

$$Mr = \sum_{i=1}^n a_i * \exp(b_i * t)$$

pri čemu je:

Mr - omjer vlage materijala

a_i, b_i - konstante vezane za karakteristike zrna

n - broj uzoraka u seriji

Koeficijenti a_i i b_i za pojedini uvod mogu se prikazati kao funkcija elemenata sušenja.

Byler i sur. (1984.) postavljaju statističke metode i krivulje sušenja tankog sloja zrna kukuruza. Autori rade usporedbe krivulja sušenja pomoću nelinearne regresije. Temeljem dobivenih istraživanja postavljaju sferni model ili model kugle i cilindrični model ili model paralelepipeda. Autori smatraju da ovakav pristup treba još ispitivati.

Parry i sur. (1985.) postavljaju diferencijalnu jednadžbu konvektivnog sušenja za debeli sloj zrna kukuruza i to:

$$\frac{\delta u}{\delta t} * A * \frac{\delta u}{\delta x} + B * \frac{\delta u}{\delta y} = b$$

gdje se kao pretpostavka uzima da je protjecanje zraka u x- pravcu, a protjecanje zrna u y-pravcu. Za ovaj sustav jednadžbi neophodno je izabrati odgovarajuće početne i granične uvjete.

Katić i sur. (1989.), istražuju relativan odnos brzine sušenja kukuruza kod različitih hibrida i različitih temperatura sušenja. Za sve dobivene rezultate mjerenja primijenjena je eksponencijalna jednadžba $y = a * x * e^b$. Koeficijent korelacije za sve dobivene vrijednosti bio je veliki i ne ispod $R = 0,99$.

Babić, Ljiljana (1989.) analizira utjecaj vrste hibrida kukuruza na kinetiku konvektivnog sušenja triju sorata hibrida različitog vremenskog dozrijevanja. Autorica zaključuje kako ne postoji korelacija između kinetički konvektivnog sušenja debelog nepokretnog sloja i FAO grupe hibrida kukuruza. To znači da se kvalitativno svojstvo materijala za sada ne može izraziti kao kvantitativna veličina u matematičkom modelu.

Krička Tajana (1993.) postavlja eksponencijalne jednadžbe sušenja kukuruza deset različitih hibrida i utvrđuje da pri istim uvjetima temperature i relativne vlage okoline, te temperature zraka na ulazu u sušaru, kod približno istih početnih vlažnosti zrna različiti hibridi imaju različito vrijeme sušenja. Kod toga autorica analizira exponent jednadžbe i utvrđuje da exponenti pokazuju tendenciju brzine sušenja i što ima exponent veću vrijednost, sušenje je brže.

Također prati sušenje hibrida nakon perforacije površine zrna i utvrđuje da zrno kukuruza s početnom vlažnošću manjom od 23%, prilikom sušenja ne daje nikakvo povećanje brzine sušenja. Zrno kukuruza s početnom vlažnošću većom od 25% prilikom sušenja daje znatno povećanje brzine sušenja i to ovisno o hibridu od 2,76% do 33,5%.

3.0. METODIKA ISTRAŽIVANJA

Provedena istraživanja obavljena su na srednje ranom hibridu kukuruza, po podvrsti zubanu, Bc 492 FAO grupe 490. Kukuruz je ručno ubran i runjen, kako bi se izbjegla moguća oštećenja. Vlažnost zrna, određena standardnom etalonskom metodom iznosila je između 20 - 22%. Razlog tako niske vlažnosti zrna bila je izuzetno sušna 1993. godina. Za pripremu zrna "cooking" metodom upotrijebljena je hermetička posuda u kojoj se zrno usporava vodom koja se nalazi na dnu posude. Sam "cooking" postupak trajao je 10 min od trenutka kada je temperatura u posudi postigla 100°C.

Uzorak, ukupne mase od 5 kg razdijeljen je na mehaničkom gravitacijskom razdjeljivaču na tri jednaka dijela. Prvi dio uzorka, odmah nakon određivanja vlažnosti, je sušen. Drugi dio uzorka je prije sušenja pripremljen "cooking" metodom, a zatim sušen. Treći dio uzorka je na "cooking" postupak stavljen neposredno nakon perforiranja površine zrna.

Dubina perforacije izmjerena je na osnovi aproksimativnih dimenzija zrna kukuruza (Mohsenin, 1970.), tj. osnovne dimenzije (dužina, širina i debljina) izražene u mm, na 100 slučajno uzetih zrna, i konstrukcije "ježa". Mjerenje broja uboda u zrno kukuruza obavlja se pomoću lupe, vizualno. Svako je zrno nakon perforiranja pregledano i određen je broj uboda.

Za istraživanja je služio laboratorijski model sušnice, u kojoj su sušeni uzorci bez obzira kako pripremljeni. Modelski eksperiment planiran je tako da simulira stvarni proces koji se obavlja u industrijskim postrojenjima. Zbog toga je izabiranje utjecajnih činitelja na proces sušenja i izbor njihovih razina značajan. To su:

- temperatura zraka neposredno prije ulaska u sloj zrna (t_1 °C)
- brzina kretanja zraka nakon prolaska kroz sloj zrna (v_2 m/s)
- visina sloja zrna
- početna vlažnost mase zrna
- konačna vlažnost mase zrna

Izbor razine navedenih utjecajnih činitelja obavljen je tako da se oni kreću u graničnim vrijednostima koji se ostvaruju kod procesa sušenja i zadane vrijednosti: $t_1 = 110$ °C, $v_2 = 0,9 - 1,1$ m/s, uz debljinu sloja od 15 cm.

Kroz cijelo razdoblje istraživanja praćena je temperatura i relativna vlažnost zraka okoline.

U samom procesu sušenja zrna, da bi se utvrdila krivulja sušenja zrna svakih 5 minuta obavljat će se vaganje uzorka do vlažnosti zrna od približno 14 %.

Etalonski uzorak (samo sušeni) u ukupnom broju ponavljanja ponovljen je deset puta, a uzorci pripremljeni "cooking" postupkom tri puta po deset uzoraka.

Cilj ovih istraživanja je dobivanje prosječne usporedne krivulje brzine sušenja za sve tri navedene pripreme.

MJERNI INSTRUMENTI I PRIBOR

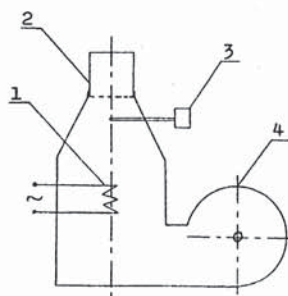
a) Laboratorijski model sušnice

Laboratorijska sušnica izrađena je u Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomskog fakulteta u Zagrebu. Sastoji se od 3 razdvojive cjeline, koje se međusobno spajaju vijcima, umetanjem jedne u drugu.

Prva cjelina je donji dio sušnice (postolja) dimenzije 300x350x120 mm, u kojem se nalazi ventilator s grijačem snage 1 kW. Ventilator usisava okolni zrak. Nakon ulaska u donji dio sušnice, zrak prolazi kroz perforirani lim, promjera rupa 15 mm i gustu mrežicu radi homogeniziranja polja strujanja zraka u drugu cjelinu okruglog oblika promjera 200 mm i visine 270 mm. Tu se zrak zagrijava i usmjerava prema sušenom dijelu sušnice do promjera 78 mm.

U sušeni dio umeće se treća cjelina, okrugle posude s uzorkom, aktivnog promjera 76 mm i visine 120 mm. Na dnu posude ugrađena je gusta čelična mreža četvrtastog promjera 1 mm.

Električni grijač napaja se izmjeničnom strujom, s mogućnošću podešavanja napona, a time i temperature zraka sušenja. Podešavanje napona obavlja se ručno na regulacionom transformatoru. U električni krug vezani su i voltmetar, ampermetar i wattmetar.



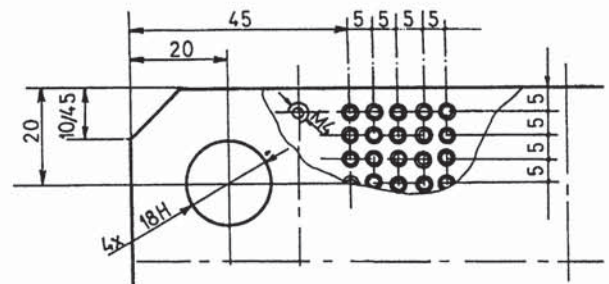
- Legenda:
1. Električni grijač
 2. Posuda s perforiranim dnom
 3. Digitalna sonda Pt 100
 4. Ventilator

Slika 2 - Laboratorijski model sušnice

Brzina zraka, odnosno regulacija rada ventilatora obavlja se također ručno, pomoću regulacionog transformatora. Mjerenje zadane temperature zraka obavlja se pomoću sonde PT 100 i to neposredno prije ulaska u uzorak. Brzina zraka nakon prolaza kroz sloj uzorka mjerena je pomoću digitalnog anemometra (slika 2).

b) Laboratorijski uređaj za perforiranje površine zrna kukuruza "jež"

Za perforiranje perikarpa zrna kukuruza upotrijebljen je laboratorijski "jež" dimenzije 180x160 mm. Sastoji se od 589 igala i to 31x19 igala. Razmak između igala je 5 mm između središta kruga dviju igala (slika 3).



Slika 3 - Razmak između središta kruga igala

Igle su visokolegirane i zavarene u 2 čelične ploče Če 0361, debljine 30 mm i 7 mm. Da se prilikom perforiranja perikarpa zrna igla ne bi pomakla ili pukla, između zrna i igala stavljena je perforirana čelična ploča debljine 5 mm.

Tehnološki postupak zahtijeva da se zrno perforira u elementarnom sloju. Stoga je prostor za zrno ispod igala visine 7 mm, kako bi zrno bilo u elementarnom sloju i isključivo ležalo po širini. U tom je prostoru tavica dimenzije 250x100 mm u koju se slaže zrno kukuruza i ugrava ispod igala kroz cijelu površinu s iglama za perforiranje zrna.

Zbog boljeg i jednoličnijeg pritiska na zrno kukuruza nad čeličnim pločama s iglama postavljena je specijalna glava, preko koje se pomoću ručnog ekscentra pomiču čelične ploče s iglama. Cijela gornja konstrukcija postavljena je na 4 opruge, koje su pričvršćene vijkom i maticom promjera 18 mm.

Prilikom maksimalnog pomaka gornje ploče razmak između vrha igala i donje ploče je 4,8 mm. Vrh igle je izrađen pod kutem od 20°, a R vrha igle je 0,1, tako da igla prilikom ulaska u zrno kukuruza ne trga površinu, te samim tim "srh" u zrnu je zanemariv. Ovisno o debljini

zrna kukuruza koje se perforira mijenja se i dubina perforacije, a time i površina otvora na zrnu.

4.0. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Srednje vrijednosti čimbenika koji utječu na sušenje zrna kukuruza Bc 492

Temeljem izmjerenih i izračunatih podataka na tablici 1a date su srednje vrijednosti ukupnih mjerenja temperature okoline (t_o), relativne vlažnosti zraka (φ_o), apsolutnog sadržaja vode okolnog zraka (x_o), specifične entalpije (h_o), temperature vrućeg zraka na ulazu u sušaru (t_1), brzine zraka na izlazu iz sušare (v_2), te početna vlažnost zrna kukuruza (w_1).

4.2. Približne dimenzije zrna kukuruza Bc 492

Temeljem dobivenih rezultata, prosječna vlažnost zrna bila je $w_1 = 22,00\%$. Kod te vlažnosti određene su približne dimenzije zrna kukuruza Bc 492, dužina, širina, debljina (izražena u mm). Mjerenja (pomoću pomičnog mjerila) napravljena su na uzorku od 100 slučajno uzetih zrna i dobiveno je:

- dužina = 11,52 mm
- širina = 8,68 mm
- debljina = 4,56 mm

Kod toga je prosječan broj uboda u površinu zrna iznosio 2,28 uboda, a površina isparavanja zrna nakon perforacije bila je $0,158 \text{ mm}^2$.

Tablica 1a - Srednje vrijednosti zadanih i izračunatih čimbenika pri sušenju zrna kukuruza Bc 492 (bez ikakve pripreme)

Hibrid Bc 492	t_o (°C)	φ_o (%)	t_1 (°C)	x_o (kg/kg)	h_o (kJ/kg)	v_2 (m/s)	w_1 (%)
x	19,4	85,3	111,9	0,0132	52,25	0,49	22,50
x	0,427	2,03	0,48	0,00039	1,46	0,06	

Kako je brzina zraka mjerena deflektorom, stvarna brzina zraka iznosila je $v_{st} = 1,1 \text{ m/s}$.

Tablica 1b - Srednje vrijednosti izračunatih čimbenika pri sušenju neperforiranog zrna kukuruza Bc 492 neposredno nakon "cooking" postupka

Uzorak	w_1 (%)	φ_o (%)	t_o (°C)	t_{zad} (°C)	t_1 (°C)	x_o (kg/kg)	h_o (kJ/kg)	v (m/s)
1	22,56	75,5	25,9	110	112,2	0,0155	66,89	0,5
2	21,74	74,6	24,4	110	110,3	0,0155	59,35	0,5
3	22,94	75,5	23,9	110	112,3	0,0181	70,64	0,48
4	22,84	81,1	25,5	110	112,9	0,0190	78,58	0,49
5	22,72	77,5	23,4	110	110,7	0,0175	67,29	0,48
6	22,67	80,3	25,0	110	112,2	0,0190	73,56	0,48
7	22,19	75,3	26,2	110	107,8	0,0196	82,34	0,48
8	23,25	79,3	25,9	110	114,3	0,0215	77,33	0,48
9	22,17	75,5	26,3	110	112,7	0,0203	79,88	0,5
10	22,99	71,1	22,9	110	113,1	0,0162	71,1	0,5
x	22,61	76,57	22,94	110	111,85	0,0182	72,70	0,49
s	0,45	3,01	1,22	0	1,82	0,0020	7,07	0,01

$v_{st} = 1,1 \text{ m/s}$

Tablica 1c - Srednje vrijednosti zadanih i izračunatih čimbenika pri sušenju perforiranog zrna kukuruza Bc 492 neposredno nakon "cooking" postupka

Uzorak	w _i (%)	φ ₀ (%)	t ₀ (°C)	t _{zad} (°C)	t ₁ (°C)	x ₀ (kg/kg)	h ₀ (kJ/kg)	v (m/s)
1	22,90	78,6	26,3	110	113,2	0,0175	66,88	0,5
2	22,07	80,8	27,8	110	113,6	0,0192	66,15	0,5
3	22,56	80,5	27,6	110	113,5	0,0215	85,69	0,48
4	22,49	81,1	25,7	110	111,7	0,0195	77,33	0,47
5	22,06	75,5	24,3	110	111,7	0,0185	71,06	0,48
6	22,29	76,8	25,7	110	112,2	0,0190	77,33	0,5
7	22,50	79,1	25,7	110	114,0	0,0202	76,07	0,48
8	22,15	79,0	25,7	110	112,9	0,0212	75,24	0,5
9	22,55	78,6	26,2	110	114,8	0,0205	79,58	0,5
10	21,57	75,0	24,4	110	113,0	0,0192	73,15	0,5
x	22,31	78,50	25,94	110	113,06	0,020	74,85	0,49
s	0,97	2,13	1,14	0	0,99	0,0010	5,87	0,01

v_{st} = 1,1 m/s

4.3. Srednje vrijednosti vlažnosti i jednadžbe sušenja za osušeno zrno i zrno osušeno nakon "cooking" postupka i perforirano, te osušeno nakon "cooking" postupka

Na osnovi izmjerenih podataka vlažnosti zrna, te postotaka gubitaka vode u procesu sušenja na 110°C u 10 ponavljanja za osušeno zrno, te tri puta po 10 ponavljanja za zrno osušeno nakon "cooking" postupka (neperforirano i perforirano), dobivena je srednja vrijednost svih mjerenja. Na tablici 2 (a, b, c) date su izmjerene vrijednosti vlažnosti uzoraka.

Da bi se dobivene jednadžbe mogle međusobno usporediti, moralo se dokazati da su ispitivanja obavljena kod statistički približno istih vlažnosti zrna. Statistička obrada obavljena je "X² testom" i dobivena je signifikantnost 99%. Proizlazi da su ispitivanja provedena kod uzoraka iste vlažnosti.

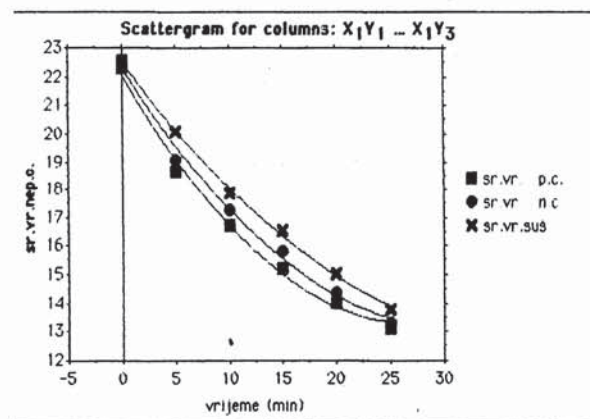
Jednadžbe sušenja svih dobivenih mjerenja glase:

$$\text{sušeno: } y = 22,537 - 0,513x + 0,07x^2$$

$$\text{neper. "cooking"/sušeno: } y = 22,329 - 0,595x + 0,01x^2$$

$$\text{perf. "cooking"/sušeno: } y = 22,06 - 0,649x + 0,012x^2$$

Dobivene vrijednosti grafički su prikazane na slici broj 4.



Slika 4 - Jednadžbe sušenja svih dobivenih mjerenja

Međusobna korelacija i korelacija u odnosu na vrijeme sva tri dijela uzorka dane su na tablici 3.

Tablica 2a - Srednje vrijednosti sušenja zrna kukuruza Bc 492

	min	0,01	5	10	15	20	25	Jednadžba y=	r	r ²	s _x
x	(%)	22,6	20,10	17,87	16,54	15,04	13,83	22,537- 0,513x+0,07x ²	1	1	0,03

Tablica 2b - Srednje vrijednosti sušenja neperforiranog zrna kukuruza Bc 492 neposredno nakon "cooking" postupka

Vrijeme (min)										
Uzorak	0,01	5	10	15	20	25	Jednadžba y=	r	r ²	s _x
1	22,56	18,53	16,86	15,59	14,41	13,61	22,18-0,658x+0,13x ²	0,99	0,98	0,09
2	21,74	18,42	16,45	15,32	14,10	12,90	22,466- 0,577x+0,01x ²	0,99	0,99	0,07
3	22,94	18,70	16,62	15,23	13,86	12,62	22,551- 0,705x+0,013x ²	0,99	0,99	0,09
4	22,84	19,21	17,47	15,63	14,47	13,69	22,625- 0,65x+0,012x ²	1	0,99	0,06
5	22,72	19,86	18,84	16,95	14,89	13,17	22,444- 0,397x+0,001x ²	1	0,99	0,08
6	22,67	19,03	17,39	15,99	14,72	13,75	22,355- 0,602x+0,011x ²	0,99	0,99	0,07
7	22,19	19,16	17,25	15,60	14,67	13,63	22,051- 0,579x+0,01x ²	1	1	0,04
8	23,25	19,45	17,47	16,22	14,23	13,06	22,912- 0,623x+0,09x ²	0,99	0,99	0,09
9	22,17	19,14	17,20	15,58	13,68	12,66	22,033- 0,558x+0,007x ²	1	1	0,04
10	22,99	19,36	17,61	16,27	15,08	14,00	22,672- 0,606x+0,011x ²	0,99	0,99	0,08
x	22,61	19,09	17,32	15,84	14,41	13,31	22,329-0,595x+0,01x ²	1	0,99	0,07

Tablica 2c - Srednje vrijednosti sušenja perforiranog zrna kukuruza Bc 492 neposredno nakon "cooking" postupka

Vrijeme (min)										
Uzorak	0,01	5	10	15	20	25	Jednadžba y=	r	r ²	s _x
1	22,90	19,20	16,90	15,05	13,72	12,92	22,752- 0,719x+0,013x ²	1	1	0,04
2	22,07	17,30	15,57	14,42	13,64	13,27	21,596- 0,782x+0,018x ²	0,99	0,98	0,11
3	22,56	18,82	17,20	15,05	13,62	12,34	22,298- 0,627x+0,009x ²	1	0,99	0,07
4	22,49	19,09	17,52	15,60	14,45	13,61	22,296- 0,603x+0,01x ²	1	0,99	0,05
5	22,06	18,86	16,95	15,89	14,09	13,33	21,836- 0,564x+0,09x ²	1	0,99	0,07
6	22,29	19,16	16,23	14,68	13,83	12,96	22,282- 0,717x+0,014x ²	1	1	0,21
7	22,50	19,17	17,17	15,79	14,97	13,51	22,236- 0,589x+0,01x ²	0,99	0,99	0,08
8	22,15	18,57	16,76	15,21	14,06	13,47	21,933- 0,649x+0,013x ²	1	0,99	0,05
9	22,55	18,91	17,28	15,62	14,07	13,34	22,297- 0,622x+0,011x ²	1	0,99	0,07
10	21,57	17,35	16,19	14,86	13,82	12,90	21,078- 0,62x+0,12x ²	0,99	0,97	0,12
x	22,31	18,64	16,78	15,22	14,03	13,16	22,06- 0,649x+0,012x ²	1	0,99	

Tablica 3 - Korelacijske matrice za varijable $x_1 - x_4$

	vrijeme	neperforirano	perforirano	prirod.
vrijeme	1			
neperfor.	-1	1		
perfor.	-0,99	1	1	
prirod.	-0,99	1	1	1

5.0. RASPRAVA REZULTATA

U vrijeme ubiranja većina zrnatih proizvoda ima veću vlažnost od higroskopne. Zbog toga da bi se mogao uskladištiti mora se konzervirati. Jedan od načina je i sušenje.

Poznato je da najveći dio vode iz zrna kukuruza tijekom sušenja odvaja se na mjestu gdje je zrno bilo u biološkoj vezi s klipom. Također je uočeno da se oštećena zrna brže suše od cijelih (Katić, 1985.).

Uočivši te karakteristike posljednjih godina pojavili su se strojevi koji mehanički, pomoću iglica, perforiraju perikarp zrna kukuruza radi lakšeg sušenja. Usporedno počinju se istraživati razni postupci za dobivanje veće kakvoće zrna. Jedan od takvih postupaka je i "cooking" postupak.

Glede navedenog, provedena su istraživanja sušenja zrna kukuruza Bc 492 FAO grupe 490, po podvrsti zuban. Obavljeni su pokusi sušenja neperforiranog i perforiranog zrna kukuruza na laboratorijskoj sušnici. Zrno je prije sušenja bilo podvrgnuto kuhanju (tzv. "cooking" metoda) u hermetičkoj posudi, te odmah sušeno. Polovica tretiranog uzorka zrna kukuruza "cooking" metodom, neposredno prije tretiranja bila je perforirana u "ježu" - laboratorijskom modelu za perforaciju zrna. Usporedno je sušeno zrno hibrida bez ikakvog tretiranja osim sušenja.

Svi uzorci ispitivani su pod jednakim režimom rada sušenja i pri gotovo istoj temperaturi i relativnoj vlazi okoline. Vlažnost zrna bila je približno ista i to od 22,56% do 22,90%.

S toga razloga jednadžbe sušenja u sva tri postupka (osušeno; "cooking" - osušeno; perforirano - "cooking" - osušeno) mogu se usporediti.

Analizirajući općenito jednadžbe jednadžbe sušenja uočava se da njezina druga varijabla ima znak "minus", što znači da krivulja pada; proizvod se suši. Isto tako, što koeficijent druge varijable ima veću vrijednost to je sušenje brže. Sva istraživanja dala su vrlo visoke

korelacije ($R = 0,98-1$). Tako dobivene vrijednosti u literaturi potvrđene su (Katić i sur., 1987.).

Usporede li se međusobno brzine sušenja uočava se, da se najprije sušilo zrno kukuruza koje nije prošlo nikakvo tretiranje. Zrno kukuruza koje je bilo prije kuhano, a zatim sušeno, osušilo se za 3,76% prije od osnovnog. Perforirano i kuhano zrno, pa zatim sušeno, osušilo se za 4,84%.

Usporede li se međusobno brzine sušenja neperforiranog i perforiranog zrna obrađeno "cooking" postupkom, perforirano zrno suši se brže za 1,13%.

Tako male vrijednosti brzine sušenja, potvrđuju prethodna istraživanja (Krička, 1993.), da zrno kukuruza s početnom vlažnošću manjom od 25% nema smisla perforirati, jer nema značajnih pozitivnih rezultata.

Međusobna korelacija i korelacija u odnosu na vrijeme sva tri postupka potvrđuje da postoje vrlo velike međusobne zavisnosti između uzoraka, jer se radi o istom hibridu. Bez obzira na obradu "cooking" metodom, korelacija između uzoraka obrađenih "cooking" metodom i uzoraka sušenih bez pripreme vrlo je visoka i kreće se oko 1,00.

6.0 ZAKLJUČAK

Temeljem vlastitih istraživanja "cooking" postupka pripreme zrna kukuruza hibrida Bc 492 na brzinu njegovog sušenja, te utjecaja perforacije zrna na sušenje, može se zaključiti sljedeće:

1. Statističkom obradom vlažnosti - sušenog zrna, te "cooking" postupkom tretiranog zrna i zatim sušenog i perforiranog i "cooking" postupkom tretiranog zrna, a zatim sušenog, proizlazi da je signifikantnost 99%. Znači da su ispitivanja provedena kod statistički istih vlažnosti zrna.

2. Analizom rezultata međusobne usporedbe zrna kukuruza Bc 492 koji je sušen bez "cooking" postupka uz vlažnost 22,60% i s "cooking" postupkom utvrđeno je da se zrno tretirano "cooking" postupkom uz vlažnost 22,56% osušilo brže za 3,76%.

3. Perforiranjem zrna, odnosno bušenjem perikarpa, sjemene teste i perifernog dijela endosperma, s prosječno 2,28 rupica po zrnu, uz prosječnu vlažnost od 22,90% zrno kukuruza Bc492 nakon perforacije, te postupka "cooking" postupka i sušenja, osušilo se od zrna kukuruza samo sušenog brže za 4,84%.

4. Usporedbom ovih rezultata uočava se da "cooking" postupak kod nižih vlažnosti zrna (oko 22%) bitno ne utječe na brzinu sušenja. Također se potvrđuje da

postupak perforacije nema bitnog utjecaja na brzinu sušenja zrna pri nižim vlažnostima zrna kukuruza (ispod 25%).

Smatra se da bi ovakav postupak dao daleko veće rezultate kada bi vlažnost zrna bila veća. Kako je 1993. godina bila atipična glede klimatskih uvjeta, istraživanja treba proširiti i na iduće razdoblje.

7.0. LITERATURA

1. Babić, Ljiljana (1989): Utjecaj nekih hibrida kukuruza na brzinu sušenja sloja debljine 100-300 mm, Doktorska disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
2. Bloome, P.D., C.S. Gene (1971): Neaer Equilibrium Simulation of Shelled Corn Dry, Transaction of ASAE.
3. Byler, R.K., C.R. Anderson, R.C. Brook (1984): Statistical Methods in thin Layer Drying models-American Society of Agricultural Engineers, Paper No. 84-3007, St. Joseph, Michigan.
4. Katić, Z., Tatjana Krička i S. Plietić (1989): Utjecaj visokotemperaturnog predušenja na energetska i materijalnu bilancu sušenja kukuruza. V. Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Toplice Topusko.
5. Katić, Z. (1992): Proces kuhanja zrnate hrane i prerade pahuljica od zrnja za brži prirast stoke, Seminar peletiranja i dorade krmnih smjesa, Stubičke Toplice.
6. Krička, Tajana (1993): Utjecaj perforiranja perikarpa pšena kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom, Agronomski fakultet, Doktorska disertacija, Zagreb.
7. Li, H., R.V. Morey (1984): Thin-Layer Drying of Yellow Dent Corn, Transactions of the ASAE.
8. Mohsenin, N.N. (1970): Physical properties of plant and animal materials, New York.
9. Parry, J.L. i sur. (1985): Mathematical Modelling and computer simulation of Heat and Mass Transfer in Agricultural Grain Drying, A. Review, Journal of agricultural Engineering, Research, Purdue.
10. Puača, V. (1970): Utjecaj hidrotermičkog tretmana kukuruza vodenom parom na njegov sastav i efikasnost iskorištavanja, Krmiva 8, Zagreb.
11. Pucarić i sur. (1993): Prinosi i tehnologija proizvodnje kukuruza u Hrvatskoj u ekstremnoj sušnoj 1993. godini, Poljoprivredne aktualnosti 3-4, Agronomski fakultet, Zagreb.
12. Putier, F. (1993): Product quality and thermal treatment, Feed mix, vol. 1, number 2.
13. Tompson, T.L. (1967): Predicted Performance and Optimal Design of convection Grain Dryers. Ph. D. Thesis, Department of Agricultural.

SUMMARY

In this paper kernel of hybrid Bc 492, FAO group 490, yellow dentcorn was given a mathematical model of drying corn. In the investigation the first sample of corn kernel was dried without any treatment.

The second sample was cooked before drying and the third one was perforated and cooked before drying.

Keywords: corn kernel, drying, "cooking" treatment, perforating

TVORNICA STOČNE HRANE »VALPOVKA« KOMBINAT VALPOVO

PROIZVODI 39 GODINA ZA VAS!

- SVE VRSTE GOTOVIH SMJESA,
- SUPER KONCENTRATE,
- PREMIKSE I DODATKE STOČNOJ HRANI,
- BRIKERIRANU I RINFUZ STOČNU SOL

STOČARI I POLJOPRIVREDNICI!

TRAŽITE DJETELINU SA ČETIRI LISTA
ZA DOBRO VAŠIH DOMAĆIH ŽIVOTINJA

»VALPOVKA« =

- BRŽI PRIRAST
- JEFTINIJA PROIZVODNJA
- BOLJA KVALITETA PROIZVODA

