

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

Marieta Jareš, Klara Novaković, Santina Pamić, Dora Zurak

**EVALUACIJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA ZRNA ZA
PREDIKCIJU ČAKLAVOSTI**

Zagreb, 2018.

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za hranidbu životinja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom doc. dr. sc. Kristine Kljak i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2017/2018.

SADRŽAJ

1.UVOD	1
2.HIPOTEZA, OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RAD	4
3.MATERIJALI I METODE RADA	5
3.1. Hibridi kukuruza.....	5
3.2. Metode.....	5
3.2.1. Sadržaj vlage.....	5
3.2.2. Prava gustoća.....	5
3.2.3. Flotacijski indeks.....	6
3.2.4. Masa i volumen 1000 zrna i hektolitarska masa.....	6
3.2.5. Tvrdća zrna po Stenvertu.....	6
3.2.6. Potencijalna lomljivosti zrna.....	7
3.2.7. Dimenzije zrna i sferičnost.....	7
3.2.8. Ručna disekcija zrna.....	7
3.3. Statistička obrada podataka.....	8
4.REZULTATI	9
4.1. Fizikalna svojstva istraživanih hibrida kukuruza.....	9
4.2. Dijelovi zrna.....	11
4.3. Korelacije između određenih karakteristika hibrida zrna.....	11
4.4. Linearna regresija caklavosti i fizikalnih svojstava.....	14
5.RASPRAVA	15
6.ZAKLJUČAK	20
7.ZAHVALE	21
8.POPIS LITERATURE	22
SAŽETAK	26
SUMMARY	27
PRILOZI	28

1. UVOD

Kukuruz je jedna od najznačajnijih kultura u svijetu i Hrvatskoj koja se upotrebljava kako u prehrambenoj industriji tako i u hranidbi životinja, pri čemu se koriste gotovo svi dijelovi (klip, zrno, silaža cijele biljke). Zbog povoljnog kemijskog sastava udio kukuruza u hranidbi životinja je velik te dobro poznavanje njegovih kemijskih i fizikalnih svojstava omogućuje njegovo visoko iskorištenje za maksimalnu proizvodnost životinja.

Prosječni kemijski sastav zrna kukuruza, pri 12% vlage je sljedeći – 8,1% sirovih bjelančevina (SB), 3,7% sirovih masti (SM), 2,7% sirovih vlakana (SV), 12,8% neutralnih detergent vlakana (NDV), 3,5% kiselih detergent vlakana (KDV), 1,3% pepela te 72,2% nedušičnih ekstraktivnih tvari (NET) od kojih 61,9% škroba i 1,7% šećera (Grbeša, 2016). Zrno kukuruza je ukusno i primjereno za hranidbu svih vrsta domaćih životinja. Najvredniji je izvor energije među svim žitaricama, a sadrži 13,6 MJ metaboličke energije (ME) po kilogramu suhe tvari (ST) za preživače, 16,1 MJ ME/kg ST (12,9 MJ neto energije (NE)/kg ST) za tovne svinje, 15,25 MJ ME/kg ST za perad i 14,3 MJ ME/kg ST za kuniće (Feedipedia, 2018).

Zrno kukuruza građeno je od perikarpa, klice, endosperma i drške zrna. Najveći dio, 83%, suhe mase zrna čini endosperm, klica čini 11%, perikarp 5%, a drška 1%. Postoje dva tipa endosperma – caklavi i brašnavi koji se razlikuju prema tvrdoći i kemijskom sastavu. Rožnati ili caklavi endosperm je tvrd i zbijen te sadrži višekutne, sitnije granule škroba. U odnosu na brašnavi endosperm, koji je mekan i rahao te se uglavnom sastoji od škroba, karakterizira ga veći udio proteina zeina, amiloze, šećera i karotenoida (Watson, 2003). Tipovi kukuruza koji se najčešće upotrebljavaju imaju oba tipa endosperma ali u različitim omjerima – kod zubana je udio caklavog endosperma niži u odnosu na tvrdunce. Tip endosperma najviše je povezan s genotipom kukuruza, a zatim u manjoj mjeri s okolišnim čimbenicima i gnojidbom dušikom. Nedostatna gnojidba dušikom dovodi do smanjenja sinteze zeina, a samim time i manjeg udjela caklavog endosperma. Sušne i vruće godine povisuju udio caklavog, dok kišne i hladnije godine povisuju udio brašnjavog endosperma (Grbeša, 2016).

Udio caklavog endospema ili caklavost (eng. vitreousness) varira unutar i između tipova kukuruza. Tako i kod zubana i tvrdunaca postoje hibridi kukuruza više i niže caklavosti što određuje ostala fizikalna svojstva zrna. Zrna s višim udjelom brašnjavog endosperma sklonija

su lomu, imaju manju hektolitarsku masu i masu 1000 zrna te niži udio proteina i ulja, ali više škroba u odnosu na zrna s većim udjelom caklavog endosperma. S obzirom na to da je povezanost fizikalnih svojstva sa strukturom zrna ponajprije određena omjerom caklavog i brašnavog endosperma, fizikalna svojstva upućuju da što je zrno caklavije (tvrđe), trošenje mlina je veće, dok je za brašnavije zrno (mekše i lomljivije) potrebno kraće vrijeme mljevenja. Također treba napomenuti da je caklavost važna kod zaštite zrna: udio caklavog endosperma određuje stupanj otpornosti na oštećenja izazvana insektima, plijesnima i fizičkim sredstvima, otpornost na stresore kao što su manipulacija i sušenje te uporabna svojstva zrna kukuruza (Grbeša, 2016).

S hranidbenog gledišta, caklavost zrna je izrazito važno svojstvo jer utječe na probavljivost škroba, a time iskorištenje energije i proizvodnost životinja. Hibridi s većom caklavošću su sporije brzine probave škroba te čak i manjeg obujma probavljivosti škroba, a ovakav utjecaj caklavosti na probavljivost škroba može se uočiti i kod monogastričnih životinja (Gehring i sur., 2012; Giuberti i sur., 2013) i kod preživača (Lopes i sur., 2009; Philippeau i sur., 2000). Hibridi veće caklavosti imaju kompaktniju strukturu s većim sadržajem zeinskog omotača oko granula škroba zbog čega taj omotač predstavlja barijeru probavnim enzimima (Mu-Forester i Wasserman, 1998), a što dovodi do sporije probave škroba jer je potrebno i probaviti zeinski omotač. Međutim, poboljšana probavljivost škroba ne znači nužno i bolje iskorištenje energije te uobičajeno životinje hranjene hibridima više caklavosti imaju bolje prinose i konverziju hrane (Weurding i sur., 2003; Zhao i sur., 2016).

S obzirom na to da je caklavost važno svojstvo povezano s otpornošću zrna i njegovom hranidbenom vrijednošću, važno ju je poznavati kako bi se maksimalno iskoristio potencijal zrna. Određuje se ručnom disekcijom koja je zahtjevna i dugotrajna metoda, zbog čega je razvijen cijeli niz metoda procjene caklavosti na temelju propusnosti svjetlosti i tehnika fotografiranja presjeka zrna pri čemu se određuje površina dijelova zrna (Erasmus i Taylor, 2004). Međutim, te metode zahtijevaju skupu opremu i nisu primjenjive u praktičnim uvjetima. Kako je već spomenuto, fizikalna svojstva su posljedica strukture zrna a time i caklavosti, zbog čega se mogu upotrijebiti za procjenu caklavosti. Tako su Mestres i sur. (1991) prikazali jednadžbu regresije s gustoćom zrna kao predikacijskim parametrom. Iako je u novijim istraživanjima utvrđena povezanost caklavosti i fizikalnih svojstava, kao u radu Gustafson i Leon (2010) koji su utvrdili visoke pozitivne korelacije između caklavosti i tvrdoće, nema predikacijskih jednadžbi na temelju fizikalnih svojstava.

Postoji čitav niz metoda za određivanje fizikalnih svojstava kukuruza, no izbor ovisi o povezanosti svojstava s konačnom upotrebom zrna. Kada se govori o zrnu kukuruza, uobičajena su masa i volumen 1000 zrna, hektolitarska masa, prava gustoća, flotacijski indeks, dimenzije zrna (visina, širina, debljina), sferičnost, tvrdoća zrna (najčešće Stenvert testom) i potencijalna lomljivost. Hektolitarska masa je zbog jednostavnosti najrasprostranjeniji način određivanja gustoće zrna kukuruza, pri čemu se određuje težina određenog volumena zrna dok prava gustoća predstavlja omjer mase zrna i volumena koji zauzima to zrno. Oblik zrna definira se – visinom, širinom i debljinom, a na temelju njihovih vrijednosti izračunava se sferičnost zrna, matematički parametar koji opisuje oblik zrna u odnosu na kuglu (Kljak, 2016). Potencijalna lomljivost upućuje koliko je zrno podložno oštećenjima, dok tvrdoća zrna predstavlja mehaničko svojstvo mjereno na temelju mljevenja uzorka (Serna-Saldivar, 2012). Stenvertova metoda određivanja tvrdoće obuhvaća tri parametra: vrijeme potrebno da se samelje 17 mL meljave, visina stupca svježe samljevenog uzorka te omjer krupnih i sitnih čestica u meljavi (Pomeranz i sur., 1985). Flotacijski indeks pak služi kao pokazatelj relativne gustoće i stupnja tvrdoće zrna (Lozano-Alejo i sur., 2007).

2. HIPOTEZA, OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA

Temeljem povezanosti caklavosti i fizikalnih svojstava zrna, hipoteza ovog istraživanja je da se neka od fizikalnih svojstava mogu primijeniti za predikciju caklavosti zrna u modelu s najviše tri varijable.

Na temelju postavljene hipoteze, opći cilj rada je bio odrediti sljedeća svojstva 30 hibrida kukuruza različitih proizvođača uzgojenih na istom polju, u istim uvjetima, u Istočnoj Hrvatskoj tijekom 2013. godine:

- utvrditi flotacijski indeks, pravu gustoću, masu i volumen 1000 zrna, te hektolitarsku masu
- odrediti dimenzije (širinu, visinu i debljinu) zrna te izračunati koeficijent sferičnost
- odrediti potencijalnu lomljivost i tvrdoću zrna po Stenvertu
- odrediti caklavost zrna ručnom disekcijom

Specifičan cilj ovog rada bio je utvrditi korelacijsku i regresijsku povezanost fizikalnih svojstava i caklavosti zrna, te na temelju regresijske povezanosti, utvrditi najbolji model za predikciju caklavosti u modelu s najviše tri varijable.

3. MATERIJALI I METODE RADA

3.1. Hibridi kukuruza

U provedenom istraživanju korišteno je 30 hibrida kukuruza različitih proizvođača (BC Institut, Dekalb, KWS, LG, Maïsadour, NS seme, DuPoint Pioneer, Poljoprivredni Institut Osijek (PIS), RWA, te Syngenta). Hibridi su uzgajani u Istočnoj Hrvatskoj tijekom 2013. godine, na istome tlu, u istim agroekološkim uvjetima. Nakon berbe uzet je reprezentativan uzorak svakog hibrida, a neposredno prije analiza, reprezentativan uzorak je dobro izmiješan i reduciran metodom četvrtanja.

3.2. Metode

3.2.1. Sadržaj vlage

Sadržaj vode u uzorcima određen je u skladu s normom HRN ISO 6496:2001 (Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 2001). Uzorak je sušen u sušioniku (UFE 400, Memmert, Njemačka) na 103 ± 2 °C do konstantne mase. Na temelju mase uzorka prije i poslije sušenja izračunat je sadržaj vode. Ukoliko je bilo odstupanja u sadržaju vlage, fizikalna svojstva su korigirana prema jednadžbama u radu Dorsey-Redding i sur. (1990).

3.2.2. Prava gustoća

Za određivanje prave gustoće korištena je gravimetrijska metoda koja se bazira na određivanju mase zrna u definiranom volumenu pomoću piknometara s etanolom kao otapalom. Na temelju gustoće etanola pri temperaturi prostorijske i masa praznog piknometra, piknometra sa zrnom te piknometra sa zrnom i etanolom, izračunata je gustoća, a konačan rezultat prikazan je kao srednja vrijednost gustoće zrna svih repeticija po 10 zrna.

3.2.3. Flotacijski indeks

Flotacijski indeks određen je prema metodi opisanoj u radu Lozano-Alejo i sur. (2007) s otopinom pripremljenom otapanjem 41g NaNO₃ u 100 mL vode. 100 g zrna ubačeno je u otopinu te je smjesa miješana 1 min na magnetskoj miješalici 1 min. Nakon smirivanja smjese u čaši određen je broj plutajućih zrna brojanjem, a konačan rezultat je prikazan kao srednja vrijednost dvije repeticije.

3.2.4. Masa i volumen 1000 zrna i hektolitarska masa

Za svaki hibrid izbrojeno je 200 zrna u duplikatu te je svakoj repeticiji određena masa i volumen. Vrijednosti su pomnožene s pet, a konačan rezultat je prikazan kao srednja vrijednost dvaju repeticija. Hektolitarska masa je izračunata dijeljenjem mase 1000 zrna s volumenom 1000 zrna, a množenjem sa 100, rezultat je prikazan kao kg/hL.

3.2.5. Tvrdća zrna po Stenvertu

Tvrdća zrna kukuruza određena je Stenvertovim testom opisanim u radu Pomeranz i sur. (1985). Prema Stenvertovom testu, tri parametra se koriste za procjenu tvrdoće: vrijeme potrebno da se samelje 17 mL meljave, visina stupca nakon meljave cijelog uzorka i omjer krupnih prema sitnim česticama u meljavi (C/F). 20 g samljeveno je mlinom čekičarom (Polymix PX-MFC 90 D, Kinematica, Italija) pri 2600 rpm, dok je razdvajanje cjelokupnog samljevenog uzorka na frakcije po veličini obavljeno je pomoću sitotresilice (AS 200 basic, Retsch, Njemačka) sa sitima promjera otvora 0,5 i 0,8 mm, pri čemu se prosijavanje vršilo 10 minuta pri amplitudi 60%. Omjer krupnih prema sitnim česticama izračunat je kao omjer čestica >0,8 mm i čestica manjih od 0,5 mm. Svaki uzorak je analiziran u duplikatu a kao rezultat je uzeta srednja vrijednost.

3.2.6. Potencijalna lomljivost zrna

Potencijalna lomljivost zrna istraživanih hibrida kukuruza određena je korištenjem drop testera HT-I, konstruiranog prema shemi opisanoj u radu Kim i sur. (2002). Zrno koje se analizira nalazilo se u utoru na dnu drop testera te je lomljeno ispuštanjem aluminijske šipke (201 g) s visine od 15 cm. Lomljena zrna su pažljivo skupljena kistom u Petrijeve zdjelice te izvagana, a cijela masa je zatim prosijana kroz sito veličine pora 4,75 mm kroz 10-15 s. Prosijavanjem su se odvajale čestice lomljenog kukuruza, a ostaci na situ i dnu su izvagani i na temelju njihovih masa izračunata je potencijalna lomljivost. Svaki uzorak je analiziran u duplikatu a kao rezultat je uzeta srednja vrijednost.

3.2.7. Dimenzije zrna i sferičnost

Dimenzije zrna istraživanih hibrida određene su digitalnim pomičnim mjerilom. Iz reprezentativnog uzorka izdvojeno je 14 zrna i to 10 zrna sa sredine klipa, 2 zrna s vrha i 2 zrna s dna klipa. Na temelju visine, debljine i širine svakog zrna, izračunata je sferičnost prema jednadžbi iz rada Matin i sur. (2007).

3.2.8. Ručna disekcija zrna

Ručna disekcija zrna provedena je prema metodi opisanoj u radu Correa i sur. (2002). Iz reprezentativnog uzorka izdvojeno je 10 zrna u duplikatu - po 7 zrna sa sredine klipa, 2 zrna s vrha i 1 zrno s dna klipa. Tih 10 zrna namočeno je u vruću destiliranu vodu tijekom 30 minuta. Svakom zrnu je pomoću skalpela ručno odvojen perikarp, klica te brašnjavi od caklavog endosperma. Svi dijelovi zrna su prosušeni na 40 °C tijekom 72 sata, a na temelju masa izračunat je udio svakog od dijelova u cijelom zrnu te caklavog endosperma u cijelom endospermu (caklavost). Rezultat je prikazan kao srednja vrijednost dvaju repeticija, a ako je bilo odstupanja uzorak je još jednom diseciran.

3.3. Statistička obrada podataka

Povezanost fizikalnih svojstava i caklavosti ispitana je prvo korelacijama, a zatim je najbolji regresijski model izabran na temelju Akaike informacijskog kriterija. Statistička obrada podataka provedena je PROC MIXED i PROC CORR procedurama statističkog paketa SAS 9.3 (Statistical Analysis System, 2011). Korelacije i modeli su smatrani značajnim ako je $P \leq 0,05$.

4. REZULTATI

4.1. Fizikalna svojstava istraživanih hibrida kukuruza

Prosječne vrijednosti, kao i raspon te standardnu devijaciju flotacijskog indeksa, prave gustoće, mase 1000 zrna, volumena 1000 zrna i hektolitarske mase istraživanih hibrida kukuruza prikazuje Tablica 1, dok su rezultati analiza svih analiziranih hibrida prikazani u PRILOGU 1. Vrijednosti flotacijskog indeksa kretale su se u rasponu od 8 do 100%, pri čemu je izmjerena standardna devijacija od 26,03%. Najveća vrijednost flotacijskog indeksa zabilježena je kod hibrida PR35F38, proizvođača DuPont Pioneer, a najniža kod hibrida Bc 462, proizvođača Bc Institut. Prosječna prava gustoća analiziranih uzoraka iznosila je 1,23 g/mL, a kretala se u rasponu od 0,93 g/m, kod hibrida P0216 (DuPont Pioneer), do 1,23 g/mL, kod hibrida Kitty (KWS). Masa 1000 zrna analiziranih hibrida u prosjeku je iznosila 314,58 g, dok se volumen 1000 zrna kretao u rasponu 345 - 525 mL. Prosječna hektolitarska masa analiziranih uzoraka iznosila je 72,92 kg/hL.

Tablica 1. Prosječne vrijednosti i njihov raspon flotacijskog indeksa, prave gustoće, mase 1000 zrna, volumena 1000 zrna i hektolitarske mase analiziranih hibrida kukuruza

SVOJSTVO	Flotacijski indeks	Prava gustoća	Masa 1000 zrna	Volumen 1000 zrna	Hektolitarska masa
	%	g/mL	g	mL	kg/hL
Prosjek	74,45	1,23	314,58	431,8	72,92
MIN	8,00	0,93	261,15	345,0	64,77
MAX	100,00	1,64	377,43	525,0	79,82
SD	26,03	0,026	28,89	39,78	2,33

Min, najmanja vrijednost; MAX, najviša vrijednost; SD, standardna devijacija

Tablica 2. prikazuje rezultate dimenzija zrna i sferičnosti, potencijalne lomljivosti i tvrdoće zrna po Stenvertu. Visina zrna analiziranih hibrida kretala se u rasponu od 10,56 mm do 13,13 mm, dok je prosječna širina iznosila 8,25 mm. Najveća debljina zrna (5,13 mm) izmjerena je kod hibrida NK Helico proizvođača Syngenta, a najniža (4,07 mm) kod hibrida Bc 572 proizvođača Bc Institut (PRILOG 2). Standardna devijacija je bila najmanja kod debljine zrna i ona u prosjeku iznosila 0,26 mm, a najveća kod visine zrna i iznosila je 0,64 mm. Na temelju rezultata dimenzija zrna izračunata je sferičnost koja je varirala od 0,56 do 0,77. Prosječna vrijednost potencijalne lomljivosti svih hibrida iznosila je 43,27%. Kod tvrdoće zrna određene Stenvert testom, vrijeme mljevenja kretalo se u rasponu od 2,6 do 5,8 sekundi, te je u prosjeku iznosilo 3,57 sekundi. Nadalje, prosječna visina stupca svježe samljevenog uzorka je iznosila 93,8 mm. Najniža visina stupca svježe samljevenog uzorka (76,5 mm) izmjerena je kod hibrida PR35F38 proizvođača DuPont Pioneer, a najviša (107,5 mm) kod hibrida Sy Ulises proizvođača Syngenta (PRILOG 2). Omjer krupnih prema sitnim česticama u meljavi zrna istraživanih hibrida varirao je od 0,28 (P9494, DuPont Pioneer) do 0,86 (Bc 462, Bc Institut) sa srednjom vrijednosti 0,51.

Tablica 2. Prosječne vrijednosti i njihov raspon dimenzija zrna i sferičnosti, potencijalne lomljivosti parametara tvrdoće zrna prema Stenvertu analiziranih hibrida kukuruza
Min, najmanja vrijednost; MAX, najviša vrijednost; SD, standardna devijacija

SVOJSTVO		Prosjek	MIN	MAX	SD
Visina	mm	12,13	10,56	13,13	0,64
Širina	mm	8,25	7,37	9,06	0,44
Debljina	mm	4,58	4,07	5,13	0,26
Sferičnost		0,64	0,60	0,71	0,026
Potencijalna lomljivost	%	43,27	19,02	65,73	12,39
Vrijeme mljevenja 17 mL meljave	s	3,57	2,67	5,84	0,66
Visina stupca mljevenja	mm	91,6	76,5	107,5	7,66
Omjer krupnih i sitnih čestica		0,51	0,28	0,86	0,12

4.2. Dijelovi zrna

Prosječni sadržaji perikarpa, klice, te caklavog i brašnavog endosperma u zrnu iznosili su redom 5,01%, 10,77%, 27,66% i 56,56% (Tablica 3). Prosječna caklavost endosperma analiziranih hibrida iznosila je 67,42%, pri čemu je najveća caklavost zabilježena kod hibrida Bc 462 (77,68%; PRILOG 3), a najniža kod hibrida Bc 532 (59,67%; PRILOG 3).

Tablica 3. Prosječne vrijednosti i njihova raspon udjela dijelova zrna i caklavost endosperma analiziranih hibrida kukuruza

U zrnu	Prosjek	MIN	MAX	SD
	%			
Perikarp	5,00	3,93	6,53	0,55
Klica	10,81	8,95	12,65	0,86
Brašnavi	27,73	18,83	35,06	3,89
Caklavi	56,45	50,54	66,03	4,00
U endospermu				
Brašnavi	32,34	20,67	40,33	4,86
Caklavi	67,30	59,67	77,68	4,38

Min, najmanja vrijednost; MAX, najviša vrijednost; SD, standardna devijacija

4.3. Korelacije između određenih karakteristika hibrida zrna

Odnosi između određenih svojstava analiziranih hibrida kukuruza ispitani su korelacijama te su one prikazane u Tablici 4. Caklavost je negativno korelirala ($P \leq 0,01$) s visinom zrna ($r = -0,53$), flotacijskim indeksom ($r = -0,75$) te visinom stupca meljave Stenvertovog testa ($r = -0,86$) dok je pozitivno korelirala ($P \leq 0,001$) s gustoćom ($r = 0,84$), hektolitarskom masom ($r = 0,75$), te vremenom mljevenja uzorka ($r = 0,84$) i omjerom krupnih i sitnih čestica u meljavi ($r = 0,76$) Stenvertovog testa. Masa i volumen 1000 zrna pozitivno su korelirali ($P \leq 0,05$) s visinom ($r = 0,45$ i $0,57$) i debljinom zrna ($r = 0,64$ i $0,62$) koji su bili suprotno povezani sa

sferičnosti zrna (visina $r = -0,66$ i širina $r = 0,37$). Dimenzije zrna su bile povezane i s ostalim fizikalnim svojstvima među kojima se ističu negativne korelacije ($P \leq 0,01$) visine zrna s hektolitarskom masom ($r = -0,49$) te vremenom mljevenja ($r = -0,69$) i omjerom sitnih prema krupnim česticama u meljavi Stenvert testa ($r = -0,53$). Flotacijski indeks je negativno korelirao ($P \leq 0,001$) s gustoćom ($r = -0,84$), hektolitarskom masom ($r = -0,84$), te vremenom mljevenja ($r = -0,86$) i omjerom krupnih i sitnih čestica ($r = -0,67$) Stenvert testa, dok je pozitivno korelirao ($P \leq 0,001$) s visinom stupca meljave Stenvert testa ($r = 0,83$). Suprotno flotacijskom indeksu, gustoća je pozitivno korelirala s hektolitarskom masom ($r = 0,81$), te vremenom mljevenja ($r = 0,79$) i omjerom krupnih i sitnih čestica ($r = 0,71$) Stenvert testa, dok je negativno korelirala ($P \leq 0,001$) s visinom stupca meljave Stenvert testa ($r = -0,82$). Potencijalna lomljivost je najmanje bila povezana s ostalim svojstvima te je korelirala jedino s debljinom zrna ($P \leq 0,01$, $r = 0,49$).

Tablica 4. Korelacije između određenih svojstava zrna istraživanih hibrida kukuruza

	Visina	Širina	Debljina	Sferičnost	Potencijal a lomljivost	FI ¹	Gustoća	Masa 1000 zrna	Volumen 1000 zrna	HM ²	Vrijeme mljevenja ³	Visina stupca ⁴	C/F ⁵
Caklavost	-0,53**	-0,21	-0,13	0,3	-0,19	-0,75***	0,84***	0,15	-0,13	0,75***	0,84***	-0,86***	0,76***
Visina		0,27***	0,17	-0,66***	-0,05	0,34	-0,51**	0,44**	0,56**	-0,5**	-0,69***	0,3	-0,54**
Širina			0,29	0,37*	-0,33	0,05	-0,25	0,64***	0,61**	-0,2	-0,16	0,17	-0,06
Debljina				0,47*	0,45**	0,005	-0,05	0,37	0,31	0,16	-0,14	0,16	-0,11
Sferičnost					0,11	-0,27	0,30	0,07	-0,07	0,4*	0,46*	-0,08	0,39*
Potencijal a lomljivost						0,16	-0,07	-0,31	-0,31	0,07	-0,23	0,28	-0,2
FI							-0,84***	-0,3	0,03	-0,84***	-0,76***	0,83***	-0,67***
Gustoća								0,07	-0,23	0,86***	0,79***	-0,84***	0,7***
Masa 1000 zrna									0,92***	0,09	0,02	-0,25	0,07
Volumen 1000 zrna										-0,25	-0,25	0,04	-0,21
HM											0,83***	-0,8***	0,78***
Vrijeme mljevenja												-0,82***	0,84***
Visina													-0,72***

¹Flotacijski indeks, ²Hektolitarska masa, ³Vrijeme punjenja 17 mL (Stenvert test), ⁴Visina stupca svježe samljevenog uzorka (Stenvert test),

⁵Omjer krupnih i sitnih čestica u meljavi (Stenvert test).

Značajno za navedenu P vrijednost: * P ≤ 0,05 ; ** P ≤ 0,01 ; *** P ≤ 0,001.

4.4. Linearna regresija caklavosti i fizikalnih svojstava

Na temelju utvrđenih korelacija između fizikalnih svojstava, linearnom regresijom prema Cp kriteriju ispitani su parametri koji mogu poslužiti za procjenu caklavosti. Najbolji modeli s do tri varijable prikazani su u Tablici 5.

Tablica 5. Regresijski modeli za procjenu caklavosti iz fizikalnih svojstava istraživanih hibrida kukuruza

Broj varijabli	Regresijska jednadžba	R ² modela
1	$Caklavost = 115,15 - 0,52 \times visina\ stupca^1$	0,79
2	$Caklavost = 134,63 - 2,05 \times visina\ zrna - 0,46 \times visina\ stupca$	0,87
3	$Caklavost = 126,9 - 2,22 \times visina\ zrna + 0,09 \times hektolitarska\ masa - 0,42 \times visina\ stupca$	0,88
	$Caklavost = 118,62 - 1,48 \times visina\ zrna - 0,40 \times visina\ stupca + 6,93 \times C/F^2$	0,89

¹Visina stupca svježe samljevenog uzorka (Stenvert test), ²Omjer krupnih i sitnih čestica u meljavi (Stenvert test).

Visina stupca svježe samljevenog uzorka Stenvertovim testom određivanja tvrdoće je fizikalno svojstvo koje najbolje opisuje caklavost istraživanih hibrida – čak 79% varijabilnosti. Ulaskom dvije odnosno tri varijable u model regresijske jednadžbe objašnjava se dodatnih 11 odnosno 12% varijabilnosti caklavosti istraživanih hibrida.

5. RASPRAVA

Flotacijski indeks procjenjuje relativnu gustoću zrna i indirektna je mjera tvrdoće zrna (Kljak i sur., 2011) dok prava gustoća predstavlja odnos između mase zrna i volumena koji zauzima to zrno. Rezultati flotacijskog indeksa i prave gustoće analiziranih hibrida u rasponima su vrijednosti dosadašnjih istraživanja. Peplinski i sur. (1992) su u svome istraživanju na 7 hibrida zabilježili raspon flotacijskog indeksa od 11 do 64%. I u istraživanju Kljak i sur. (2011) flotacijski indeks značajno je varirao, od 0 do 30,40%, dok su se rezultati prave gustoće kretali u rasponu od 1,051 do 1,278 g/mL. Radosavljević i sur. (2000) navode variranje gustoće zrna 20 različitih hibrida u rasponu 1,23 – 1,34 g/mL te flotacijskog indeksa 0 – 71%. Blandino i sur. (2010) su svojim istraživanjem potvrdili da relativna gustoća zrna, mjerena pomoću testa plutajućih zrna, dobro opisuje tvrdoću zrna kukuruza i performanse mljevenja. Negativna korelacija između flotacijskog indeksa i hektolitarske mase, gustoće zrna, te vremena mljevenja i omjera krupnih i sitnih čestica Stenvert testa u ovom istraživanju potvrđuje da veći broj plutajućih zrna imaju hibridi manje tvrdoće zrna. Nadalje, Blandino i sur. (2010) su utvrdili da zrna s visokim sadržajem bjelančevina imaju veću gustoću zrna i daju veći udio krupnih čestica u meljavi. S obzirom na to da flotacijski indeks između 13 i 37% ukazuje na tvrda zrna, a od 38 do 62% srednje ili manje tvrda zrna (Grbeša, 2016), hibridi u ovom istraživanju su imali srednje, odnosno manje tvrda zrna, dok su tvrda zrna imali hibridi NS 5043, Bc 462 i Pajdaš (PRILOG 1).

Fox i Manley (2009) navode da kukuruz s niskom gustoćom zrna (1,25 g/mL) ima mekana, a kukuruz s visokom gustoćom zrna (1,40 g/mL) tvrda zrna što se slaže s korelacijama utvrđenim sa svim parametrima Stenvert testa (Tablica 4). Istraživani hibridi, izuzev hibrida P0216 (PRILOG 1), su imali vrijednost gustoće u rasponu od 1,25 g/ml do 1,40 g/mL. Gaytán- Martínez i sur. (2006) u svome su istraživanju, provedenom na 26 hibrida kukuruza, utvrdili značajnu pozitivnu korelaciju tvrdoće zrna s gustoćom, te negativnu korelaciju tvrdoće s flotacijskim indeksom, što je sukladno rezultatima ovog istraživanja. Isti autori utvrdili su povezanost tvrdoće s veličinom granula škroba i tvrdoćom endosperma.

Masa 1000 zrna dobar je pokazatelj veličine zrna, volumena i specifične mase (Grbeša, 2016). Prosječna masa 1000 zrna zabilježena u ovom istraživanju niža je nego u istraživanju Radosavljević i sur. (2000) koji navode prosječnu vrijednost 322 g, dok Grbeša (2016) navodi da je prosječna masa 1000 zrna kukuruza 355 g. Isti autor navodi veći raspon mase 1000 zrna,

u odnosu na raspon zabilježen u ovom istraživanju (314,58 - 261,15). Grbeša (2016) navodi da su hibridi s višim udjelom caklavog endosperma teži od hibrida s višim udjelom brašnavog endosperma, te da teža zrna postižu manju razgradnju škroba u buragu. Prosječna vrijednost volumena analiziranih hibrida niža je od volumena kojeg navodi Grbeša (2016), 447 mL.

Hektolitarska masa najčešće se koristi za procjenu kvalitete zrna, pri čemu više vrijednosti upućuju na njegovu veću hranjivu vrijednost. Niske vrijednosti hektolitarske mase (< 62 kg/hl) upućuju na niži sadržaj škroba, ulja, caklavog endosperma te manju probavljivost i energetska vrijednost (Grbeša, 2016). Prema rasponu od 64,77 do 79,82 kg/hL, prosječna vrijednost hektolitarske mase utvrđena u ovom istraživanju viša je od minimalno potrebne (65 kg/hL) u Hrvatskoj (Grbeša, 2016). Promatrajući izmjerene vrijednosti, uglavnom svi hibridi u ovom istraživanju imali su hektolitarsku višu od 70 kg/hL te se za iste smatra da su visoke hranidbene vrijednosti.

Dimenzije zrna mjere su koje nam daju podatke o ukupnoj površini i volumenu zrna te su važne za poslježetvenu tehnologiju (Židko i sur., 1982). Izmjereni raspon visine, širine i debljine istraživanih hibrida slične su vrijednostima dobivenim u istraživanju Bemko i sur. (2014) u kojemu je visina varirala od 11,72 mm do 12,79 mm, širina od 7,88 mm do 8,40 mm, a debljina od 4,18 mm do 4,44, mm. Izmjerena standardna devijacija najmanja je kod debljine zrna a najveća kod visine zrna (Tablica 2) što upućuje da su razlike u dimenzijama zrna istraživanih hibrida puno veće kod visine zrna. Utvrđena korelacija visine i širine zrna s masom i volumenom 1000 zrna ukazuje da hibridi većih dimenzija zrna imaju veću masu i volumen te da pružaju veći otpor lomljenju što je značajna karakteristika u smanjenju oštećenja tijekom transporta i manipulacije zrnom te kasnijim prodorom insekata i plijesni u zrno. Sferičnost je parametar koji opisuje oblik zrna te što je njegova vrijednost bliža jedan, oblik zrna je sličniji kugli. Nadalje, sferičnost je povezana s procesom fluidizacije koja je važna u tehnološkim procesima poput sušenja kukuruza, pri čemu nepravilno sušenje može dovesti do promjena u fizikalnim svojstvima zrna (Matin i sur., 2007). Dobiveni raspon sferičnosti (0,60 – 0,71) veći je u odnosu na raspon zabilježen u istraživanju koje su proveli Blandino i sur. (2010) na 35 hibrida, od 0,56 do 0,67. Negativna korelacija visine i sferičnosti, te pozitivna korelacija sferičnosti s hektolitarskom masom, te vremenom mljevenja i omjerom krupnih i sitnih čestica meljave Stenvert testa upućuje na to da zrna veće sferičnosti imaju manju visinu, odnosno da sferičnost ukazuje na veću tvrdoću zrna a time i veću hranjivu vrijednost.

Analizirani hibridi pokazali su širok raspon vrijednosti potencijalne lomljivosti (19,02 – 65,73%), te je on veći u odnosu na istraživanje koje su proveli Pomeranz i sur. (1986) u kojemu je zabilježen raspon od 0,5 – 43,8%. Osjetljivost na lom važna je nasljedna osobina, koja se može mijenjati križanjem ili odgovarajućom selekcijom, te upućuje na veću ili manju fragmentaciju zrna prilikom njegove manipulacije. Kod oštećenih zrna, zbog higroskopnosti, dolazi do intenzivnije izloženosti napadu raznih mikroorganizama, gubitaka hranjivih tvari, te smanjenja higijensko-zdravstvene ispravnosti (Pliestić i Šutalo, 2001). Lom zrna povećava se primjenom previsokih temperatura sušenja, a povezan je i sa sadržajem vlage u zrnu. Tako je prema istraživanju koje su proveli Krička i sur. (1998) vidljivo smanjenje loma zrna s povećanjem sadržajem vlage u zrnu. Prema rezultatima navedenog istraživanja, kod zrna čiji je sadržaj vlage iznosio 13,5% udio lomljenih zrna iznosio je 38%, dok je kod zrna sa sadržajem vlage od 16,5% udio lomljenih zrna iznosio 19%. S obzirom na to da su hibridi u ovom istraživanju imali nizak sadržaj vlage, u prosjeku 10%, očekivano je izmjerena viša vrijednost potencijalne lomljivosti. U istraživanju provedenom na 10 hibrida kukuruza, Pomeranz i sur. (1986) utvrdili su negativnu korelaciju potencijalne lomljivosti s gustoćom ($r = -0,70$) i tvrdoćom ($r = -0,50$) zrna, te pozitivnu korelaciju s flotacijskim indeksom ($r = 0,49$), što u ovom istraživanju nije potvrđeno.

Određivanje tvrdoće zrna Stenvertovom metodom temelji se na međudnosu vremena potrebnog za mljevenje uzorka zrna i tvrdoće uzorka (Serna Saldivar, 2012). Prilikom određivanja tvrdoće mjeri se otpor mljevenju, pri čemu se duže vrijeme melje tvrđe zrno (Grbeša, 2016). Nadalje, određuje se i visina stupca meljave koja je viša za mekše hibride i omjer krupnih prema sitnim česticama koji je viši za tvrđe hibride. Međutim, brzina okretanja mlina različita je u različitim istraživanjima, od 2600 (Blandino i sur., 2010), preko 3600 (Pomeranz i sur., 1986) do 7200 rpm (Li i sur., 1996) što otežava usporedbu podataka. Prosječno vrijeme mljevenja uzoraka zabilježeno u istraživanju Blandino i sur. (2010) iznosilo je 8,2 s dok je u ovom istraživanju zabilježen raspon od 2,68 do 5,84 s. S druge strane, visina stupca svježe samljevenog uzorka (78 – 107,5 mm) i omjer krupnih i sitnih čestica (0,28 – 0,85) je bio usporediv s drugim istraživanjima. U istraživanju Li i sur. (1996) zabilježeni raspon visine stupca iznosio od 108,7 mm do 94,3 mm, dok se raspon omjera krupnih i sitnih čestica kretao od 0,2 do 0,5. Utvrđene korelacije između svih parametara tvrdoće Stenvert testa i gustoće, hektolitarske mase istraživanih hibrida, potvrđuju da ta fizikalna svojstva pouzdano upućuju na tvrdoću zrna kukuruza.

Grbeša (2016) navodi da je prosječan sadržaj perikarpa (4,98%) i klice (11,25%) u zrnu kukuruza Bc hibrida što su slične vrijednosti dobivenim u ovom istraživanju (5,0 i 10,81%). Kljak i sur. (2011) zabilježili su prosječnu caklavost 62,16%, te je ona niža od prosječne caklavosti zabilježene u ovom istraživanju (67,42%). Također, izmjereni raspon caklavosti veći je u odnosu na istraživanje koje su proveli Philippeau i sur. (1999), 38,5% – 57,3%, dok je sličan rasponu vrijednosti zabilježenom u istraživanju koje su proveli Gayral i sur. (2015), 67,9 – 74,5%. Brojna istraživanja kukuruznog zrna upućuju na snažnu povezanost između njegove strukture i kvalitete, pri čemu određivanje caklavosti zrna ima važnu ulogu u određivanju hranjive vrijednosti, budući da je endosperm, kao najzastupljeniji dio zrna, glavno skladište škroba i proteina. Cagampang i sur. (1985) utvrdili su veći udio proteina u zrnima veće caklavosti, dok Grbeša (2016) navodi da je udio zeina u zrnima kukuruza povezan sa caklavošću zrna, odnosno da je njegov sadržaj veći kod hibrida s višim udjelom caklavog endosperma i amiloze. Tako je prema istraživanju kojeg su proveli Kljak i sur. (2018) utvrđena pozitivna korelacija između caklavosti i sadržaja amiloze ($r = 0,29$) i zeina ($r = 0,50$) u zrnu kukuruza. Međutim, Correa i sur. (2002) navode da s povećanjem caklavosti pada probavljivost škroba u buragu, te da određivanje caklavosti može poslužiti kao metoda za određivanje krajnje upotrebe zrna, kako bi se omogućila njegova visoka iskoristivost. Nadalje, caklavost upućuje i na tvrdoću zrna što je važan podatak za poslježetvenu tehnologiju (Louis-Alexandre i sur., 1991; Grbeša 2016).

Brojna su istraživanja u kojima se ispitivala povezanost fizikalnih svojstava hibrida kukuruza kako bi se utvrdila pouzdanost metoda određivanja fizikalnih svojstava za brzo predviđanje kvalitete zrna. Na temelju pozitivne korelacije ($r = 0,87$) između tvrdoće zrna i caklavosti 21 hibrida kukuruza, Correa i sur. (2002) navode da tvrdoća zrna može poslužiti kao pokazatelj relativnog omjera caklavog i brašnavog endosperma u zrnu kukuruza. S obzirom na to da je tvrdoća zrna glavni pokazatelj gustoće zrna (Bergquist i sur., 1992), i gustoća zrna može poslužiti kao indirektni pokazatelj njegove caklavosti (Philippeau i sur., 1999). Korelacije između caklavosti zrna i tvrdoće i gustoće u ovom istraživanju potvrđuju rezultate navedenih autora. Nadalje, u ovom istraživanju utvrđena je i korelacija i s visinom zrna, flotacijskim indeksom i hektolitarskom masom. Prema tome, zrna veće caklavosti će imati nižu visinu zrna i nižu visinu stupca svježe samljevenog uzorka Stenvert testa i viši flotacijski indeks, gustoću te vrijeme mljevenja i omjer krupnih i sitnih čestica meljave Stenvert testa. Blandino i sur. (2010) u svome su istraživanju utvrdili značajnu korelaciju ($r = 0,78$) omjera krupnih prema sitnim česticama i udjela caklavog endosperma u zrnu, što se slaže s rezultatima dobivenim u

ovom istraživanju. Grbeša (2016) navodi da tvrdunci sadržavaju pretežito zbijeni, teški caklavi endosperm, te da je njihova kruna zbijena, okrugla i bez udubljenja, odnosno da je caklavost veća kod zrna manjih dimenzija, pri čemu se ova tvrdnja slaže s utvrđenom negativnom korelacijom s visinom zrna.

Caklavost zrna se određuje ručnom disekcijom zbog čega je taj proces zahtjevan i dugotrajan. Nadalje, moguće su varijacije u rezultatima istog uzorka između više različitih osoba. Zbog navedenih razloga, fizikalna svojstva, brzo i jednostavno određiva, se često povezuju s caklavošću. Korelacije u ovom istraživanju potvrđuju da se neka od fizikalnih svojstava mogu koristiti za procjenu caklavosti. Nadalje, istraživani hibridi imaju širok raspon caklavosti ali i analiziranih fizikalnih svojstava zbog čega bi se utvrđeni modeli mogli koristiti za procjenu caklavosti komercijalnih hibrida u tipu zubana i kvalitetnih zubana.

U skladu s najvišim koeficijentom korelacije, visina stupca svježe samljevenog uzorka Stenvert testa je najbolje opisuje varijabilnost caklavosti istraživanih hibrida u modelu s jednom varijablom. Primjenom ove jednadžbe mogla bi se procijeniti caklavost zrna s točnošću od 79%. U modelu s dvije varijable, dodana je i visina zrna, te se poznavanjem ovih dvaju varijabli može procijeniti caklavost zrna. Dodatak treće varijable u model podiže točnost procjene tek za 1 i 2% u slučaju hektolitarske mase i omjera krupnih i sitnih čestica Stenvert testa. S obzirom na to da je visinu stupca meljave, visinu zrna i njegovu hektolitarsku masu lako odrediti i bez laboratorijskih uvjeta i dodatne opreme, model s ove tri varijable bi mogao imati praktičnu primjenu.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja na 30 hibrida kukuruza različitih proizvođača, doneseni su sljedeći zaključci:

- Istraživani hibridi variraju u fizikalnim svojstvima i caklavosti zrna.
- Hibridi veće caklavosti zrna imaju nižu visinu zrna i nižu visinu stupca svježe samljevenog uzorka Stenvert testa i viši flotacijski indeks, gustoću te vrijeme mljevenja i omjer krupnih i sitnih čestica meljave Stenvert testa.
- Caklavost se može procijeniti linearnom regresijom u modelu s jednom (visina zrna, $R^2 = 0,79$), dvije (visina zrna i visina stupca svježe samljevenog uzorka Stenvert testa, $R^2 = 0,88$) i tri varijable (visina zrna, visina stupca svježe samljevenog uzorka i omjer krupnih i sitnih čestica u meljavi Stenvert testa, $R^2 = 0,89$).

7. ZAHVALE

Zahvaljujemo se svojoj mentorici doc. dr. sc. Kristini Kljak na uloženom vremenu, strpljenju i nesebičnoj pomoći pri izradi ovog rada. Zahvaljujemo se za ukazano povjerenje, kao i pruženu priliku da steknemo iskustvo rada u laboratoriju i pisanja znanstvenog rada.

8. POPIS LITERATURE

1. Bemko, I., Jurkas, M., Njari, T., Sučija, M. (2014). Utjecaj lokacije proizvodnje zrna na fizikalna svojstva Bc hibrida kukuruza. Stručni projekt, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb.
2. Bergquist, R., Thompson, D. L. (1992). Corn grain density characterized by two specific gravity techniques. *Crop Science*. 32:1287–1290.
3. Blandino, M., Mancini, M. C., Peila, A., Rolle, L., Vanaraa, F., Reyneria, A. (2010). Determination of maize kernel hardness: comparison of different laboratory tests to predict dry-milling performance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90: 1870 – 1878.
4. Cagampang, G., Creek, B., Kirleis, A., Lafayette, W. (1985). Properties of starches isolated from sorghum floury and corneous endosperm. *Starch/Stärke*. 8: 253-257.
5. Correa, C. E. S. Shaver, R. D., Pereira, M. N., Lauer, J. G., Kohn, K. (2002). Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *Journal of Dairy Science*. 85:3008-3012.
6. Dorsey-Redding, C., Hurburgh, C. R., Johnson, L. A., Fox, S. R. (1991). Relationships among maize quality factors. *Cereal Chemistry*. 68:602-605.
7. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM; 2001): Stočna hrana – Određivanje vode i udjela drugih hlapljivih tvari, Zagreb, Hrvatska.
8. Erasmus, C., Taylor J. R. N. (2004). Optimising the determination of maize endosperm vitreousness by a rapid non-destructive image analysis technique. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84: 920–930.
9. Fox, G., Manley, M. (2009). Hardness methods for testing maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 5647 – 5657.
10. Gayral, M, Bénédicte, B., Dalgalarondo, M., Elmorjani, K., Delluc, C., Brunet, S., Linossier, L., Morel, M. H., Marion, D. (2015). Lipid partitioning in maize (*Zea mays* L.) endosperm highlights relationships among starch lipids, amylose, and vitreousness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63: 3551–3558.
11. Gaytán-Martínez, M., Figueroa-Cárdenas, J. D., Reyes-Vega, M. L., Rincón-Sánchez, F., Morales-Sánchez, E. (2006). Microstructure of starch granule related to kernel hardness in corn. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29: 135-139.

12. Gehring, C. K., Bedford, M. R., Cowieson, A. J., Dozier, W. A., (2012). Effects of corn source on the relationship between in vitro assays and ileal nutrient digestibility. *Poultry Science*. 91: 1908-1914.
13. Giuberti, G., Gallo, A., Moschini, M., Cerioli, C., Masoero, F. (2013). Evaluation of the impact of maize endosperm vitreousness on in vitro starch digestion, dry matter digestibility and fermentation characteristics for pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 186: 71-80.
14. Grbeša, D. (2016). Hranidbena svojstva kukuruza. Bc Institut za oplemenjivanje i proizvodnju bilja d.d., Zagreb.
15. Gustafson, T. J., Leon, N. (2010). Genetic Analysis of Maize (*Zea mays* L.) Endosperm vitreousness and related hardness traits in the intermated B73 × Mo17 recombinant inbred line population. *Crop Science*. 50: 2318 – 2327.
16. Kim, T. H., Opara, L. U., Hampton, J. G., Hardacre, A. K., MacKay, B. R. (2002). PH—postharvest technology: the effects of grain temperature on breakage susceptibility in maize. *Biosystems Engineering*. 82: 415-421.
17. Kljak, K., Duvnjak, M., Grbeša, D. (2018). Contribution of zein content and starch characteristics to vitreousness of commercial maize hybrids. *Journal of Cereal science*. 80: 57 – 62.
18. Kljak, K., Grbeša, D., Aleuš, D. (2011). Relationships between kernel physical properties and zein content in corn hybrids. *Bulletin UASVM Agriculture*. 68: 188 – 194.
19. Krička, T., Pilešić S., Jakopović, E., Preprotnik, S. (1998). Utjecaj vlažnosti na fizikalna svojstva zrna kukurza, pšenice, soje i uljanje repice. *Krmiva*. 40:2: 63 – 70.
20. Li, R. X. P., Hardcre, A. K., Campanella, O. H., Kirkpatrick, K. J. (1996). Determination of endosperm characteristics of 38 corn hybrids using the Stenvert hardness test. *Cereal Chemistry*. 73: 466-471.
21. Lopes, J. C., Shaver, R. D., Hoffman, P. C., Akins, M. S., Bertics, S. J., Gencoglu, H., Coors, J. G. (2009). Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92: 4541-4548.
22. Matin, A., Krička, T., Voća, N., Jukić, Ž., Janušić, V. (2007). Impact of drying on dimensions of corn kernel grown at different agrotechnological levels. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 3: 205- 209.

23. Mestres, C., Louis-Alexandre, A., Matencio, F., Lahlou, A. (1991). Dry-milling properties of maize. *Cereal Chemistry*. 68: 51-56.
24. Mu-Forester, C., Wasserman, B. P. (1998). Surface localization of zein storage proteins in starch granules from maize endosperm: proteolytic removal by thermolysin and in vitro cross linking of granule-associated polypeptides. *Plant Physiology*. 116: 1563-1571.
25. Peplinski, A. J., Paulsen, M. R., Bouzaher, A. (1992). Physical, chemical, and dry milling properties of corn of varying density and breakage susceptibility. *Cereal Chemistry*. 69: 397 -400.
26. Philippeau, C., Landry, J., Michalet-Doreau, B. (2000). Influence of the protein distribution of maize endosperm on ruminal starch degradability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80: 404-408.
27. Philippeau, C., Le Deschault de Monredon, F., Michalet-Doreau, B. (1999). Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *Journal of Animal Science*. 77: 238-243.
28. Pilešćić, S., Šutalo, M. (2001). Breakage of corn kernel on an vertical elevator transportation. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 4: 203-215.
29. Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z., Lai, F. S. (1986). Comparison of methods for determination of hardness and breakage susceptibility of commercially dried corn. *Cereal Chemistry*. 39-43.
30. Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z., Martin, C. R., Lai F. S. (1985): Determination of corn hardness by the Stenvert hardness tester. *Cereal Chemistry*. 62:108-112.
31. Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z., Martin, C. R., Lai, F. S. (1984). Corn hardness determination. *Cereal Chemistry*. 62: 147 - 150.
32. Radosavljević, M., Bekrić, V., Božović, I., Jakovljević, J. (2000). Physical and chemical properties of various corn genotypes as a criterion of technological quality. *Genetika*. 32; 319-329.
33. Serna-Saldivar, S. O. (2012). *Cereal grains: laboratory reference and procedures manual*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
34. Watson, S. A. (2003). Description, development, structure and composition of the corn kernel. In: *Corn: Chemistry and Technology* (White, P. J., Johnson, L. A., Ur.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, 69-106.
35. Weurding, R. E., Enting, H., Verstegen, M. W. (2003). The relation between starch digestion rate and amino acid level for broiler chickens. *Poultry Science*. 82: 279-284.

36. Zhao, J. P., Cui, D. P., Zhang, Z. Y., Jiao, H. C., Song, Z. G., Lin, H. (2016). Live performance, carcass characteristic and blood metabolite responses of broilers to two distinct corn types with different extent of grinding. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 101: 378-388.
37. Židko, V. I., Rezikov, V. A., Ykolov, V. S. (1982). *Zernosušenie i zernosušilki*. Kolos, Moskva.
38. <https://www.feedipedia.org/node/556> (pristupljeno: 11. travnja 2018.).

SAŽETAK

Marieta Jareš, Klara Novaković, Santina Pamić, Dora Zurak

Evaluacija fizikalnih svojstava zrna za predikciju caklavosti

Caklavost, omjer caklavog prema brašnavom endospermu, svojstvo je zrna koje određuje tvrdoću, otpornost na lom, brzinu probavljivosti škroba te proizvodna svojstva i zdravstveno stanje životinje. Određuje se manualnom disekcijom zrna i vaganjem pojedinih dijelova, što čini ovaj postupak radno zahtjevnim i vremenski dugotrajnim. Cilj ovog istraživanja je bio istražiti povezanost caklavosti i fizikalnih svojstava te iskoristiti tu povezanost za predikciju caklavosti zrna kukuruza. Zrno 30 hibrida kukuruza različitih proizvođača proizvedeno je na istom polju i u uvjetima iste agrotehnike. Caklavost hibrida je određena manualnom disekcijom 20 zrna, a od fizikalnih svojstava određeni su hektolitarska masa, gustoća tvrdoća prema Stenvertu (vrijeme mljevenja 17 mL meljave, visina stupca meljave i omjer sitnih i krupnih čestica u meljavi – C/F), flotacijski indeks, potencijalna lomljivost, dimenzije zrna i sferičnost. Izbor najboljeg modela za predikciju caklavosti proveden je prema Akaike informacijskom kriteriju. Caklavost zrna istraživanih hibrida kretala se od 59,7 do 77,7%, a više vrijednosti su imala zrna ($P < 0,01$) manje visine ($r = -0,53$), nižeg flotacijskog indeksa ($r = -0,75$), više gustoće ($r = 0,82$), više hektolitarske mase ($r = 0,75$), te dužeg vremena mljevenja ($r = 0,84$), niže visine stupca meljave ($r = -0,86$) i višeg C/F ($r = 0,75$). Visina stupca meljave je varijabla koja objašnjava najviše varijabilnosti caklavosti u modelu s jednom varijablom – 79,4% (caklavost = $115,17 - 0,52 \times$ visina stupca). Modeli s dvije (caklavost = $134,63 - 2,05 \times$ visina zrna - $0,46 \times$ visina stupca) i tri varijable (caklavost = $118,62 - 1,48 \times$ visina - $0,40 \times$ visina stupca + $6,94 \times$ C/F) objašnjavaju 87 i 89% varijabilnosti caklavosti. Visoki koeficijenti determinacije pokazuju da se jednostavne i brze metode određivanja fizikalnih svojstava mogu koristiti za predikciju caklavosti zrna različitih hibrida s visokom pouzdanošću.

Ključne riječi: zrno kukuruza, caklavost, fizikalna svojstva

SUMMARY

Marieta Jareš, Klara Novaković, Santina Pamić, Dora Zurak

Evaluation of kernel physical traits for prediction of vitreousness

Vitreousness, the ratio of vitreous to floury endosperm, is a kernel trait that determines hardness, breakage resistance, starch digestibility rate, and animal's production characteristics and health. However, the procedure for vitreousness determination is laborious and time-consuming due to the manual dissection and weighting of kernel parts. The aim of this research was to explore the relationship between vitreousness and physical traits with intent to use this relationship for prediction of kernel vitreousness. Grain from 30 maize hybrids from various seed companies was grown on the same field under the same agricultural technique. Vitreousness was determined by manual dissection of 20 kernels, and from physical traits, bulk and real density, Stenvert hardness (time to grind 17mL of grits, the total column height of freshly ground grain, and coarse-to-fine particles ratio in ground sample – C/F), flotation index, breakage susceptibility, kernel dimensions and sphericity were determined. The best model for vitreousness prediction was selected using Akaike information criterion. Vitreousness of investigated maize hybrids was in range from 59.7 to 77.7%, with higher values ($P < 0.01$) in kernels with lower height ($r = -0.53$), lower flotation index ($r = -0.75$), higher density ($r = 0.82$), higher bulk density ($r = 0.75$), longer grinding time ($r = 0.84$), lower column height ($r = -0.86$) and higher C/F (0.75). The column height was variable explaining the highest variability of vitreousness in one-variable model – 79.4% (vitreousness = $115.17 - 0.52 \times$ column height). Models with two (vitreousness = $134.63 - 2.05 \times$ kernel height – $0.46 \times$ column height) and three variables (vitreousness = $118.62 - 1.48 \times$ kernel height – $0.40 \times$ column height + $6.94 \times$ C/F) explained 87 and 89% of vitreousness variability. Obtained high coefficients of determination show that fast and simple methods used for determination of physical traits can be used for prediction of vitreousness of different maize hybrids with high certainty.

Keywords: maize grain, vitreousness, physical traits

PRILOZI

PRILOG 1. Rezultati flotacijskog indeksa, prave gustoće, mase 1000 zrna, volumena 1000 zrna i hektolitarske mase analiziranih hibrida

PROIZVOĐAČ	HIBRID	SVOJSTVO				
		Flotacijski indeks	Prava gustoća	Masa 1000 zrna	Volumen 1000 zrna	Hektolitarska masa
		%	g/mL	g	mL	kg/hL
<u>LG</u>	LG 30.325	96	1,19	277,38	382,5	72,57
	LG 33.50	98	1,22	303,38	427,5	70,97
<u>KWS</u>	Amandha	80	1,21	338,10	465	72,72
	Kitty	75,5	1,23	325,45	447,5	72,72
<u>RWA</u>	Sherley	71	1,24	324,83	427,5	75,98
	Labeli	80	1,24	296,68	400	74,17
<u>Syngenta</u>	NK Helico	95,5	1,20	377,43	525	71,89
	NK Pako	83	1,24	277,85	380	73,12
	Sy Ulises	99,5	1,18	321,93	457,5	70,40
<u>Dekalb</u>	DKC 5222	74	1,24	365,28	497,5	73,43
<u>PIS</u>	Drava 404	93	1,22	290,60	405	71,77
	Os 430	97	1,64	288,70	410	70,41
	Os 499	52	1,25	293,53	395	74,33
	Os 378	97,5	1,22	281,70	435	64,77
	Ossk 515	96	1,21	307,08	427,5	71,84
<u>Maïsadour</u>	MAS 47.P	69	1,24	302,65	405	74,75
	MAS 56.E	38	1,24	362,10	490	73,90
<u>NS seme</u>	NS 3014	84,5	1,21	302,38	417,5	72,43
	NS 5043	30	1,26	320,30	432,5	74,06
<u>Bc</u>	Bc 344	85,5	1,21	317,83	432,5	73,49
	Bc 462	8	1,29	325,25	407,5	79,82
	Bc 532	98,5	1,19	338,70	477,5	70,93
	Bc 572	65	1,27	261,15	345	75,72
	Bc 678	74,5	1,22	340,23	475	71,63
	Pajdaš	16	1,26	350,53	455	77,04
<u>DuPont Pioneer</u>	P0216	98	0,93	325,73	465	70,05
	PR35F38	100	1,19	296,13	425	69,68
	PR36V74	59,5	1,23	301,40	397,5	75,88
	PR37Y12	98	1,18	280,80	397,5	70,65
	P9494	44,5	1,25	331,18	445	74,42

PRILOG 2. Rezultati dimenzija zrna i sferičnosti, potencijalne lomljivosti, tvrdoće zrna po Stenvertu analiziranih hibrida

PROIZVOĐAČ	HIBRID	SVOJSTVO							
		Visina	Širina	Debljina	Sferičnost	Potencijalna lomljivost	Vrijeme mljevenja	Visina stupca meljave	Omjer krupnih i sitnih čestica
		mm			%	s	mm	kg/kl	
<u>LG</u>	LG 30.325	12,68	8,22	4,91	0,65	65,73	2,99	102,5	0,42
	LG 33.50	12,45	7,98	4,41	0,61	52,54	3,13	99,5	0,40
<u>KWS</u>	Amandha	12,08	9,03	4,60	0,66	48,03	3,52	94,0	0,53
	Kitty	13,13	8,20	4,54	0,60	39,91	3,39	88,0	0,47
<u>RWA</u>	Sherley	12,03	8,28	4,82	0,65	60,76	3,52	91,5	0,60
	Labeli	12,50	7,67	4,97	0,63	59,80	3,62	90,0	0,47
<u>Syngenta</u>	NK Helico	12,89	9,06	5,13	0,66	30,16	2,94	99,0	0,49
	NK Pako	11,96	7,98	4,51	0,64	48,49	3,22	98,3	0,47
	Sy Ulises	12,52	8,34	4,79	0,63	46,18	2,68	107,5	0,41
<u>Dekalb</u>	DKC 5222	12,87	8,76	4,64	0,63	37,59	3,36	85,0	0,46
<u>PIS</u>	Drava 404	11,98	8,34	4,48	0,64	48,29	3,34	94,5	0,53
	Os 430	11,59	8,58	4,41	0,66	37,20	3,43	99,0	0,56
	Os 499	11,88	8,37	4,21	0,63	27,10	3,83	88,0	0,53
	Os 378	11,56	7,39	4,60	0,63	51,12	3,59	97,0	0,40
	Ossk 515	12,14	8,62	4,65	0,65	31,35	3,47	95,0	0,28
	MAS 47.P	12,28	7,69	4,97	0,63	63,72	3,28	90,0	0,47
<u>Maisadour</u>	MAS 56.E	13,09	8,29	4,49	0,60	34,75	3,75	85,0	0,49
	NS 3014	11,88	7,92	4,31	0,62	38,90	3,92	86,0	0,62
<u>NS seme</u>	NS 5043	12,09	7,90	4,12	0,61	28,10	3,93	85,0	0,57
	Bc 344	11,96	8,46	4,29	0,63	38,63	3,90	91,0	0,63
<u>Bc</u>	Bc 462	10,56	8,38	4,89	0,72	39,52	5,84	78,0	0,85
	Bc 532	13,06	8,91	4,49	0,62	27,13	3,36	98,0	0,39
	Bc 572	10,66	7,37	4,07	0,65	32,19	4,97	81,5	0,70
	Bc 678	12,91	8,38	4,48	0,61	19,02	3,51	88,5	0,52
	Pajdaš	11,29	8,76	4,90	0,70	40,90	4,46	81,5	0,61
	P0216	11,74	8,12	4,61	0,65	50,07	2,67	98,5	0,33
	PR35F38	11,95	8,59	4,67	0,66	57,27	2,71	106,0	0,28
<u>DuPont Pioneer</u>	PR36V74	11,89	8,02	4,47	0,64	51,69	3,93	76,5	0,86
	PR37Y12	12,31	7,81	4,24	0,60	39,59	2,73	99,5	0,37
	P9494	12,29	7,84	4,58	0,62	61,63	3,87	83,5	0,53

PRILOG 3. Rezultati ručne disekcije zrna analiziranih hibrida

PROIZVOĐAČ	HIBRID	Udio u zrnu / %				Udio u endospermu / %	
		perikarp	klica	brašnavi	čaklavi	brašnavi	čaklavi
<u>LG</u>	LG 30.325	5,20	10,72	32,97	51,11	39,21	60,79
<u>KWS</u>	Amandha	5,33	10,95	26,85	56,87	33,32	66,68
	Kitty	4,88	10,16	25,93	59,02	30,52	69,48
<u>RWA</u>	Sherley	4,56	11,29	26,11	58,04	31,03	68,97
	Labeli	4,40	10,87	27,23	57,50	32,14	67,86
<u>Syngenta</u>	NK Helico	4,78	10,88	29,19	55,15	34,61	65,39
	NK Pako	5,34	9,19	31,01	54,47	36,27	63,73
	Sy Ulises	4,42	11,21	32,82	51,54	38,91	61,09
<u>Dekalb</u>	DKC 5222	4,50	11,38	26,11	58,01	20,67	68,99
<u>PIS</u>	Drava 404	5,56	11,00	30,38	53,05	36,41	63,59
	Os 430	5,54	12,13	28,67	53,65	34,83	65,17
	Os 499	5,12	10,99	24,19	59,69	30,40	69,60
	Os 378	6,53	11,65	29,82	51,99	36,45	63,55
	Ossk 515	6,22	11,20	30,11	52,47	36,46	63,54
<u>Maïsadour</u>	MAS 47.P	4,77	8,95	26,68	59,59	30,92	69,08
	MAS 56.E	4,88	10,85	25,75	58,53	30,55	69,45
<u>NS seme</u>	NS 3014	4,69	10,74	26,67	57,90	31,54	68,46
	NS 5043	5,25	11,56	25,35	57,84	30,47	69,53
<u>Bc</u>	Bc 344	5,29	11,66	24,48	58,57	29,49	70,51
	Bc 462	4,51	11,11	18,83	65,55	22,32	77,68
	Bc 532	4,99	10,31	34,16	50,54	40,33	59,67
	Bc 572	4,88	9,96	19,14	66,03	22,47	77,53
	Bc 678	5,50	10,04	27,03	57,44	32,00	68,00
	Pajdaš	4,93	12,65	21,98	60,44	26,67	73,33
<u>DuPont Pioneer</u>	P0216	4,54	9,65	35,06	50,76	30,52	69,48
	PR35F38	4,70	10,73	28,23	56,34	33,38	66,62
	PR36V74	5,54	10,19	29,67	54,60	35,21	64,79
	PR37Y12	3,93	9,45	25,80	60,83	29,78	70,22
	P9494	4,51	10,85	31,85	52,79	37,64	62,36