

## PROMJENA VOLUMENA I DIMENZIJA ZRNA NAKON UMJETNOG SUŠENJA

### CHANGE IN VOLUME AND DIMENSIONS OF CORN KERNEL AFTER ARTIFICIAL DRYING

S. Sito

Izvorni znanstveni članak  
UDK: 636.085.64.7.086.15.  
Primljeno: 15. srpanj 1994.

#### SAŽETAK

U radu je prikazan utjecaj vlažnosti zrna kukuruza, te različitih temperatura i brzina zraka za sušenje, na promjenu volumena zrna. Tijekom sušenja zrna kukuruza smanjuje se volumen. Prema dobivenim podacima to smanjenje iznosi 24,8 % (ako se zrno pri vlazi od 32,7 % osuši na 13,2 %, uz temperaturu sušenja 85 °C). Istraživanje je provedeno na hibridu Bc 492, pri temperaturi zraka za sušenje od 85 ° i 100 °C i brzinama zraka za sušenje od 0,8, 1,1 i 1,3 m/s. Razina vlažnosti zrna kukuruza koji se sušio iznosila je između 18 - 33%. Zrno pri sadržaju vode od 24,61 %, osušeno na temperaturi zraka od 85 °C, smanjilo se za 15,7 %, dok se zrno sa sadržajem vode od 24,77 % osušeno na temperaturi zraka od 100 °C smanjilo za 6,8 %. Različite brzine zraka za sušenje nisu imale značajnog utjecaja na promjenu volumena zrna. Osim navedenog, prikazani su podaci o promjenama vanjskih dimenzija zrna (dužina, širina i debljina) tijekom različitih uvjeta sušenja.

#### UVOD

Fizičke i fiziološke osobine zrna kukuruza ovise o hibridu kukuruza, uvjetima razvoja biljke, formiranju zrna, vlazi zrna pri ubiranju, načinu sušenja, odnosno stupnju pripremljenosti zrna za kraće ili duže vrijeme skladištenja (Ujević, 1988).

Zrno kukuruza koje se suši u sušari doprema se istovremeno s raznih proizvodnih površina. Tom prilikom miješaju se i suše zrna različitih hibrida i različitih vlažnosti. Prilikom sušenja ovako izmiješanih hibrida s različitim vlagama, mora se računati i s različitim fizikalnim svojstvima koja ta zrna imaju, naročito s gledišta brzine sušenja, odnosno sposobnosti odvajanja vode iz zrna. Tijekom procesa sušenja volumen zrna se smanjuje, odnosno zrno se mijenja po svim svojim dimenzijama (dužini, širini i debljini).

#### PREGLED LITERATURE

Katić (1985.), naglašava da veličina zrna također utječe na proces sušenja. Ovaj se utjecaj može ukratko svesti na veličinu slobodne površine zrna s kojeg se tijekom sušenja odnosi voda, kao i na otpor prolazu zraka kroz sloj zrna. Masa 1000 zrna kukuruza kreće se između 280-420 grama. Uz različite mase pojedinih zrna, zrna različitih hibrida razlikuju se i po gustoći. Ovi čimbenici utječu na vrijednost nasipne mase kao i na šupljikavost hrpe zrna. Zrno se sušenjem smanjuje i do 40 % svog volumena, a time

Mr. Stjepan Sito - Agronomski Fakultet, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Zagreb, Svetošimunska 25, Hrvatska - Croatia

se mijenja i poroznost hrpe, što utječe na proces sušenja. Budući da se hibridi razlikuju po veličini zrna, otpor prolazu zraka kroz sloj iste debljine bit će za razne hibride različit.

Prema Melean-u (1989.), dimenzije zrna, masa zrna, oblik, stanje površine kao i boja presudne su fizikalne osobine prilikom sortiranja, odnosno kalibriranja zrna. Razlike u dužini, širini i debljini zrna omogućavaju razdvajanja zrna putem različitih sita. Razdvajanje odnosno sortiranje zrna je moguće po širini i dužini, ukoliko je otvor sita u obliku elipse moguće je odvajanje i po debljini. Masa zrna uvjetuje razdvajanje putem aspiracije, odnosno strujom zraka. Različit oblik i stanje površine zrna mogu se iskoristiti kao element razdvajanja koristeći različit koeficijent otpora kotrljanja.

ŽIDKO (1982), ukazuje da se promjenom vlage zrna kukuruza tijekom procesa sušenja volumen zrna mijenja linearno, te da na ovu zakonitost ne utječe početna vlaga zrna, režim sušenja (temperatura i brzina zraka za sušenje) ili vlaženja.

Uzorku mase oko 2 kg najprije je određena količina vode koju sadrži ( $w_1$ ,  $w_2$ ) odnosno prema Pravilniku (Sl. list br. 74). Potom je iz uzorka nasumce izdvojeno 5 grupa zrna a svaka sadrži 50 zrna. Za svaku grupu zrna određen je volumen 1000 ( $V_1$ ,  $V_2$ ) zrna a pomičnim mjerilom ismjerene su dimenzije tj. dužina, širina i debljina zrna ( $l_1$ ,  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $l_2$ ,  $a_2$ ,  $b_2$ ). Mjerenje je obavljeno za sve uzorke prije i poslije sušenja.

Volumen zrna određen je standardnom metodom pomoću tikvice s ksilolom. Uzorci zrna kukuruza osušeni su u laboratorijskoj sušari. Pomoću regulatora mijenjalo se temperatura i brzina zraka za sušenje. Proces sušenja trajao je 2 sata, a to je vrijeme koje je potrebno da se uzorku vlage od 32,7 %, uz temperaturu od 85 °C i brzinu zraka od 0,8 m/s, vlaga snizi na približno ravnotežnu odnosno na 13,2 %.

Istraživanje je provedeno tako da su uzorci različite početne vlage (17 - 33 %) osušeni pri temperaturama zraka od 85° i 100 °C i brzinama zraka za sušenje od 0,8; 1,1 i 1,3 m/s.

## MATERIJAL I METODIKA ISTRAŽIVANJA

Uzorci hibrida Bc 492 ubrani su ručno na površinama Instituta za oplemenjivanje i proizvodnju bilja u Rugvici. Ubiranje klipova kukuruza obavljeno je u više prohoda kako bi zrna imala što veći raspon vlage. Sadržaj vode u zrnu kretao se od 17-33 %.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na tablicama (1-4) i grafikonima (1-8) prikazani su rezultati istraživanja.

Tablica 1: Srednje vrijednosti uzoraka zrna kukuruza prije i poslije sušenja  
Temperatura zraka za sušenje 85 °C

Oznaka uzorka	vlaga $w_1$ (%)	volumen $V_1$ (cm <sup>3</sup> )	dužina $l_1$ (mm)	širina $a_1$ (mm)	debljina $b_1$ (mm)	vlaga $w_2$ (mm)	volumen $V_2$ (cm <sup>3</sup> )	dužina $l_2$ (mm)	širina $a_2$ (mm)	debljina $b_2$ (mm)
1	17,49	331,10	13,122	8,608	4,668	8,62	304,02	12,918	8,376	4,670
2	17,57	324,99	13,320	8,516	4,564	9,25	304,71	13,162	8,336	4,592
3	17,85	331,65	13,290	8,612	4,474	9,84	312,22	13,016	8,378	4,474
4	17,88	331,23	13,246	8,916	4,734	11,21	315,10	12,970	8,646	4,650
5	18,02	325,02	13,246	8,770	4,726	11,38	309,58	12,968	8,490	4,698
6	20,82	356,57	13,414	8,694	4,854	10,19	325,28	13,098	8,444	4,782
7	21,52	352,68	13,356	8,796	4,816	10,15	321,05	12,982	8,491	4,626
8	22,98	356,07	14,050	8,878	4,818	10,30	298,48	13,686	8,622	4,674
9	24,61	369,87	13,976	8,262	4,762	11,37	311,55	13,552	8,916	4,560
10	32,65	378,90	13,974	8,250	4,882	13,22	284,94	13,482	8,900	4,510



**Tablica 2: Srednje vrijednosti uzoraka zrna kukuruza prije i poslije sušenja**  
 Temperatura zraka za sušenje 100 °C

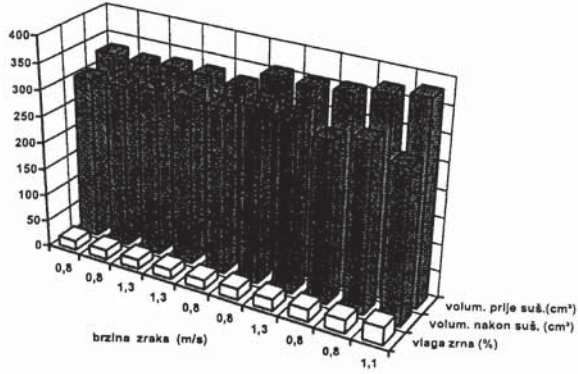
Oznaka uzorka	vlaga $w_1$ (%)	volumen $V_1$ (cm <sup>3</sup> )	dužina $l_1$ (mm)	širina $a_1$ (mm)	debljina $b_1$ (mm)	vlaga $w_2$ (mm)	volumen $V_2$ (cm <sup>3</sup> )	dužina $l_2$ (mm)	širina $a_2$ (mm)	debljina $b_2$ (mm)
1	17,53	328,54	13,268	8,784	4,576	7,66	325,02	13,018	8,566	4,784
2	17,82	336,25	13,287	8,782	4,551	8,31	334,15	13,062	8,486	4,752
3	18,56	324,15	13,348	8,624	4,602	7,93	323,93	13,082	8,394	4,756
4	19,08	326,45	13,398	8,630	4,670	8,10	312,01	13,120	8,354	4,916
5	20,79	345,21	13,376	8,716	4,700	7,61	327,23	13,178	8,374	5,982
6	21,98	341,19	13,538	8,890	4,730	6,74	317,18	13,372	8,526	5,070
7	22,09	352,95	13,510	8,646	4,708	7,55	327,84	13,388	8,354	5,086
8	22,38	346,25	14,003	9,082	4,814	8,95	329,66	13,766	8,698	4,966
9	24,77	366,21	13,904	9,044	4,828	8,93	341,09	13,752	8,596	4,740
10	26,86	380,61	14,220	9,416	4,864	7,71	340,50	13,708	8,854	4,938

**Tablica 3: Testiranje razlike uzoraka zrna prije i poslije sušenja**  
 Temperatura sušenja 85 °C

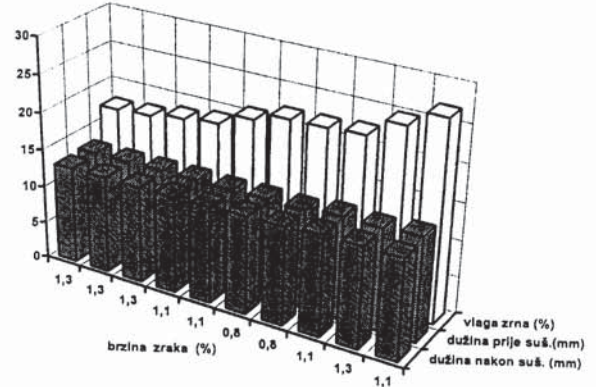
		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Dužina zrna (mm)	Širina zrna (mm)	Deblj. zrna (mm)
Prije sušenja	$\bar{x}_A$	345,808	13,499	8,830	4,710
	s	18,540	0,336	0,243	0,113
	C.V.	5,361	2,490	2,754	2,390
Poslije sušenja	$\bar{x}_B$	308,693	13,183	8,559	4,624
	s	10,938	0,268	0,197	0,087
	C.V.	3,543	2,030	2,298	1,890
Razlika $\bar{x}_A - \bar{x}_B$		37,115**	0,316**	0,271**	0,086**
LSD p = 5 %		26,026	0,072	0,039	0,062
LSD p = 1 %		18,114	0,103	0,056	0,089

**Tablica 4: Testiranje razlike uzoraka zrna prije i poslije sušenja**  
 Temperatura sušenja 100 °C

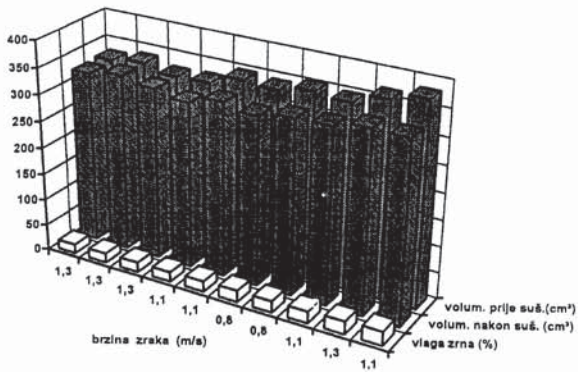
		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Dužina zrna (mm)	Širina zrna (mm)	Deblj. zrna (mm)
Prije sušenja	$\bar{x}_A$	344,782	13,585	8,861	4,704
	s	17,097	0,318	0,241	0,103
	C.V.	4,959	2,341	2,718	2,180
Poslije sušenja	$\bar{x}_B$	327,861	13,345	8,520	3,899
	s	8,757	0,285	0,156	0,126
	C.V.	2,671	2,135	1,836	2,565
Razlika $\bar{x}_A - \bar{x}_B$		16,921**	0,240**	0,341**	-0,195**
LSD p = 5 %		8,946	0,078	0,075	0,096
LSD p = 1 %		12,854	0,111	0,108	0,138



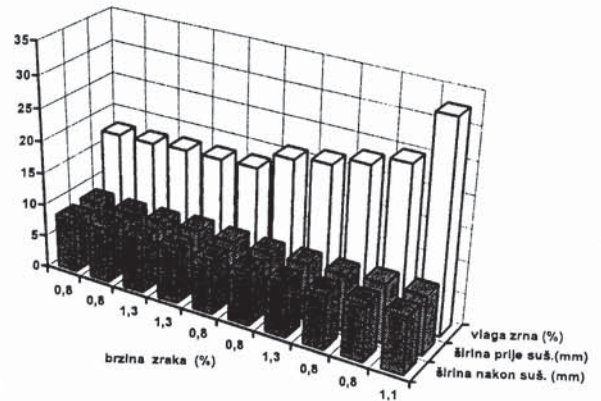
Grafikon 1: Volumen 1000 zrna prije i poslije sušenja  
Temperatura zraka za sušenje 85 °C



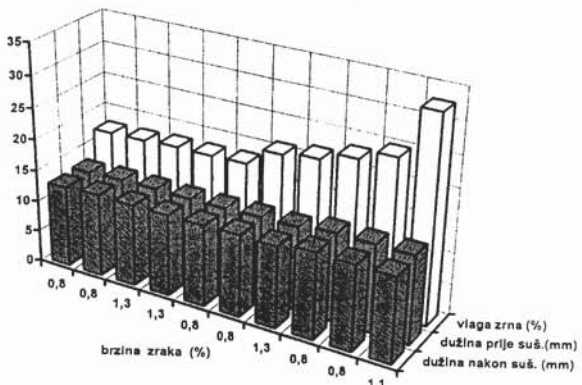
Grafikon 4: Prosječna dužina zrna prije i poslije sušenja  
Temperatura zraka za sušenje 100 °C



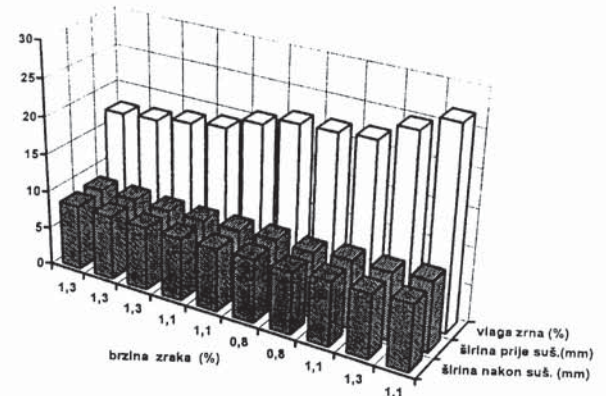
Grafikon 2: Volumen 1000 zrna prije i poslije sušenja  
Temperatura zraka za sušenje 100 °C



Grafikon 5: Prosječna širina zrna prije i poslije sušenja  
Temperatura zraka za sušenje 85 °C

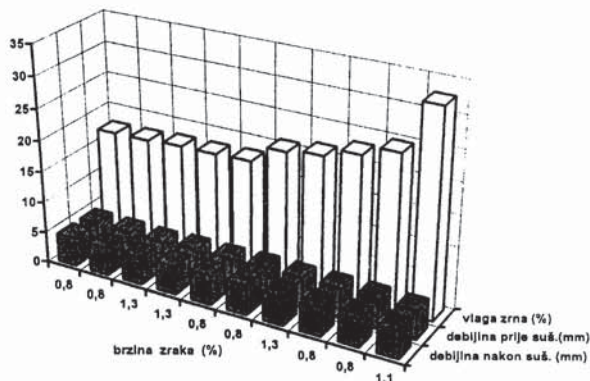


Grafikon 3: Prosječna dužina zrna prije i poslije sušenja  
Temperatura zraka za sušenje 85 °C

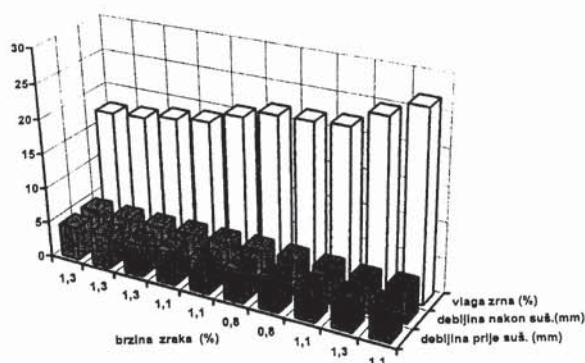


Grafikon 6: Prosječna širina zrna prije i poslije sušenja  
Temperatura zraka za sušenje 100 °C





Grafikon 7: Prosječna debljina zrna prije i poslije sušenja Temperatura zraka za sušenje 85 °C



Grafikon 8: Prosječna debljina zrna prije i poslije sušenja Temperatura zraka za sušenje 100 °C

## RASPRAVA REZULTATA

Kako je već ranije spomenuto, istraženi su uzorci zrna kukuruza hibrida Bc 492 (sezona berbe 1991. god.), prije i poslije sušenja. Ako se promatra tablica 3 i 4 može se ustanoviti da je razlika (za  $p = 1\%$  i  $p = 5\%$ ) volumena 1000 zrna i dimenzija, tj. dužine, širine i debljine prosječnog zrna (za  $p = 1\%$  i  $p = 5\%$ ) pri temperaturama zraka za sušenje od 85 °C i 100 °C statistički značajna. Znači, zrno se značajno smanjilo po svim svojim dimenzijama, ali samo pri temperaturi sušenja od 85 °C. Prosječno zrno osušeno zrakom temperature od 100 °C smanjilo se po dužini i širini, dok se zrno po debljini značajno povećalo. Ovo se može objasniti utjecajem pregrijavanja zrna (naročito pri nižim vlagama) odnosno nepovratnim procesima u samoj strukturi zrna.

Volumen od 1000 zrna, ako je zrno osušeno na temperaturi od 85 °C i brzini zraka za sušenja od 0,8 m/s, s početne vlažnosti od 32,7 % na završnu od 13,2 %, smanjio se za 24,8 %. Ako se promotre uzorci početne vlage 24,6 % osušene zrakom 85 °C, volumen 1000 zrna smanjio se za 15,7 % nasuprot 6,8 % kada se uzorak osušio zrakom 100 °C.

Prema navodima Židko-va (1982.), volumen zrna kukuruza linearno se mijenja s obzirom na vlagu zrna, te naglašava da na tu linearnu zakonitost ne utječe početna vlaga zrna, režim sušenja (temperatura i brzina zraka za sušenje) a niti režim vlaženja zrna.

Međutim, na temelju prikazanih rezultata u radu se jasno uočava da temperatura zraka za sušenje i početna vlaga zrna bitno utječu na te promjene, za hibrid Bc 492. Pretpostavlja se, da je ova promjena uvjetovana karakteristikama pojedinih hibrida, te da bi se to stvarno potvrdilo potrebno je provesti istraživanje na više različitih hibrida.

## ZAKLJUČAK

Volumen 1000 zrna (hibrida Bc 492) smanjio se za 24,8 % ako je zrno početne vlage 32,7 % osušeno temperaturom 85 °C i brzinom zraka za sušenje od 0,8 m/s na završnu vlagu od 13,2 %.

Na promjenu volumena 1000 zrna kao i pojedinih dimenzija zrna (dužina, širina i debljina zrna), za hibrid Bc 492, bitno utječe početna vlaga zrna i temperatura zraka za sušenje. Brzina zraka za sušenje nije imala značajnog utjecaja na te promjene.

Utvrđeno je, da se zrno kukuruza tijekom procesa sušenja ne mijenja - smanjuje ravnomjerno po svim dimenzijama, te da su te promjene više izražene pri sušenju zrakom nižih temperatura (u ovom slučaju 85 °C), tj. zrno se u prosjeku više smanjuje.

## LITERATURA

1. Foster, H.G., (1976): Feed Manufacturing Technology, Feed Production Council, Department of Grain Science and Industry, Kansas State University
2. Katić, Z., (1985): Istodobno sušenje kukuruznog zrna raznih sorata i hibrida različite vlage na početku sušenja, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Stubičke Toplice, 86-103.
3. Katić, Z., (1985): Neke tehnološke osobine raznih hibrida kukuruza prilikom kombajniranja i sušenja, Savjetovanje tehnologa i skladištenja, Zbornik radova, Stubičke Toplice, 55-62.
4. Košutić, S., (1981): Proučavanje nekih fizičko-mehaničkih svojstava zrna i klipa tokom sazrijevanja, Magistarski rad, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb



5. Melean, K.A., (1989): *Drying and storing Combinable Crops*, British Library Cataloguing in Publication Data, USA, 206-209.
6. Mohsenin, N.N., (1970): *Physical properties of plant and animal materials*, New York
7. Nelson, S.O., K.C. Lawrence, (1991): Kernel moisture variation on the ear in yellow-dent field corn., *ASAE Trans.* 34, 513-516.
8. Nelson, S.O., (1980): Moisture-depend kernel and bulk density relationship for wheat and corn., *ASAE Trans.* 23, 139-143.
9. Maltry, W., (1975): *Landwirtschaftliche Trocknungstechnik*, VEB Verlag Technik, Berlin
10. Ražnjević, K., (1975): *Termodinamičke tablice*, Školska knjiga, Zagreb
11. Serdar, V., (1972): *Udžbenik statistike*, Školska knjiga, Zagreb
12. Ujević, A., (1988): *Tehnologija dorade i čuvanje sjemena*, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
13. ... (1988): *Pravilnik o metodama uzimanja uzoraka i metoda fizikalnih i kemijskih analiza za kontrolu kvalitete žita, mlinjskih i pekarskih proizvoda, tjestenina i brzo smrznutih tijela*, Službeni list, br. 74.
14. Židko, V.I., V.A. Rezičkov, V.E. Ukolov (1982): *Zerno sušenije i zerno sušilki*. Izdatelstvo "Kolos", 50-51, Moskva

## SUMMARY

The paper presents the effect of corn kernel moisture and various temperatures and drying air speed on the change of kernel volume. In the process of drying corn kernel volume decreases. According to the data obtained the decrease is 24.8% (if the kernel containing 32.7% of moisture is dried to 13.2% at the temperature of 85°C). The investigation was carried out on the hybrid BC 492 at drying air temperature of 85°C and 100°C and air speed of 0.8; 1.1 and 1.3 m/s. The moisture level of the corn kernel dried was between 18 - 33%. The kernel containing 24.61% of water, dried at air temperature of 85°C shrank by 15.7%, while the kernel containing 24.77% of water, dried at air temperature of 100°C shrank by 6.8%. Various drying air speeds did not have a significant effect on the change of kernel volume. The data on the outside dimension changes of the kernel (length, width and thickness) in the course of various drying conditions are also given.

## ZUSAMMENFASSUNG

### VERÄNDERUNG DES VOLUMENS UND DIMENSIONS MAISKORN BEI DER TROCKNUNG

In dieser Arbeit wird gezeigt, wie Kornfeuchtigkeit und Trocknungsprozess (Lufttemperatur von 85° und 100 °C, Luftgeschwindigkeit von 0,8; 1,1 und 1,3 m/s) einflusst auf Veränderung des Volumens Maiskorn. Volumen des Maiskornes während des Trocknungsprozess wird verkleinert. Nach gezeigten Angaben, wurde die Volumen des Maiskornes bis max. 24,8 % vermindert. Wassergehalt im Maiskorn wurde zwischen 18 - 33 % geträgt. So bei 24,61 % Wassergehalt des Maiskornes und 85 °C Lufttemperatur wurde Verkleinerung des Kornvolumens von 15,7 % beträgt. Bei Wassergehalt des Maiskornes von 24,77 % und Lufttemperatur von 100 °C wurde Verkleinerung des Kornvolumens von 6,8 % beträgt. Verschiedene Luftgeschwindigkeiten haben keinen Einfluss auf Veränderung des Kornvolumens gehabt. Dimensionen des Kornes (Länge, Breite und Dicke) wurden während des Trocknungsprozess verschiedenen geändert.