

## ISPITIVANJE DINAMIČKE OTPORNOSTI ZRNA KUKURUZA HIBRIDA Bc 492 SUŠENOG KLASIČNIM I »COOKING« POSTUPKOM

## INVESTIGATING DYNAMIC RESISTANCE OF MAIZE GRAIN HYBRID Bc 492 DRIED BY STANDARD AND »COOKING« METHOD

S. Plietić, Tajana Krička

Izvorni znanstveni članak  
UDK: 636.085.7.631.563.8  
Primljeno: 8. studeni 1993.

### SAŽETAK

Zbog visokog stupnja mehaniziranosti pojedinih radnih operacija u rukovanju zrnom kroz sve segmente proizvodnje dolazi do njegovog oštećivanja. Isto tako, primjenom novih metoda dorade kojima se omogućava povećanje probavljivosti, mijenja se i dinamička otpornost samog zrna. Time se prolaskom zrna kroz niz transportnih uređaja povećava udio loma u ukupnoj količini mase. U radu se uspoređuje dinamička otpornost zrna kukuruza hibrida Bc 492 u klasičnoj metodi sušenja s dinamičkom otpornosti zrna kukuruza nakon primjene tzv. »cooking« postupka s perforiranim i neperforiranim perikarpom zrna. Za ispitivanje dinamičke otpornosti ili potencijala genetske otpornosti zrna kukuruza upotrebljavan je u tu svrhu posebno izrađen uređaj. Uređajem se mogu simulirati kinetički uvjeti koji djeluju na zrno u strojnoj berbi, tijekom transporta, skladištenja itd.

### UVOD

Zbog visokog stupnja mehaniziranosti pojedinih radnih operacija u manipulaciji zrnom, dolazi do njegovog većeg oštećivanja. U jednom segmentu tog lanca, pri procesu sušenja, oštećenja prouzrokovana kombajniranjem tada nevidljiva, termičkim opterećivanjem postaju vidljiva, te se karakteriziraju kao oštećenja nastala sušenjem. Veće zagrijavanje zrna tijekom sušenja omogućava veći kapacitet sušenja uz istu količinu zraka, pa je to razlog što se svakodnevno žele postići sve veće temperature zraka za sušenje. Povišenjem temperature zraka za sušenje uz povećanje kapaciteta sušare istovremeno se povećava i temperatura zrna. Preveliko zagrijavanje nanosi mu štetu kakvoći, a zrno postaje krto i puca pri svakom malo većem opterećenju. Isto tako, dugi transportni putevi zrna u centre za doradu i skladištenje, kao i neodgovarajuća primjena i izbor transportnih sredstava, te tehnološki problemi dodatno dinamički opterećuju zrno, i time je manje otporno zrno podložnije povećanju loma.

Američki istraživači razmatraju cjelokupni sustav oštećivanja zrna, te uglavnom kao polaznu točku većih vidljivih i nastalih nevidljivih oštećenja uzimaju proces mehanizirane berbe, te manipulaciju zrnom, a kao zadnji element u tom lancu uzimaju proces sušenja.

Prema rezultatima njihovih istraživanja (PIERCE i sur. 1985) oštećenja zrna nastala ubiranjem i manipulacijom iznose 20% kod vlažnosti zrna od 19 %, a pri vlažnosti zrna od 24%, ta oštećenja iznose 11%.

### PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA

U posljednje vrijeme, zbog velike mehaniziranosti berbe kao i zbog sve većih zahtjeva za povećanjem kapaciteta sušara, radi se na pronalaženju i usavršava-

Mr Stjepan Plietić, Dr Tajana Krička, Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Zagreb, Hrvatska

nju novih postupaka sušenja. Jedan od takvih je i tzv. »cooking« metoda.

#### »Cooking« postupak

Kod ovog postupka kukuruzno zrno neprestano dolazi u mješalicu koja je pod tlakom pare od  $5 \times 10^5$  Pa. Zrnom je tako zasićen ulazak u kolonu, gdje se miješa i provodi s razine na razinu pomoću mješalice. Vodena se para može na različitim razinama dodavati ubrizgavanjem ili kondiciono preko dvostruke stijenke poda. Postupak većinom traje između 30-60 minuta, ovisno o kulturi koja se obrađuje, dotoku zrna, broju okretaja mješalice i dimenzijama uređaja. U ovom slučaju proizvod je obložen injektiranim parom, i to predstavlja hidrotermički tretman. Kombinacija učinka vlaženja i temperature često utječe na biološke karakteristike zrna, pa se prije svega mora brižno kontrolirati tlak, kao i kakvoća pare.

U Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomskog fakulteta u Zagrebu, ispitivani su učinci modificirane »cooking« metode. Modifikacija se sastoji u tome da se umjesto »cooking« kolone upotrebljava tlačna posuda. Osnovna razlika je u tome što se para ne dovodi izvana nego se zrno prožima parom nastalom od vode koja se nalazi na dnu posude i nije u dodiru sa zrnom. U posudi se nalazi i druga cilindrična posuda s poroznim dnom, a ispod nje keramička ploča s rupama, kako zrno ne bi bilo u izravnom dodiru s vodom i visokim temperaturama, a para nesmetano prolazi i obrađuje zrno.

Zbog takvih novih postupaka sušenja koji još nisu dovoljno ispitivani, a posebice je dovoljno ispitana dinamička otpornost zrna nakon obrade »cooking« metodom, cilj ovih istraživanja bio je:

1. ispitati otpornost dinamičkog opterećenja hibrida kukuruza Bc 492 u klasičnom postupku sušenja,
2. ispitati otpornost dinamičkog opterećenja u »cooking« postupku i to:
  - a) za perforirano zrno kukuruza hibrida Bc 492
  - b) za neperforirano zrno kukuruza hibrida Bc 492,
3. usporediti dinamičku otpornost između navedenih postupaka.

### PREGLED PODATAKA IZ LITERATURE

#### *Istraživanja s područja loma i mehaničkih oštećenja zrna kukuruza*

Mnogi autori proučavali su mehanička oštećenja kukuruza gotovo u svim tehnološkim procesima od ubiranja do prerade. U okviru ovog pregleda izneseni podaci

obuhvaćaju ukratko čimbenike koji utječu na mehanička oštećenja zrna kukuruza.

ZOERB i HALL (1960) bavili su se istraživanjem mehaničkih i reoloških svojstava zrna kukuruza, pšenice i graha u rasponu od 15.4 % do 24.2 % vlažnosti zrna. Utvrdili su da vlažnost zrna ima najveći utjecaj na mehanička svojstva zrna. Sva svojstva u svezi sa čvrstoćom zrna, kao što su: tlačna čvrstoća, modul elastičnosti i maksimalna sila tlačnog opterećenja, smanjuju se povećanjem vlažnosti, dakle obrnuto su proporcionalna. Autori navode da je za prijelom zrna s visokom vlažnošću potrebno više energije dinamičkim udarom nego statičkim lomljenjem. Isto tako, zrno kukuruza vlažnosti iznad 35 % ima izražena elastična svojstva.

GOTLIN (1967) istražuje mehanička oštećenja zrna kukuruza kao sjemenske robe. Autor je svoja istraživanja obavljao promatrajući oštećenja perikarpa koja nastaju u procesu runjenja. Istraživanjem na komercijalnom sjemenu pronađeno je svega 13.2 do 20.2 % zdravog i neoštećenog sjemena (zrna) kukuruza.

KATIĆ (1971) je istraživao otpornost strojno ubranog (kombajniranog) zrna kukuruza na mehanički udar, a zatim u sušari sušenog zrna. Svojim istraživanjima tlačnih sila ustanovio je da je sila loma zrna između 120 i 250 Njutna po zrnu, a ovisna je i o smjeru djelovanja. Istovremeno utvrđuje da brzina kojom se različiti hibridi suše u istim uvjetima ovise o grupi hibrida, odnosno o morfološkoj građi zrna. Također utvrđuje da mora postojati neposredna veza između oštećivanja zrna, brzina i postupka sušenja, kao i građe zrna.

Grupa američkih istraživača KELLER, CONVERSE, HODGES i CHUNG (1972), došla je do zaključka da brzina udara u podlogu, vlažnost (sadržaj vode), površina sudara, kut udara, veličina i oblik znatno utječu na oštećenja pri sudaru s nekom podlogom. Pri tome brzina zrna ima veći utjecaj na oštećenje, dok oblik i veličina zrna manji.

KATIĆ i LACKOVIĆ (1977) ispitivali su otpornost zrna kukuruza na mehanički udar. Istraživanja su vršili na strojno i ručno branim hibridima. Na temelju provedenih ispitivanja došli su do zaključka da povećana vlažnost zrna kod strojno branih dovodi do većeg oštećenja zrna u različitim odnosima kod različitih hibrida.

GUNASEKARAN sa suradnicima (1985) istražuju mikroskopske slike zrna četiri hibrida sušenih visokim temperaturama zraka. Stvaranje napuklina (loma) pokazalo se na unutarnjoj jezgri brašnastog endosperma, i šire se radijalno van zaštitne granice škrobnih stanica. Istraživanjem zaključuju da lomovi unutar zrna ne moraju biti vidljivi na perikarpu.

Američki istraživači GUNASEKARAN i PAULSEN (1985) istraživali su otpornost na lom kukuruznog zrna kao funkciju stupnjeva sušenja. Istraživanja su provodili na dva genotipa kukuruza pri različitim temperaturama zraka sušenja. Provedenim istraživanjima došli su do zaključka da se podložnost lomu zrna gotovo linearno povećava s povećanjem stupnjeva sušenja.

PLIESTIĆ (1989) istražuje oštećivanje različitih hibrida kukuruza dinamičkim opterećivanjem u laboratoriju. Istraživanja su obavljena na 27 različitih ručno runjenih hibrida. Na temelju provedenih istraživanja utvrdio je različito oštećenje zrna različitih hibrida kukuruza kod istog mehaničkog opterećenja. Najotpornije je zrno hibrida OSSK 215, a najslabije je otporno zrno hibrida Bc 48-21. Isto tako je ustanovio da na mehaničko oštećenje zrna kukuruza dinamičkim opterećenjem utječu vlažnost zrna i veličina opterećenja.

KRIČKA, Tajana (1990), obavlja ispitivanja utjecaja perforacije zrna kukuruza na njegovu dinamičku čvrstoću. Ispitivanja su pokazala da ne postoji nikakva međusobna zavisnost između perforacije zrna i loma. Ispitivanja su pokazala da ne postoji nikakva međusobna zavisnost između perforacije zrna i loma. Ispitivanja su obavljena na 10 različitih hibrida i različitih zriobenh grupa. Iako je ukupno gledajući na svih 10 hibrida lom bio veći kod perforiranog zrna u odnosu na neperforirano, pojedinačni rezultati pokazuju da je kod 7 hibrida lom bio veći kod perforiranog kukuruza, a kod 3 manji. Očito je da dinamička čvrstoća zrna ovisi, prije svega o morfološkim karakteristikama zrna, a perforacija zrna je sekundarna.

## METODE ISPITIVANJA

### Karakteristike ispitivanog hibrida

Provedena ispitivanja obavljena su na hibridu Bc 492. Njegove osnovne karakteristike prema katalogu Bc hibrida Instituta za oplemenjivanje i proizvodnju bilja - Zagreb su:

Bc 492 dvolinijski je (single cross) srednje rani hibrid kukuruza. U podvrsti zuban, svjetlo žute boje zrna. U vegetacijskoj podjeli ubraja se u FAO grupu 490. Stabljika mu je visoka, s više položenim klipom, izrazito čvrsta, dok mu je klip valjkast, dugačak s 14-16 redova. Izuzetno je otporan na lom i polijeganje stabljike. Pogodan je i za proizvodnju zrna i za proizvodnju silaže.

### Metode mjerenja

Da bi se ustanovila stvarna otpornost ispitivanog hibrida (Bc 492), prema mehaničko dinamičkim oštećenjima i izbjegla moguća mehanička oštećenja zrna ku-

kuruza, ispitivanja su obavljena na ručno ubranim i ručno runjenim uzorcima. Ispitivani uzorci očišćeni su od nečistoća, primjesa, a u ispitivanja su uzeta samo vizualno zdrava zrna. Jedan dio uzoraka sušen je standardnom metodom sušenja na laboratorijskoj sušari, uz brzinu strujanja zraka od 1.1 (m/s), dok su drugi uzorci sušeni već prije navedenom modificiranom »cooking« metodom. Za vrijeme ispitivanja, u prostoriji u kojoj su ispitivanja obavljena, prosječna temperatura zraka iznosila je  $t = 19.7$  °C, uz standardno odstupanje  $\sigma = 1.8$ , dok je prosječna relativna vlažnost iznosila  $\varphi = 79$  %, uz standardno odstupanje  $\sigma = 1.6$  %. Vlažnost zrna kukuruza u uzorcima određivana je standardnom etalonskom metodom.

Uzorak, ukupne mase 5 kg, je na mehaničkom gravitacijskom razdjeljivaču razdijeljen na jednake dijelove, od kojih su jedni išli na »cooking« postupak, dok su drugi išli izravno na sušenje. Posuda je bila hermetički zatvorena kako bi se postigao željeni tlak. Unutar posude mjereno je tlak i temperatura. Obrada je trajala 10 minuta od trenutka kada je u posudi temperatura dosegla 100°C, odnosno kada je postignuta granica parnog stanja. Temperatura je održavana regulacijom napona električnog grijača putem promjenljivog otpornika. Napon na grijaču bio je 100 (V), tako da temperatura unutar posude nije prelazila 106°C tijekom tih 10 minuta postupka. Tlak u loncu nije prelazio 0.5 bara pretlaka. Na uparivanje su istovremeno stavljene uzorak perforirane površine (perikarp), te uzorak neperforirane površine. Poslije »cooking« obrade navedeni uzorci stavljani su na sušenje.

Potom su obavljena ispitivanja zrna kukuruza na dinamičko opterećenje. Za svaki ispitivani uzorak odvojeno je pet puta po pedeset zrna (5 x 50).

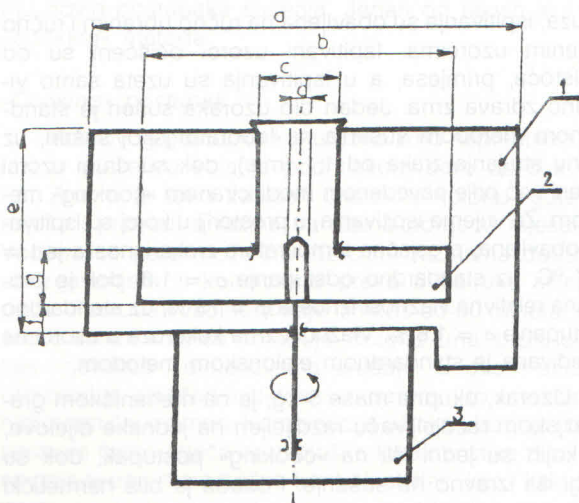
Postotak vidljivih mehaničkih oštećenja utvrđivan je brojenjem cijelih i polomljenih zrna prostim okom, te određivanjem udjela oštećenja mase.

### Mjerni instrumenti i pribor

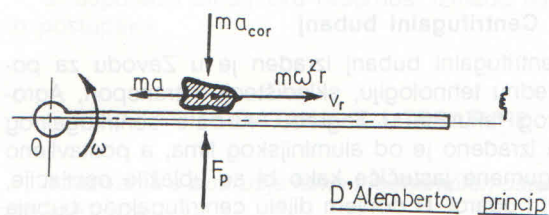
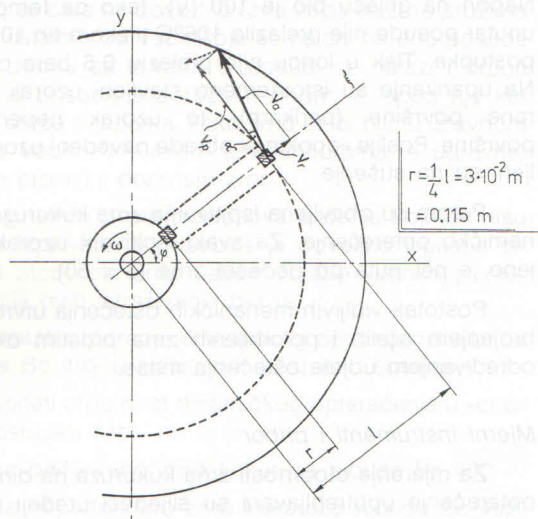
Za mjerenje otpornosti zrna kukuruza na dinamičko opterećenje upotrebljavani su slijedeći uređaji i mjerni instrumenti:

#### 1. Centrifugalni bubanj

Centrifugalni bubanj izrađen je u Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agromskog fakulteta u Zagrebu. Kućište centrifugalnog bubnja izrađeno je od aluminijskog lima, a postavljeno je na gumene jastučice kako bi se ublažile oscilacije, šumovi i udarci. U donjem dijelu centrifugalnog bubnja smješten je elektromotor »Braun AG - Iskra« Tip MP 32, priključnog napona 220 V, frekvencije 50 Hz i nazivne snage 300 W. Unutarnji disk (rotacioni dio) učvršćen je na okomitu centralnu osovinu. slika 1. i slika 2.



1. centrifugalni bubanj
2. disk ploča
3. kućište elektromotornog pogona



D'Alembertov princip

## PRORAČUN KINETIČKO DINAMIČKIH VELIČINA KRETANJEM ZRNA KROZ CENTRIFUGALNI BUBANJ

Prilikom ispitivanja, dinamičke otpornosti navedenog hibrida u laboratorijskim uvjetima upotrijebljen je centrifugalni bubanj koji je u tu svrhu izrađen. Pri kretanju kroz bubanj zrno se vlada po zakonima mehanike (kinetike i dinamike) za relativno gibanje. (Slika 1).

Kroz cijev u sredini bubnja zrno pada na disk, te tada ima u idealnom slučaju kinetičku energiju jednaku nuli, a u diferencijali vremena i gibanje mu je u tom trenu jednako nuli, odnosno zrno je u stanju mirovanja.

Da bi se mogla odrediti kinetička energija sraza (sudara) s krutom nepomičnom stijenkom bubnja potrebno je ustanoviti apsolutnu i relativnu brzinu zrna pri gibanju kroz bubanj (Slika 2).

Za relativno i Coriolisovo ubrzanje prema zakonima relativnog gibanja vrijedi izraz:

$$\ddot{r} = r\omega^2$$

$$a_c = 2 v_r \omega \quad (2)$$

gdje su:

$a_c$  - Coriolisovo ubrzanje

$\ddot{r}$  - relativno ubrzanje

$r$  - polumjer ili radijus diska

$\omega$  - kutna brzina u ( $s^{-1}$ )

$v_r$  - relativna brzina u (m/s)

$\alpha$  - kut između apsolutne i prijenosne brzine u toku sila

Opće rješenje homogene diferencijalne jednačbe u pokretnom koordinatnom  $x\xi$  dano je izrazom:

$$r = C_1 e^{\omega t} + C_2 e^{-\omega t} \quad (3)$$

Raznim matematičkim transformacijama kako za relativno ubrzanje, tako i za Coriolisovo u navedenom slučaju dobivaju se konačni izrazi za:

a) relativnu brzinu

$$v_r = \frac{1}{4} \sqrt{15l\omega t} = 0.968l \omega t$$

b) apsolutnu brzinu

$$v_a = \frac{1}{4} \sqrt{31l\omega} = 1.392 \omega l$$

c) kutnu brzinu

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = 0.1047n(s^{-1})$$

d) prijenosnu brzinu

$$v_p = r\omega, \text{ uz uvjet } r = l$$

Na tablici 1 prikazane su približne vrijednosti kutnih, apsolutnih, relativnih i prijenosnih brzina u odnosu na broj okreta diska centrifugalnog bubnja.

**Tablica 1.: Približne vrijednosti kutnih, apsolutnih, relativnih i prijenosnih brzina u odnosu na broj okreta centrifugalnog bubnja**

Broj okreta n	Kutna brzina $\omega$	Apsolutna brzina $v_a$	Relativna brzina $v_r$	Prijenosna brzina $v_p$
$\text{min}^{-1}$	$\text{s}^{-1}$	m/s	m/s	m/s
800	83.8	13.4	3.3	13.0
1000	104.7	16.7	4.1	16.2
1200	125.7	20.1	5.0	19.5
1500	157.1	25.1	6.2	24.3
2500	261.8	41.9	10.4	40.6

**Tablica 2.: Odnos broja okreta centrifugalnog bubnja i rada deformacije, odnosno kinetičke energije**

Broj okreta n	Rad deformacije (kinet. energ.) $w = E_k$
$\text{min}^{-1}$	$10^{-3}$ J
800	30 (0.030 J)
1000	47
1200	67
1500	105
2500	290 (0.29 J)

### 2. Brojač okreta

Broj okreta centrifugalnog bubnja određivan je elektronskim induktivnim davačem s digitalnim 7-segmentnim pokaznim uređajem.

### 3. Regulator napona

Regulator napona regulira broj okreta diska centrifugalnog bubnja. Regulator je bio direktno povezan s elektromotorom bubnja. Proizvodnje je »Iskra - IEZ«, Ljubljana, tipa PO 5, slijedećih karakteristika:

- priključni napon 220 V, 50 Hz
- nazivni napon 250 V, 50 Hz
- nazivna snaga 50 W
- nazivna jakost struje 2 A

### Obrada podataka

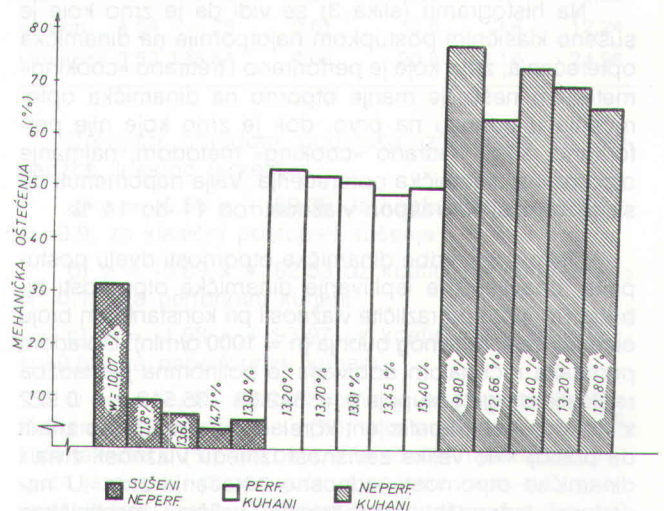
Kod statističke obrade rezultata mjerenja upotrijebljene su slijedeće statističke veličine:

1. Aritmetička sredina ( $\bar{x}$ )
2. Standardna devijacija ( $\sigma, s$ )
3. Varijanca ( $\sigma^2, s^2$ )
4. Korelacija
  - a) Koeficijent korelacije ( $r$ )
  - b) Koeficijent determinacije ( $r^2$ )
5. Regresija
6. Analiza varijance

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Nakon obavljenih ispitivanja, prema opisanoj metodi, dobiveni su rezultati sumirani i obrađeni, te prikazani tablicama, histogramom i dijagramima uz komentar. Da bi se dobio potpuniji uvid u ispitivani materijal rezultati ispitivanja prikazani su na tablici 3.

Tablicom su prikazani glavni pokazatelji: vlažnost zrna, stanje zrna, broj okretaja diska centrifugalnog bubnja (konstatno  $n = 1000$ ), srednja vrijednost oštećenja, standardno odstupanje i apsolutna masa (1000 zrna). Broj okretaja diska centrifugalnog bubnja predstavlja kinetičku energiju sruza (sudara) zrna kukuruza s krutom, nepomičnom stijenkama bubnja. Kao što je već ranije navedeno za svaki ispitivani uzorak uzeto je 5 x 50 zrna, tako da srednja vrijednost oštećenja na tablici 3 predstavlja aritmetičku sredinu 5 uzoraka, gdje se u svakom nalazi 50 zrna.



Slika 3. Histogram mehaničkog oštećenja zrna Bc 492

Tablica 3.: Glavni pokazatelji obavljenih istraživanja

Red. br.	Hibrid	Vlažnost zrna (%)	Stanje zrna	Br. okreta cent. bubnja (o/min)	Srednja vrijednost oštećenja X (%)	Stand. odstupanje s (n-1)	Apsolutna masa (1000 zrna) (gram)
1	Bc 492	16,61	nesuš.	1000	8,57	1,33	366,21
2	Bc 492	14,51	suš. 10 min	1000	14,75	0,87	363,41
3	Bc 492	13,88	suš. 20 min	1000	27,61	1,22	357,27
4	Bc 492	12,61	suš. 30 min	1000	42,03	0,53	371,21
5	Bc 492	11,99	suš. 40 min	1000	51,18	0,27	356,41
6	Bc 492	11,72	suš. 50 min	1000	59,35	0,52	345,33
7	Bc 492	11,05	suš. 60 min	1000	55,51	0,54	356,47
8	Bc 492	10,07	suš. neperf.	1000	31,61	2,12	356,01
9	Bc 492	11,81	suš. neperf.	1000	8,41	2,61	357,33
10	Bc 492	13,64	suš. neperf.	1000	6,01	3,16	364,01
11	Bc 492	14,71	suš. neperf.	1000	3,61	0,91	363,42
12	Bc 492	13,94	suš. neperf.	1000	5,31	0,88	365,42
13	Bc 492	13,21	perf. kuh.	1000	52,25	0,93	350,61
14	Bc 492	13,71	perf. kuh.	1000	51,51	0,42	350,66
15	Bc 492	13,81	perf. kuh.	1000	50,27	0,61	363,33
16	Bc 492	13,45	perf. kuh.	1000	48,65	0,73	367,01
17	Bc 492	13,41	perf. kuh.	1000	49,63	0,49	365,35
18	Bc 492	9,81	perf. kuh.	1000	76,05	0,98	353,31
19	Bc 492	12,66	neperf. kuh.	1000	63,81	0,49	354,01
20	Bc 492	13,41	neperf. kuh.	1000	72,48	0,76	359,33
21	Bc 492	13,21	neperf. kuh.	1000	69,56	0,84	357,66
22	Bc 492	12,81	neperf. kuh.	1000	65,54	0,52	355,61

Na histogramu (slika 3) se vidi da je zrno koje je sušeno klasičnim postupkom najotpornije na dinamička opterećenja, zrno koje je perforirano i tretirano »cooking« metodom nešto je manje otporno na dinamička opterećenja u odnosu na prvo, dok je zrno koje nije perforirano, ali je tretirano »cooking« metodom, najmanje otporno na dinamička opterećenja. Valja napomenuti da se to odnosi na raspon vlažnosti od 11 do 14 %.

Osim usporedbe dinamičke otpornosti dvaju postupa, obavljeno je ispitivanje dinamičke otpornosti hibrida Bc 492 kod različite vlažnosti pri konstantnom broju okretaja centrifugalnog bubnja ( $n = 1000$  o/min). Obradom podataka računalom dobivena je polinomna jednadžba regresije drugog stupnja  $y = 342,08 - 35,512x + 0,922x^2$  uz vrlo visok koeficijent korelacije  $r = 0,97$ , što znači da postoji vrlo velika zavisnost između vlažnosti zrna i dinamičke otpornosti, odnosno oštećenja zrna. U navedenoj jednadžbi  $y$  predstavlja veličinu mehaničkog oštećenja u (%), a  $x$  vlažnost zrna u (%).

Da bi se utvrdio utjecaj vlage zrna na lom zrna kukuruza, tj. da bi se utvrdilo da li ona efektivno utječe na lom, načinjena je i analiza varijance (tablica 4).

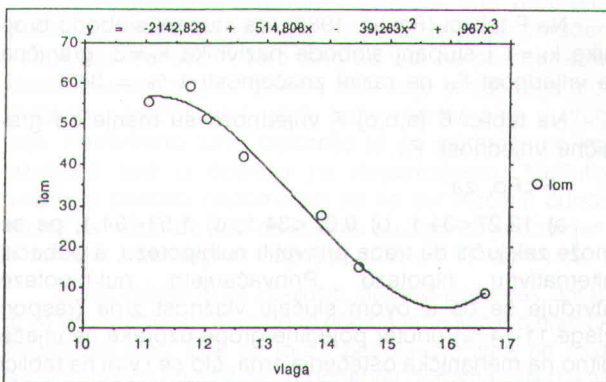
Tablica 4.

Varijacija	Stupanj slobode	Suma kvadrata odstupanja	Procjena varijance
Između uzorka	2	2317.19	$S_{12} = 1158.6$
Unutar uzorka	4	142.64	$S_{u2} = 35.66$
Ukupna	6	2459.83	1194.26

$$F = \frac{S_{12}^2}{Su^2} = 32,49$$

Nul-hipotezom pretpostavlja se da je utjecaj vlage jednak nuli, dok alternativna hipoteza pretpostavlja da je on različit od nule, dakle da vlaga utječe na mehaničko oštećenje zrna. Na F-tablici (Pavlić, 1988), za stupanj slobode brojnika  $k_b = 2$  i stupanj slobode nazivnika  $k_n = 4$ , granične vrijednosti  $F_0$  na razinama značajnosti 5 i 1 %, iznose 6.94 za 5 % i 18.0 za 1 %. Dakle, na razini značajnosti 1 % (0.01) F vrijednost veća je od granične vrijednosti  $F_0$  ( $F > F_0$ ,  $32.49 > 18.0$ ), pa se može zaključiti da treba odbaciti nul-hipotezu, a prihvatiti alternativnu hipotezu. Prihvatanjem alternativne hipoteze utvrđeno je da vlaga zrna utječe na njegovo mehaničko oštećenje.

Služeći se navedenom polinomnom jednadžbom, a uvrštavajući vrijednosti ispitivanja, dobivene su određene točke mehaničkog oštećenja, te je na temelju tih vrijednosti načinjen grafički prikaz ovisnosti loma o vlažnosti zrna kukuruza.



Slika 4.: Krivulja ovisnosti loma o vlažnosti kukuruznog zrna

Pomoću ove polinomne jednadžbe, kao i prema dijagramu (sl.4.) moguće je unaprijed odrediti postotak loma za pojedinu vlažnost zrna. Na dijagramu se može uočiti da je zrno kukuruza ispitivanog hibrida dosta osjetljivo na lom kod nižih vlažnosti zrna, a da mu otpornost prema dinamičkom opterećenju raste s povećanjem vlažnosti zrna. Međutim, sve se to odnosi na vlažnost zrna između 10 i 17 %, ali na temelju ranije obavljenih istraživanja (Plietić, 1989) može se uočiti da je mehaničko oštećenje promatranog hibrida (Bc 492) najmanje u rasponu od 18 do 22 % vlažnosti zrna, što se podudara s ovim istraživanjima. Ukoliko se vlažnost zrna smanjuje ili povećava izvan navedenog raspona raste i mehaničko oštećenje zrna.

Daljnijim ispitivanjima uspoređivala su se mehanička oštećenja zrna kukuruza u klasičnom postupku sušenja i u novijem načinu tzv. »cooking« postupku. Za svaki postupak sušenja načinjeno je 5 uzoraka (5 klasično sušenih, 5 perforiranih kuhanih, i 5 neperforiranih kuhanih). Rezultati su prikazani na tablici 5.

Na tablici se vidi da se vlažnost zrna kreće u rasponu od 11 do 14 %. Svega dva uzorka imaju manju vlažnost zrna od navedenog raspona dok jedan ima veću vlažnost.

Obradom navedenih podataka, izračunate su osnovne statističke veličine. Vidi se da su standardne devijacije i varijance relativno male, što znači da je i rasipanje podataka oko aritmetičke sredine relativno malo, što znači da je i rasipanje podataka oko aritmetičke sredine relativno malo, osim kad je u pitanju red 2 (lom sušeni) i red 6 (lom neperforirani kuhani).

Tablica 5.: Rezultati ispitivanja dinamičke otpornosti zrna hibrida kukuruza Bc 492 - klasično sušeni; perforirani »cooking«; neperforirani »cooking«

Red. broj	Grupa Vлага 1	Lom sušeni	Grupa Vлага 2	Lom perf. kuhani	Grupa Vлага 3	Lom neperf. kuhani
1.	10.07	31.60	13.20	52.25	9.80	76.05
2.	11.80	8.40	13.70	51.51	12.66	63.81
3.	13.64	6.00	13.81	50.27	13.40	72.48
4.	14.71	3.60	13.45	48.65	13.20	69.56
5.	13.94	5.30	13.40	49.63	12.80	65.54
$\bar{x}$	12,83	10,98	13,51	50,46	12,37	69,48
$\sigma$	1,87	11,65	0,24	1,44	1,47	4,99
min	10,07	3,6	13,2	48,65	9,8	63,81
max	14,71	31,6	13,81	52,25	13,4	76,05
raspon	4,64	28	0,61	3,6	3,6	12,24
varijanca	3,53	135,84	0,06	20,8	2,16	24,96

Daljnjom obradom podataka izračunate su jednadžbe linearne regresije:

a)  $y = -5.56 x + 82.38$  uz koeficijent korelacije  $r_1 = -0.9$ , za klasični postupak sušenja

b)  $y = -0.89 x + 62.53$  uz koeficijent korelacije  $r_2 = -0.15$ , za perforirani kuhani

c)  $y = -1.98 x + 93.97$  uz koeficijent korelacije  $r_3 = -0.58$ , za neperforirani kuhani.

U navedenim jednadžbama  $y$  predstavlja veličinu mehaničkog oštećenja u (%), a  $x$  predstavlja vlažnost zrna također u (%). Na osnovi izračunatih jednadžbi moguće je dobiti i pripadajuće dijagrame za svaki od navedenih postupaka. Obradom navedenih jednadžbi uočljivo je da je na lom najotpornije zrno kukuruza koje je

sušeno klasičnim procesom sušenja, manje otporno na lom je zrno perforirano i tretirano »cooking« postupkom, a najmanje otporno zrno na lom je neperforirano zrno također obrađeno »cooking« postupkom. Treba naglasiti da se ovaj zaključak odnosi na raspon vlažnosti zrna od 11 do 14 %, a također je potrebno primijetiti da su koeficijenti korelacije ( $r_1 = -0.9$ ,  $r_2 = -0.15$  i  $r_3 = -0.58$ ) između vlažnosti zrna i loma za svaki pojedini način sušenja dosta mali (osim  $r_1 = -0.9$ , što je i razumljivo zbog većeg raspona vlage zrna ispitivanih uzoraka od 10.07 do 14.71 %, a što znači da u ovom slučaju vlažnost zrna unutar pojedinih grupa vlažnosti (raspon 11 - 14 %) nije imala veći utjecaj na povećanje loma.

Da bi se još preciznije utvrdio utjecaj vlažnosti za njegovo mehaničko oštećenje načinjena je i analiza varijance za svaki postupak sušenja posebice (tablica 6 a,b,c).

**Tablica 6.: Utjecaj vlažnosti zrna na njegovo mehaničko oštećenje**

a)

Varijacija	Stupanj slobode	Suma kvadrata odstupanja	Procjena varijance
između uzoraka	1	436.64	$S_{i2} = 436.64$
unutar uzoraka	3	106.73	$S_{u2} = 35.58$
UKUPNO	4	543.37	472.22

$$F = \frac{S_i^2}{S_u^2} = 12,27$$

b)

Varijacija	Stupanj slobode	Suma kvadrata odstupanja	Procjena varijance
između uzoraka	1	0.19	0.19
unutar uzoraka	3	8.12	2.71
UKUPNO	4	8.31	2.90

$$F = \frac{S_i^2}{S_u^2} = 0,07$$

c)

Varijacija	Stupanj slobode	Suma kvadrata odstupanja	Procjena varijance
između uzoraka	1	33.78	33.78
unutar uzoraka	3	66.07	22.02
UKUPNO	4	99.84	55.80

$$F = \frac{S_i^2}{S_u^2} = 1,53$$

Nul-hipotezom pretpostavljeno je da je utjecaj vlage jednak nuli, dok alternativna hipoteza pretpostavlja utjecaj vlage različit od nule, dakle da vlaga u rasponu od 11 do 14 % utječe na mehanička oštećenja zrna.

Na F-tablici (Pavlić, 1988), za stupanj slobode brojnika  $k_b=1$  i stupanj slobode nazivnika  $k_n=3$ , granična je vrijednost  $F_o$  na razini značajnosti 1 % = 34.1.

Na tablici 6 (a,b,c) F vrijednosti su manje od granične vrijednosti  $F_o$ .

$F < F_o$ , za:

a)  $12.27 < 34.1$ , b)  $0.07 < 34.1$ , c)  $1.53 < 34.1$ , pa se može zaključiti da treba prihvatiti nulhipotezu, a odbaciti alternativnu hipotezu. Prihvaćanjem nul-hipoteze utvrđuje se da u ovom slučaju vlažnost zrna (raspon vlage 11-14 %) unutar pojedine grupe uzoraka ne utječe bitno na mehanička oštećenja zrna, što se i vidi na tablici 5. Dakle, sve to upućuje da novi postupak dorade zrna, tzv. »cooking« doista utječe na dinamičku otpornost zrna, i to tako da je smanjuje.

## DISKUSIJA

Uspoređivanje i istraživanje mehaničkog oštećenja zrna kukuruza dinamičkim opterećivanjem klasično sušenog zrna kukuruza i sušenog tzv. »cooking« metodom obavljeno je u laboratorijskim uvjetima. Ispitivanja su obavljena na hibridu Bc 492 pri 1000 okreta centrifugalnog bubnja u minuti.

Osim usporedbe mehaničkog oštećenja dvaju navedenih postupaka, obavljeno je ispitivanje dinamičke otpornosti kod različite vlažnosti zrna. Broj okreta centrifugalnog bubnja nije se mijenjao. Iz dobivenih rezultata može se uočiti da se mehaničko oštećenje zrna mijenja s promjenom vlage u zrnu. Najmanje je u intervalu od



18 do 22 % vlažnosti zrna. Ukoliko se vlažnost zrna smanjuje ili povećava izvan navedenog intervala, raste i mehaničko oštećenje zrna, te tada dolaze do izražaja osobitosti podvrsta hibrida izloženih mehaničkom oštećenju (Plietić, 1989).

Iz dobivene polinomne jednadžbe  $y = 342.08 - 35.512x + 0.922x^2$ , uz vrlo visok koeficijent korelacije  $r = 0.97$  vidi se velika zavisnost mehaničkog oštećenja kukuruznog zrna prouzročеног dinamičkim opterećenjem, u odnosu na vlažnost zrna. Tim ispitivanjem između ostalog, dokazane su i tvrdnje drugih istraživača da se mehanička oštećenja kukuruznog zrna mijenjaju ovisno o vlažnosti zrna.

Laboratorijskim ispitivanjima nastojalo se utvrditi i usporediti dinamičke otpornosti zrna kukuruza, primjenom nove metode dorade kukuruznog zrna tzv. »cooking« i klasične metode dorade. Analizom rezultata utvrđeno je da se dinamičke otpornosti zrna dvaju navedenih postupaka bitno razlikuju jedna od druge. U dobivenim jednadžbama se uočava da zrno kukuruza, koje je sušeno standardnom metodom, ima veću dinamičku otpornost u odnosu na zrno koje je obrađeno »cooking« metodom. Isto tako se vidi da postoji razlika dinamičke otpornosti između zrna koje je tretirano istom metodom (»cooking«), ali je jedno perforirano, a drugo nije. Perforirano zrno otpornije je na opterećenje koje uzrokuje lom u odnosu na neperforirano. Međutim, važno je ponovo napomenuti da se ovi rezultati odnose samo na hibrid Bc 492 na kojemu su ispitivanja obavljena, a također i na raspon vlažnosti zrna od 11 do 14 %.

Dakle moglo bi se zaključiti, da novi postupak dorade zrna tzv. »cooking« stvarno utječe na smanjenje dinamičke otpornosti zrna, dok se to za perforiranja zrna ne može sa sigurnošću utvrditi, te su potrebna dodatna istraživanja.

## ZAKLJUČCI

Na osnovi provedenih istraživanja mehaničkog oštećenja zrna dinamičkim opterećivanjem u klasičnom i »cooking« postupku, moguće je donijeti slijedeće zaključke:

1. Analiza rezultata dobivenih ispitivanjem pokazuje da na mehanička oštećenja zrna kukuruza utječe vlažnost zrna.

2. Rezultati statističke analize upućuju da u području vlažnosti zrna od 11 do 14 %, vlažnost unutar grupe bitno ne utječe na svojstva ispitivanog hibrida (Bc 492) u odnosu na mehaničko oštećenje. (Koeficijenti korelacije između vlažnosti zrna i loma zrna su mali i iznose  $r_2 = -0.15$  i  $r_3 = 0.58$  za navedeni raspon vlažnosti zrna). Jedino uzorak klasično sušeni pokazuje zavisnost loma o vlažnosti u svojoj grupi ( $r_1 = 0.9$ ), no razlike u lomu unutar grupe gotovo su neprimjetne u odnosu na lom zrna obrađenog drugim dvjema postupcima.

3. Utvrđeno je različito mehaničko oštećenje zrna kukuruza za klasičnu metodu sušenja i za tzv. »cooking« metodu. Mehanička oštećenja manja su kod klasične metode sušenja (prosječno oštećenje 10.1 %) u odnosu na »cooking« (prosječno oštećenje 69.49 %).

4. Ustanovljeno je također različito mehaničko oštećenje kod perforiranog i neperforiranog zrna kukuruza tretiranog »cooking« postupkom. Mehaničko oštećenje manje je kod perforiranog kuhanog (prosječno oštećenje 50.46 %) u odnosu na neperforirani kuhani kukuruz (prosječno oštećenje 69.49 %).

5. Uočeno je da novi postupak dorade zrna tzv. »cooking« utječe na smanjenje dinamičke otpornosti zrna. Prosječno oštećenje za raspon vlažnosti zrna 11-14 % kod klasičnog postupka je 10,1 %, a kod »cooking« postupka 50,46 % za perforirano i 69,49% za neperforirano zrno.

6. Zaključci, iako temeljeni na stvarnim mjerenjima, mogu poslužiti samo kao indikator ocjena. Istraživanja je potrebno proširiti na veći broj uzoraka i na veći broj različitih hibrida.

## LITERATURA

1. GOTLIN, J. (1967): *Suvremena proizvodnja kukuruza*. Agromski glasnik
2. GUNASEKARAN, S.; S.S. DESHPANDE; M.R. PAULSEN; G.C. SHOVE, (1985): *Size Characterization of Stress Cracks in Corn Kernels*. Transactions of the ASAE, Vol. 28. No. 5.
3. GUNASEKARAN, S.; M.R. PAULSEN, (1985): *Breakage Resistance of Corn as a Function of Drying Rates*. Transactions of the ASAE Vol. 28. No. 6.
4. KATIĆ, Z. (1971): *Utjecaj brzine hlađenja zrna kukuruza nakon sušenja na kvalitet zrna i mogućnost povećanja kapaciteta sušare*. Doktorska disertacija, 1971. god.
5. KELLER, D.L. - CONVERSE, HODGES, CHUNG (1972): *Corn Kernel Damage due to High velocity Impact*. Transactions of the ASAE, Vol. 15.No. 2.
6. KRIČKA, Tajana (1990): *Utjecaj perforacije zrna kukuruza na njegovu dinamičku čvrstoću*. VI Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Tuheljske Toplice, 1990. god.
7. KRIČKA, Tajana (1993): *Utjecaj perforiranja perikarpa pšena kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom*, Doktorska disertacija, 1993. god.
8. LACKOVIĆ, L; Z. KATIĆ, (1977): *Utjecaj vlage zrna kukuruza u momentu berbe na unutarnje oštećenje zrna*. Zbornik radova o aktualnim problemima mehanizacije poljoprivrede, Poreč, 1977. god.
9. PLIETIĆ, S. (1989): *Komparativna analiza oštećivanja različitih hibrida kukuruza dinamičkim opterećivanjem*. Magistarski rad, 1989. god.
10. PLIETIĆ, S. (1990): *Laboratorijski uređaj za ispitivanje dinamičke otpornosti zrna kukuruza* VI Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Tuheljske Toplice, 1990. god.
11. PLIETIĆ, S. (1991): *Metode i uređaji za određivanje vlažnosti mase žitarica*, *Agrotehničar*, 11-12,
12. PUTIER, F. (1993): *Product quality and thermal treatment*. Feed mix volum 1, number 2.
13. PAVLIĆ, I. (1988): *Statistička teorija i primjene*. Tehnička knjiga Zagreb, 1988. god.
14. ZOERB, G.C.; C.W. HALL, (1960): *Some Mechanical and Rheological Properties of Grains*. Journal of Agricultural Engineering
15. - *Pravilnik o metodama uzimanja uzoraka i metodama fizikalnih i kemijskih analiza za kontrolu kvalitete žita, mlin-skih i pekarskih proizvoda, tjestenina i brzo smrznutih tijela*, Službeni list br. 74.
16. - *Katalog Bc hibrida* Institut za oplemenjivanje i proizvodnju bilja, zagreb, 1988. god.

## SUMMARY

Damage to grains occurs because of the high level of mechanization of certain working operations in handling grains through all the stages of production. Also, by applying new finishing methods enabling increase of digestibility, the dynamic resistance of the grain changes. The breakage in the total quantity increases with the grains passing through a series of transport devices.

The work compares the dynamic resistance of the maize grain Hybrid Bc 492 in standard drying method with dynamic grain resistance after applying the »cooking« technique with perforated and nonperforated pericarp of the grain.

In investigating the dynamic resistance and the potential of genetic resistance of maize grain a device specially made for this purpose was used. The device can simulate kinetic conditions affecting the grain in machine harvesting, during transport, in storage, etc.