

Promjene sile lomljenja u odnosu na broj udaraca kojima je izloženo zrno

Barić, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:400567>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**PROMJENE SILE LOMLJENJA U ODNOSU NA BROJ
UDARACA KOJIMA JE IZLOŽENO ZRNO**

DIPLOMSKI RAD

Antonio Barić

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika - Mehanizacija

**PROMJENE SILE LOMLJENJA U ODNOSU NA BROJ
UDARACA KOJIMA JE IZLOŽENO ZRNO**

DIPLOMSKI RAD

Antonio Barić

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Jukić

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Antonio Barić**, JMBAG 0178107667, rođen 12.09.1996. u Bjelovaru, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

PROMJENE SILE LOMLJENJA U ODNOSU NA BROJ UDARACA KOJIMA JE IZLOŽENO ZRNO

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Antonio Barić**, JMBAG 0178107667, naslova

PROMJENE SILE LOMLJENJA U ODNOSU NA BROJ UDARACA KOJIMA JE IZLOŽENO ZRNO

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Prof. dr. sc. Željko Jukić mentor

2. Izv. prof. dr. sc. Igor Kovačev član

3. Izv. prof. dr. sc. Nikola Bilandžija član

Zahvala

Ovime zahvaljujem mom mentoru prof. dr. sc. Željku Jukiću na velikom strpljenju, uključenosti, ažurnosti i predanosti oko izrade mog diplomskog rada i obavljanja svih ostalih popratnih aktivnosti. Zahvaljujem svim kolegama studentima koje sam upoznao tijekom studija, svim ostalim profesorima koji su me dublje zainteresirali, motivirali i poticali da razvijam kritičko mišljenje u okvirima struke i šire (tu posebice zahvaljujem prof. dr. sc. Stjepanu Pliستیću koji mi je kao mlađem kolegi od prve godine studija iskazivao golemo poštovanje i strpljenje) administrativnom osoblju Fakulteta na kvalitetnoj i kontinuiranoj podršci, poticajnim savjetima i brzom pomoći tijekom cijelog perioda mog studiranja bez kojih i sam ovaj diplomski rad u konačnici ne bi bio moguć. Posebice sam zahvalan kolegama Matiji Balali i Ondreju Szabi koji su mi uvelike pomogli oko izvedbe eksperimentalnog dijela ovoga rada. Također zahvaljujem mojoj majci Ani, sestri Nadi, Zrinki Bulić, Kristini Gunčević, Tinu Lerincu i svim bliskim prijateljima koji su me savjetovali, vjerovali u moje sposobnosti, trpjeli me, bodrili i poticali.

Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Cilj istraživanja	5
2.	Opis metoda.....	6
3.	Rezultati i rasprava.....	14
4.	Zaključak	19
5.	Popis literature.....	20

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Antonio Barić**, naslova

PROMJENE SILE LOMLJENJA U ODNOSU NA BROJ UDARACA KOJIMA JE IZLOŽENO ZRNO

Oštećenja zrna koja nastaju tijekom žetve i rukovanja predstavljaju izazov u posliježetvenoj tehnologiji žitarica. Cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi sile lomljenja kukuruznog zrna koje će biti izloženo različitom broju udaraca, od izostanka udaraca do raspona od 5 do 40 udaraca. Sile pri kojima su zrna bila polomljena određene su kod 5 razina vlage. Prosječna sila pri kojima su polomljena zrna kod najmanjih vlaga (od 11,71 do 11,83%) iznosila je 0,60 kN, a kod najvećih vlaga (od 25,43 do 26,98%) prosječna sila iznosila je 0,41 kN. Statistička analiza podataka je pokazala da postoji signifikantna razlika u prosječnim silama između razina vlaga. Kako se povećavala vlaga zrna tako se smanjivao broj polomljenih zrna. Kod vlaga zrna između 11,71% i 11,83%, broj nepolomljenih zrna kretao se od 21 do 38, dok je kod vlaga između 25,43% i 26,98%, broj nepolomljenih zrna bio u rasponu od 68 do 83. Ukupno je najviše polomljenih zrna u prosjeku utvrđeno u uzorcima koji su uzeti iz polja 2 (50,89%), a najmanje u uzorcima koji su uzeti iz polja 4 (64,89%). Dobiveni podaci mogu pomoći kod procjena koliko bi se moglo očekivati oštećenih zrna kod izvođenja određenih zahvata pri vlagama zrna koje su bile u istraživanju. U ovom istraživanju zrno je uvijek postavljano u položaj klica prema dolje i korišten je samo jedan hibrid. U sljedećim istraživanjima trebalo bi uključiti više hibrida koji su uzgojeni na različitim razinama dodanog dušika i koji se razlikuju u odnosu tvrdog i mekog endosperma te odrediti veličinu sila kada se zrno postavi u drugi položaj.

Ključne riječi: kukuruz, vlaga zrna, lom zrna, sile lomljenja

Summary

Of the master's thesis - student **Antonio Barić**, entitled

CHANGES IN BREAKING FORCE IN RELATION TO THE NUMBER OF IMPACTS TO WHICH THE GRAIN IS EXPOSED

Kernel damage that occurs during harvest and handling represents a challenge in post-harvest grain technology. The aim of this thesis was to determine the breaking forces of corn kernels that will be exposed to a different number of hits, from the absence of hits to a range of 5 to 40 hits. The forces at which the kernels were broken were determined at 5 moisture levels. The average force at which the grains were broken at the lowest moisture content (from 11.71 to 11.83%) was 0.60 kN, and at the highest moisture content (from 25.43 to 26.98%), the average force was 0.41 KN. Statistical analysis of the data showed that there is a significant difference in the average forces between the moisture levels. As the grain moisture level increased, the number of broken kernels decreased. With kernel moisture levels between 11.71% and 11.83%, the number of unbroken kernels ranged from 21 to 38, while at moisture levels between 25.43% and 26.98%, the number of unbroken kernels ranged from 68 to 83. In total, most of the broken kernels were found on average in samples taken from field 2 (50.89%), and the least in samples taken from field 4 (64.89%). The obtained data can help in estimating how many damaged kernels could be expected when performing certain operations at the moisture content of the kernels that were in the research. In this study, the grain was always placed in the germ-down position and only one hybrid was used. Further research should include more hybrids that are grown at different levels of added nitrogen and that differ in the ratio of hard and soft endosperm and determine the magnitude of the forces when the kernel is placed in a different position.

Keywords: maize, kernel moisture, kernel breakage, breaking forces

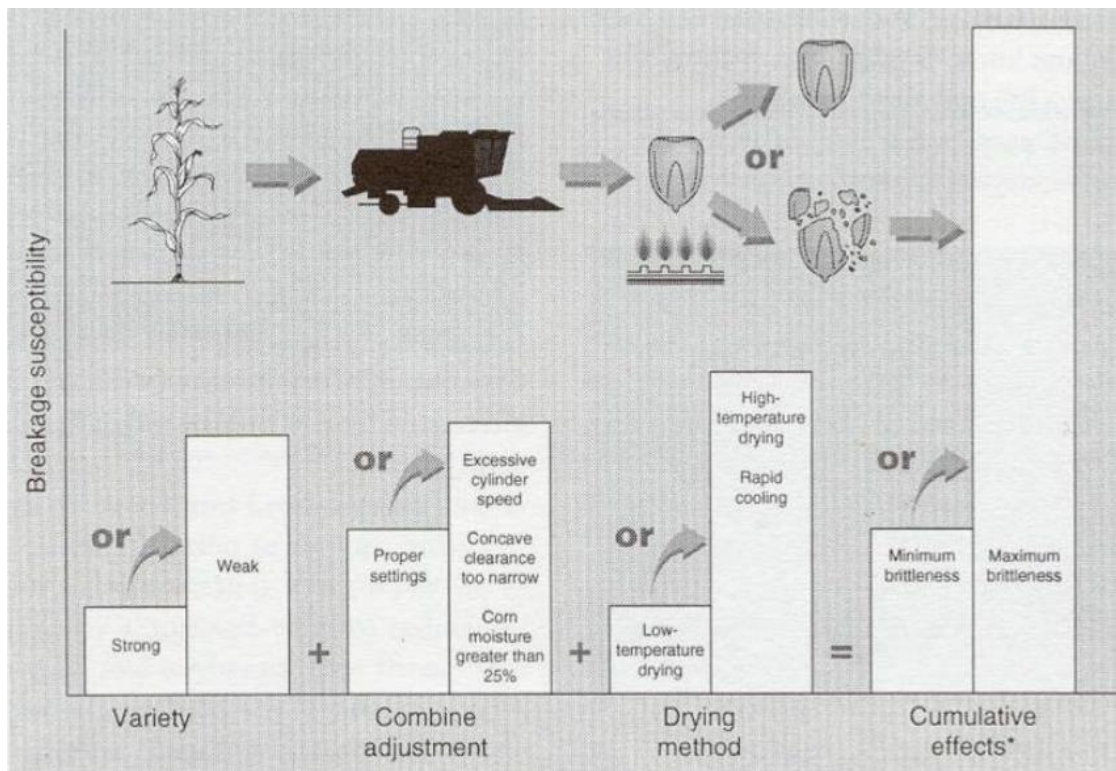
1. Uvod

Oštećenja zrna koja nastaju tijekom žetve i rukovanja predstavljaju izazov u posliježetvenoj tehnologiji žitarica. Ova oštećenja uzrokuju fizičke i fiziološke promjene zrna, koje mogu dovesti do smanjenja kvalitete zrna i do gubitka prinosa. Tijekom žetve i rukovanja, zrna su izložena raznim mehaničkim utjecajima kao što su udarci, smicanje i sabijanje (stlačivanje). Glavni mehanizmi oštećenja uključuju udarac, koji uzrokuje vanjske i unutarnje pukotine ili čak fragmentaciju zrna; trenje, koje uzrokuje nastanak sitnih čestica; zaglavljivanje zrna između dijelova strojeva pri čemu dolazi do deformacije i lomljenja zrna zbog velikih tlakova; i zamor zrna, zbog kojega nakon više ponovljenih opterećenja dolazi do lomljenja zrna i nastanka sitnih čestica. Udjel oštećenih zrna povećava se od žetve do mjesta ili točke gdje će se zrno koristiti ili preraditi. Najviše pukotina u zrnu i loma zna nastaje tijekom strojne žetve, a najviše sitnih čestica nastaje nakon umjetnog sušenja tijekom prebacivanja zrna iz sušare prema silosnim komorama ili skladištima (Chen I sur., 2020).

Lom zrna važan je čimbenik kod prijema zrna i u preradi zrna. Povećani lom zrna koji je nastao tijekom žetve i transporta, vjerojatno zbog većeg udjela mekših zrna, može smanjiti vrijeme sigurnog skladištenja i učinkovitost prerade. Mekša zrna podložnija su pucanju i lomljenju. Povećanje udjela napuknutih i polomljenih zrna te polovica zrna u masi zrna, može uzrokovati probleme tijekom skladištenja s jedne strane zbog povećanog primanja vlage, a s druge strane zbog veće prisutnosti insekata i plijesni na zrnima. Osim toga, preradom mekših zrna smanjuje se prinos produkata mljevenja i učinkovitost mljevenja (Fox i Manley, 2009.).

U preradi kukuruza najvažnije tehnologije su: mokro i suho mljevenje te alkalna prerada (Kim, 2000). Najpoželjnije karakteristike hibrida kukuruza za suho mljevenje su: hibrid bi trebao biti zuban koji je što manje osjetljiv na oštećivanje (nastanak pukotina u zrnu i lomljenje), sa što većim udjelom tvrdog endosperma iz kojeg će se dobiti što više krupnih čestica endosperma odnosno više krupice koja će sadržavati što manje masti (OTA, 1989.; Eckhoff i Paulsen, 1996.; Paulsen i sur., 1996.). Kao što je vidljivo lom zrna važan je čimbenik koji je prema dostupnim podacima dobro proučen i postoje čimbenici koji direktno ili indirektno utječu na osjetljivost zrna na lom. Već tijekom vegetacije stvaraju se uvjeti u zrnu kukuruza koji mogu rezultirati većom ili manjom osjetljivošću na lom zrna. Primjenom određenih agrotehničkih zahvata može se smanjiti osjetljivost zrna kukuruza na lom. Svi hibridi kukuruza nisu jednako isto osjetljivi na lom zrna. Jedan čimbenik, a to je vlaga zrna jako utječe na lomljenje zrna. Proučavanjem veličina sila pri kojima se lome ili pucaju zrna kukuruza, može se doći do korisnih podataka o tome kada i kako provesti određeni zahvat ili operaciju.

Oštećivanje zrna je nešto što je neizbježno u današnjim tehnologijama koje se koriste u žetvi, doradi i skladištenju kukuruznog zrna i zato je potrebno učiniti sve kako bi udjel napuklih i polomljenih zrna bio što manji.



Slika 1.1. Oštećenje zrna kukuruza od polja do početka prerade (Maier, 2009.)

Izvor: http://www.grainnet.com/pdf/grain_drying_high_moisture_corn.pdf - pristup 10.09.2023.

Kada se uopće počinju stvarati uvjeti za pojavu pukotina u zrnu i lom zrna? Postoje čimbenici koji direktno i indirektno utječu na pojavu loma zrna, a neki stvaraju preduvjete za pojavu napuknuća i kasnije loma zrna. Između hibrida postoji razlika u građi zrna pa su tako hibridi s većim udjelom tvrdog endosperma, manje osjetljivi na oštećivanje. Primjenom određenih agrotehničkih zahvata može se tijekom vegetacije kukuruza utjecati na osjetljivost na lom. Jedan od čimbenika agrotehnike koji može utjecati na osjetljivost na lom je gnojidba dušikom. Dokazano je da se s povećanjem količine dodanog dušika povećava tvrdoća zrna i s druge strane smanjuje osjetljivost na lom (Kneip i Mason, 1989). S druge strane, odgođena sjetva, veliki broj biljaka po jedinici površine i manje količine dodanog dušika, povećavaju osjetljivost na lom (Bauer i Carter, 1986). Oprema koja se koristi tijekom transporta u silosima i skladištima, a koja se sastoji od elevatora vjedričara, pužnih i lančanih transporterata, može oštetiti zrno tijekom prebacivanja (Boumans, 1980). Kao što je vidljivo iz slike 1 zrno kukuruza je u žetvi prvi puta izloženo udarcima i tu nastaju prva mehanička oštećenja jer je potrebno zrno odvojiti od oklaska. Isto tako, od žetve na dalje, povećava se udjel polomljenih zrna.

Otkako se u žetvi, transportu, doradi i skladištenju koristi različita oprema, lom zrna postao je jedan od parametara kakvoće. Tijekom prijema u skladišta, ulazna masa i ali i cijena obračunavaju se i na bazi udjela polomljenog zrna. Osim udjela polomljenog zrna (lom), postoje i drugi parametri kakvoće zrna u trgovini i jedan dio njih pripada u fizička svojstva.

Kakvoća zrnatih proizvoda pa tako i kukuruza može se prikazati pomoću hektolitarske, specifične i mase 1000 zrna. Ostala fizička svojstva važna tijekom skladištenja zrna su: sipkost, raslojavanje, poroznost i sorpcijska svojstva zrnene mase (Ritz, 1997). Fizička svojstva zrna važna su za projektiranje strojeva i opreme koji se koriste za žetvu, vršidbu, čišćenje, sortiranje i sušenje. Također, pomoću fizičkih svojstava može se odrediti veličina potrebnog skladišnog prostora za zrnate proizvode. Fizička svojstva mogu pomoći i u organizaciji transporta zrna i izboru odgovarajućih dijelove opreme za preradu (Blazer i sur., 2023.).

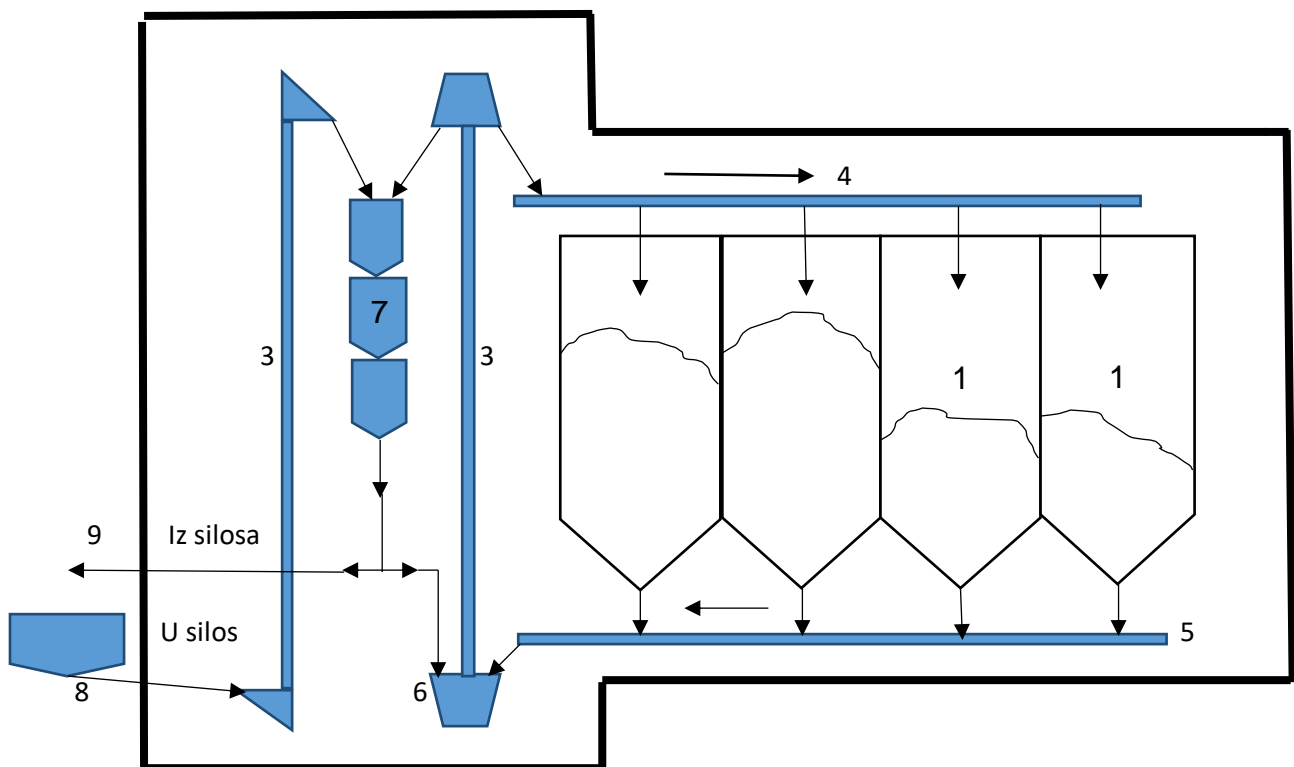
Fizička svojstva ovise i o dimenzijama zrna odnosno o veličini i obliku zrna. Veličina zrna kukuruza korisna je pri odabiru strojeva i opreme za čišćenje i doradu i pri izračunavanju potrebne snage u procesu mljevenja. Iz dimenzija zrna moguće je odrediti površinu i volumen zrna koji su važni za proces sušenja zrna te za ventilaciju i hlađenje zrnene mase. Nasipna masa, gustoća i poroznost su svojstva koja se mogu koristiti za određivanje veličine silosnih komora i ostalih skladišnih objekata. Mala poroznost u sloju zrna uzrokuje veći otpor kretanju vodene pare kroz sloj zrna što može povećati potrošnju energije za ventilaciju (Ritz, 1997.; Ghasemi i sur., 2008, koje navode Yenge i sur., 2021.; Barnwal i sur., 2012). Neka od prije navedenih fizičkih svojstava mogu se povezati s većom ili manjom osjetljivošću zrna na mehanička oštećenja (Grbeša, 2016). Manja zrna koja imaju veći udjel tvrdog endosperma, manje su osjetljiva na mehanička oštećenja (Johnson i Russell, 1982.; Le Ford i Russell, 1982.; Vyn i Moes, 1988). Okrugla zrna su više osjetljiva na lom zrna nego plosnata zrna (Martin i sur., 1987).

Kod kukuruza, veličina i oblik zrna, težina i gustoća te otpornost na mljevenje (usitnjavanje) i sabijanje povezani su s tvrdoćom i rezultatima u preradi zrna (Fox i Manley, 2009.). Važan čimbenik ali možda i važniji od prije navedenih je vlaga zrna. Oborine tijekom vegetacije pomažu biljci da živi i da između ostalog prima makro i mikroelemente. Prije žetve vremenske prilike (temperature zraka i relativna vlaga zraka), utječu na sadržaj vlage u zrnu (Jukić, 2004), a postoje i razlike u građi klipova zbog kojih neki hibridi brže, a neki sporije otpuštaju vlagu. U žetvi je važno odrediti vlagu jer o sadržaju vlage u zrnu ovisi podešavanje određenih parametara vršalice, čime se opet može djelovati na veće ili manje oštećivanje zrna. Vlaga zrna važna je i tijekom dorade i skladištenja odnosno vlaga zrna je čimbenik kojeg se uvijek može povezati s lomljenjem zrna i zato se u istraživanjima osjetljivosti zrna kukuruza na lomljenje, gotovo uvijek pojavljuje kao jedan od glavnih čimbenika. Neka od prije navedenih fizičkih svojstava također, ovise o vlazi pa je npr. dokazano da se hektolitarska masa, smanjuje s povećanjem vlage (Ritz, 1997).

Istraživanja fizikalno-mehaničkih svojstava zrna mogu se podijeliti na ona koja se izvode na pojedinačnim zrnima i na ona koja se izvode na uzorcima zrna ili u masi zrna. U većini istraživanja koja su provedena na pojedinačnim zrnima, analizirani su učinci sadržaja vlage, veličine zrna, genotipa i položaja zrna kod ispitivanja na fizikalna i mehanička svojstva kukuruza (Babić i sur., 2013.; Barnwal i sur., 2012.). Fizikalna svojstva koja su bila detaljnije proučavana bila su: osnovne dimenzije, masa 1000 zrna, nasipna

masa, gustoća, sferičnost i poroznost, a ispitivana mehanička svojstva bila su tvrdoća, sila i energija deformacije pri puknuću zrna (Yuan Su i sur., 2019).

Kruszelnicka i sur. (2022) proveli su istraživanje u kojem su utvrdili da povećanje sadržaja vlage povećava veličinu zrna, mijenja oblik zrna i smanjuje nasipnu masu (gustoću). Učinci sadržaja vlage i brzine opterećenja na silu loma, naprezanje i energiju variraju ovisno o ispitivanim vrstama (kukuruz, riža i soja). Prema autorima, rezultati istraživanja su pokazali da je povećanje sadržaja vlage promijenilo mehanička svojstva zrna iz krhkog u visoko elastično. Zrno na svom putu od polja do konačne destinacije prolazi više mjesta na kojima može biti oštećeno (slika 1.2.).



Slika 1.2. Dijagram kretanja zrna u silosu manjeg kapaciteta (Boumans, 1985.)

prepriemio: Ž. Jukić, 2023.

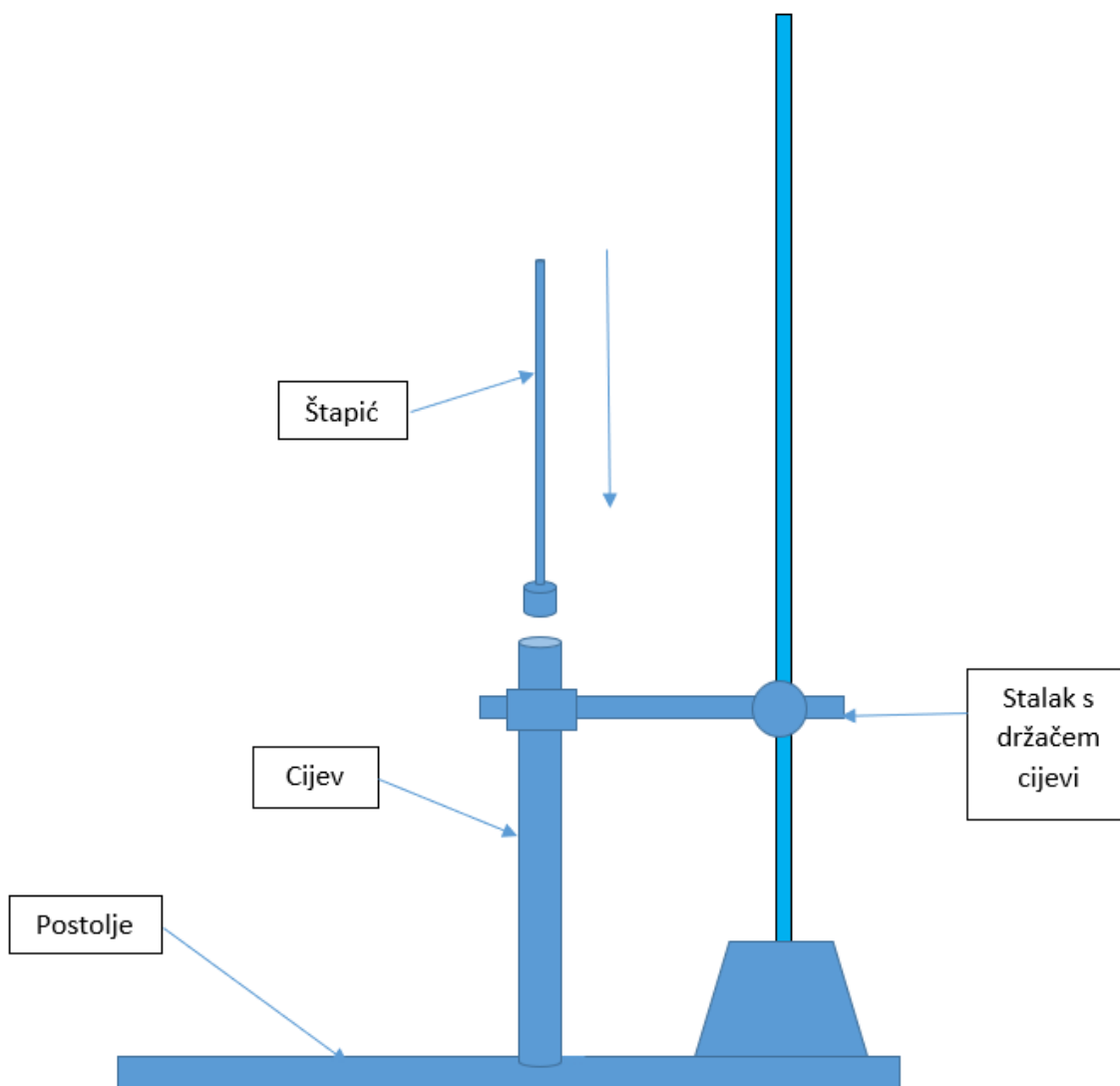
Zrna žitarica koja su najotpornija na razne utjecaje od žetve, prerade i transporta osim što imaju veći skladišni potencijal mogu biti namijenjene kvalitativno najzahtjevnijem tržištu (Mabasso i sur., 2020).

1.1. Cilj istraživanja

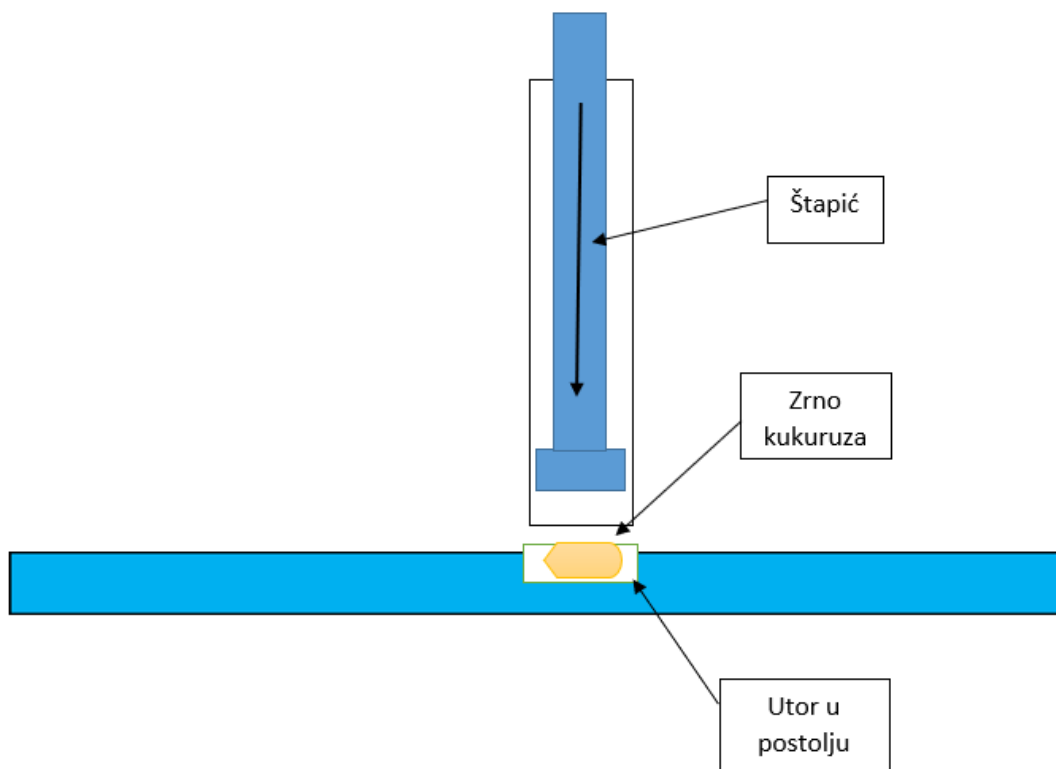
Cilj istraživanja bio je utvrditi sile lomljenja zrna kukuruza (izražene u njutnima (N) ili kilonjutnima (kN)) koje će prethodno biti izloženo različitom broju udaraca, od izostanka udaraca do raspona od 5 do 40 udaraca pomoću štapića s metalnom glavom.

2. Opis metoda

Istraživanja su provedena tijekom 2022. i 2023. godine na zrnju jednog hibrida kukuruza tvrtke PIONEER CORTEVA Agriscience (P9958). Kukuruz je uzgojen na lokaciji Škrinjari nedaleko od Svetog Ivana Žabno. Tijekom vegetacije na površini na kojoj se uzgajao kukuruz primijenjene su standardne agrotehničke mjere s tim da je prije navedena površina bila podijeljena na četiri dijela (četiri polja) obzirom na primijenjena različita gnojiva i količinu dodanog dušika. Navedenu površinu koristi njen vlasnik i tvrtka EKOPATENT za potrebe vlastitih istraživanja i ovim putem želio bih se zahvaliti na pomoći i ustupanju uzoraka zrna kukuruza na kojima su provedena istraživanja. Prema informacijama koje sam dobio od vlasnika površine i kolega iz tvrtke EKOPATENT, na prvom polju (polje 1) nisu dodana niti organska niti mineralna gnojiva. Na drugom polju (polje 2) korištena su gnojiva i sredstva tvrtke EKOPATENT, na trećem polju (polje 3) korištena su samo mineralna gnojiva i na četvrtom polju (polje 4) korištena su mineralna gnojiva u kombinaciji sa gnojivima i sredstvima tvrtke EKOPATENT. Svako polje bilo je podijeljeno na tri dijela. Za potrebe ovog istraživanja uzeti su uzorci zrna iz određenih dijelova polja, a u dogovoru s vlasnikom površine i kolegama iz tvrtke EKOPATENT. Prije žetve odnosno berbe uzeti su uzorci klipova koji su ručno okrunjeni kako bi se dobilo zrno koje nije mehanički oštećeno. Nakon ručnog krunjenja ukupno je uzeto 4 uzorka od 5 kilograma zrna u kojima je određena vlaga. Uzorci zrna prirodno su osušeni i očišćeni od sitnih primjesa. Iz tih uzoraka uzeti su uzorci za određivanje sadržaja dušika u zrnju i manji uzorci zrna od po 120 zrna, koji su stavljani u papirnate vrećice i koji su čuvani u rashlađenom prostoru na temperaturi između 8 i 10°C. Sadržaj dušika u zrnju određen je u Zavodu za ishranu bilja, Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu metodom po Kjeldahl-u (HRN ISO 11261:2004). Kako bi se što bolje utvrdile veličine sila pri kojima će zrna izabranog biti polomljena, izabrane su sljedeće vlage zrna: 10%, 14%, 18%, 22% i 26%. Također, iz istog prije navedenog razloga određeno je da će se zrna izložiti od 5 do 40 udaraca koji će nastati tako što će štapić s metalnom glavom padati na zrna s visine od 20 cm. Za ovu potrebu napravljena je oprema koja je prikazana na slici 2.1. i 2.2. i koja se sastojala od metalnog stalka, metalne cijevi, metalnog kućišta s utorom za zrno i štapića s metalnom glavom na čijem vrhu se nalazio urezan križić (slika 2.3.).



Slika 2.1. Dijelovi opreme pomoću koje su se zrna kukuruza izlagala udarcima
pripremio: Ž. Jukić, 2023.



Slika 2.2. Dio postolja u kojem se nalazilo zrno

Pripremio: Ž. Jukić, 2023.



Slika 2.3. Prikaz vrha štapića kojim je zrno bilo udarano

Snimio: Antonio Barić, 2023.

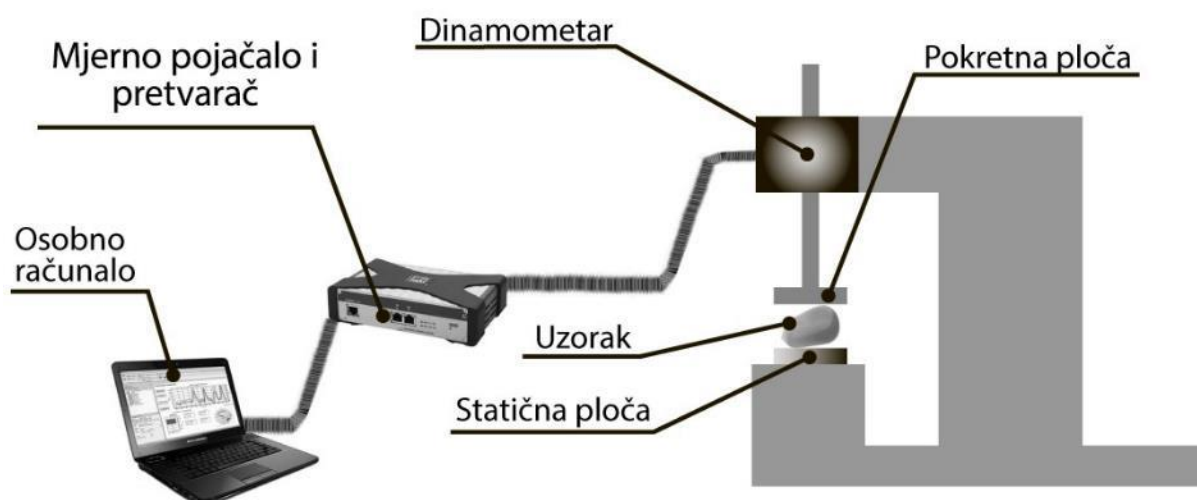
Prije izlaganja udarcima, zrno je stavljeno u utor koji se nalazi u metalnom kućištu u položaju klica prema dolje. Osoba zatim rukom uzima štapić i isti postavlja na vrh metalne cijevi te nakon toga, ispušta štapić u metalnu cijev i štapić udara u zrno. Ovaj postupak ponovljen je od 5 do 40 puta. Uzorci od po deset (10) zrna, izloženi su različitom broju udaraca. Nakon izlaganja udarcima, na zrnima je određena sila kod koje je zrno puknulo. Tijekom izlaganja udarcima, dio zrna se raspukao odnosno došlo je do razdvajanja zrna na nekoliko dijelova i na takvim zrnima odnosno na njihovim ostacima nije bilo moguće odrediti silu puknuća.



Slika 2.4. Zrno nakon određivanja sile lomljenja

Snimio: Antonio Barić, 2023.

Sila puknuća određena je samo na zrnima koja su bila cijela i bez vidljivih oštećenja. Masa štapića iznosi 25,5g i pri svakom padu štapića na zrno se djeluje s 0,05J (Potencijalna energija; $W_p = 0,2m \times 0,0255kg \times 9,81 \text{ m/s} = 0,05J$; Kim, 2000). To znači da se na zrna djelovalo od 0,25 do 2,00 J. Sličnu opremu u svojim istraživanjima je primijenio i Kim (2000). Za određivanje sila pri kojima su zrna polomljena korištena je oprema sa Zavoda za mehanizaciju poljoprivrede, a koja je prikazana u slici 2.5. Oprema se sastojala od sljedećih dijelova: dinamometar HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Germany), mjerno pojačalo i pretvarač HBM Quantum MX 840 B povezan na osobno računalo (slika 2.5.)



Slika 2.5. Shematski prikaz uređaja za lomljenje zrna

Pripremio: Ž. Jukić, 2023.

Zrno kukuruza postavljeno je na statičnu ploču u položaju klica prema dolje. Nakon toga, ručnim spuštanjem pokretne ploče (klipa) na zrno je djelovala određena sila koja je izmjerena uz pomoć dinamometra, a mjerno pojačalo i pretvarač pripremili za prikaz podataka na osobnom računalu (slika 2.5.). Obrada podataka vršena je na osobnom računalu. Statistička obrada dobivenih podataka napravljena je uz pomoć programa: SAS Institute 2004 (SAS/STAT).

Kako je prije navedeno, uzorci zrna čuvani su u rashlađenom prostoru na temperaturi između 8 i 10°C. Tijekom tog razdoblja vlaga zrna iznosila je između 13,5 i 14%. Obzirom na prije navedeni raspon vlaga pri kojem su provedena istraživanja, jedan dio uzoraka bilo je potrebno kondicionirati (rehidrirati) odnosno povećati sadržaj vlage u zrnu, jedan dio uzoraka bio je odmah spreman za ispitivanje (14% vlage), a dio uzoraka je trebalo prirodno osušiti na vlagu od približno 10%. Postupak kondicioniranja proveden je dodavanjem destilirane vode prema sljedećoj formuli:

$$w = M_1 \times \frac{w_2 - w_1}{100 - w_2}$$

gdje je: W – količina dodane vode (ml)

w_1 – vlaga zrna prije kondicioniranja (%)

w_2 – vlaga zrna nakon kondicioniranja (%)

M_1 – zadana masa uzorka (g)

Postupak kondicioniranja trajao je 72 sata. Tijekom kondicioniranja uzorci zrna bili su stavljeni u rashlađeni prostor u kojem je temperatura zraka bila između od 8 i 10°C. Vлага u zrnu prije i nakon kondicioniranja, određena je u laboratorijskoj sušnici. Kada je vлага zrna trebala biti do 18%, temperatura zraka u sušnici iznosila je 130°C, a sušenje je trajalo 90 minuta.

Kada je vлага zrna trebala biti iznad 18%, određivanje vlage provedeno je u dvije faze i to na način da u prvoj fazi zrno nije mljeveno i bilo je izloženo zraku temperature od 60°C u trajanju od 24 sata. U drugoj fazi zrno je samljeveno i izloženo u sušnici zraku temperature 130°C u trajanju od 90 minuta. Tijekom sušenja zrno je bilo u staklenim posudicama s brušenim čepom. Nakon sušenja, a prije određivanja mase, staklene posudice sa zrnom smještene su u eksikator. Vлага zrna određena je na sljedeći način (ista se formula primjenjivala kod trajanja sušenja od 24 sata tako i kod trajanja sušenja od 90 minuta):

$$w = \frac{B - C}{B - A} \times 100$$

gdje je: w – vлага zrna (%)

A – prazna posudica (g)

B – posudica + uzorak prije sušenja (g)

C – posudica + uzorak nakon sušenja (g)

Vлага zrna nakon sušenja u dvije faze određena je pomoću sljedeće formule:

$$w_u = w_1 + w_2 - \frac{w_1 + w_2}{100}$$

gdje je: w_u – ukupna vлага nakon sušenja (%)

w_1 – vлага zrna u prvoj fazi (%)

w_2 – vлага zrna u drugoj fazi (%)

Neposredno prije izlaganja zrna udarcima, izmjerene su dimenzije svakog pojedinačnog zrna (dužina, širina i debljina) pomoću digitalnog pomičnog mjerila čija je razina točnosti jednaka $\pm 0,01\text{mm}$ i masa pomoću digitalne precizne vage ($\pm 0,001\text{g}$). Razlog zašto su izabrane prije navedene vlage se nalazi u činjenici da se u dostupnoj literaturi mogu pronaći

podaci o utjecaju sadržaja vlage u zrnu kukuruza na gubitke u masi zrna tijekom obavljanja određenih zahvata od žetve nadalje kao i na pojavu lomljenja zrna također tijekom obavljanja određenih zahvata od žetve nadalje. Tako se u literaturi mogu pronaći podaci pri kojim vlagama zrna je dobro krenuti u žetvu ili berbu kukuruza (Johnson, 1982., navodi da je optimum vlage u žetvi 22%; Zimmer i sur., 2009., navode da se zrno kukuruza najmanje oštećuje kada je vlaga zrna između 18% i 22%., Katić, 1985., navodi da je optimalna vlaga zrna s aspekta gubitaka u žetvi i oštećenja zrna za hibride kukuruza između 20% i 24%).

Kod sušenja jako je važno da se zrna ne presuše jer kako navodi Katić (1985), zrno koje je osušeno na 18% vlage ima oko 4 puta veću čvrstoću od zrna koje je osušeno na 12%. Nadalje, isti autor navodi da u zrnu koje je osušeno na 10% vlage ima 5 puta više loma nego u zrnu koje je osušeno na 14% vlage. Isto tako, kako navode Peplinski i sur. (1982), žetva kukuruza kod 25% ili manje vlage u zrnu i sušenje zrna zrakom čija je temperatura 82 °C ili manja, omogućavaju postizanje optimalnih rezultata (prinos i kvaliteta) u postupku suhog mljevenja.

3. Rezultati i rasprava

U tablici 3.1. prikazane su vrijednosti dimenzija zrna, mase zrna, sila pri kojima su zrna bila polomljena i sadržaj proteina.

Tablica 3.1. Prosječne dimenzije zrna, masa i sile pri kojima su zrna bila polomljena

Oznaka polja	Vlaga (mm)	Duljina (mm)	Širina (mm)	Debljina (mm)	Masa (g)	Sila ± StDev (kN)	Sadržaj proteina (% na bazi ST);
							Sadržaj proteina %
P-1-1	11.74	10.80	7.65	4.34	0.25	0.54	8.63
	14.69	11.45	8.04	4.45	0.25	0.52	
	17.50	11.33	8.01	4.54	0.30	0.46	
	22.58	11.74	8.23	4.55	0.30	0.51	
	25.85	11.60	8.3	4.65	0.32	0.42	
Prosjek		11.49	8.13	4.55	0.30	0.48±0.18 ab	
P-2-1	11.71	11.25	7.86	4.57	0.28	0.55	8.44
	14.26	10.82	7.87	4.53	0.26	0.39	
	18.30	11.37	8.15	4.72	0.30	0.36	
	21.96	11.29	8.50	4.75	0.33	0.41	
	25.64	9.73	7.92	4.91	0.30	0.31	
Prosjek		10.79	8.11	4.75	0.30	0.38±0.17 c	
P-3-2	11.83	11.09	7.63	4.43	0.27	0.53	9.00
	14.48	10.8	7.89	4.60	0.27	0.43	
	17.85	11.39	8.27	4.55	0.30	0.47	
	21.65	11.10	7.78	4.61	0.31	0.48	
	26.98	11.40	8.38	4.72	0.34	0.45	
Prosjek		11.22	8.08	4.61	0.31	0.47±0.18 b	
P-4-3	11.76	11.80	8.47	4.47	0.32	0.71	9.44
	13.93	11.71	8.27	4.46	0.31	0.58	
	17.97	11.41	8.41	4.47	0.31	0.52	
	22.05	11.32	8.56	4.71	0.33	0.46	
	25.43	11.06	8.58	4.60	0.32	0.43	
Prosjek		11.38	8.48	4.56	0.32	0.52±0.23 a	

Vrijednosti označene različitim slovima razlikuju se na razini vjerojatnosti $P < 0.05$

Kao što je vidljivo iz tablice 3.1., najveća prosječna duljina zrna utvrđena je u uzorcima zrna koji su uzeti na polju 1, najveća širina u prosjeku utvrđena je u uzorcima zrna na polju 4 dok je najveća debljina zrna u prosjeku utvrđena u uzorcima zrna koji su uzeti na polju 2. Masa zrna u prosjeku se povećavala od polja 1 gdje je iznosila 0,30 grama do polja 4, gdje je iznosila 0,32 grama. Najmanja sila u prosjeku pri kojoj je došlo do lomljenja zrna, utvrđena je u uzorcima koji su uzeti na polju 2 (0,38 kN), dok je najveća sila koja je bila potrebna da se zrna polome utvrđena u prosjeku na polju 4. Statistička analiza podataka je pokazala da postoji značajna razlika u prosječnim silama pri kojima su pucala zrna između

polja iz kojih su uzeti uzorci. Kao što je vidljivo iz tablice 3.1., vlage zrna pri kojima su zrna izložena udarcima razlikovala se od one koja je metodikom bila zadana. Najveća odstupanja utvrđena su kod sadržaja vlage od 10%. Naime, zrna je do vlage od 10% trebalo dosušiti. Međutim, očito je da prosječna temperatura i relativna vlaga zraka nisu stvorile povoljne uvjete u kojima bi se zrno moglo prirodno osušiti na 10% vlage. Iz tog razloga, najniže vlage pri kojima su zrna izložena udarcima su iznosile od 11,71 do 11,83%.

Interesantno je primijetiti da postoji trend da se sila pri kojoj su zrna polomljena, smanjuje od najniže vlage prema najvišoj vlazi. Ovaj trend je utvrđen u uzorcima zrna koji su uzeti na svim poljima (tablica 3.2.). Prosječne sile pri kojima su polomljena zrna kod najmanjih vlaga (od 11,71 do 11,83%) iznosile su 0,60 kN, a kod najvećih vlaga (od 25,43 do 26,98%) prosječna sila iznosila je 0,41 kN (tablica 3.2.). Isto tako, interesantno je za primijetiti da se sila pri kojoj je došlo do lomljenja zrna nije puno mijenjala u ovisnosti od broja udaraca (tablica 3.2.). Tako se iz tablice 3.2., može utvrditi da je prosječna sila pri kojoj su polomljena zrna koja nisu bila izložena udarcima, iznosila 0,46 kN, a da je prosječna sila pri kojoj su polomljena zrna nakon 40 udaraca, iznosila 0,45 kN, što je neznatno manje u odnosu na zrna koja nisu bila izložena udarcima. Istina, iz tablice 3.2. se može vidjeti da je prosječna sila kod 30, 35 ili 40 udaraca dobivena iz manje podataka jer kao što je vidljivo iz tablice 3.2., dosta zrna nije izdržalo veći broj udaraca odnosno dosta je zrna uništeno kod većeg broja udaraca (> od 30). Ako se pogledaju podaci o sadržaju proteina koji je utvrđen u uzorcima sa svih polja može se utvrditi da su nešto tvrđa zrna utvrđena na polju 3 i polju 4 (1,51 i 1,58%). Usporedbom srednjih vrijednosti sila po poljima i isto tako sadržaja proteina koji je utvrđen u uzorcima zrna sa svih polja, može se vidjeti da postoji trend da se s povećanjem sadržaja proteina povećavala i sila pri kojoj su zrna polomljena (tablica 3.1.). Istina je da je nešto više proteina bilo u zrnu na polju na kojem uopće nisu korištena gnojiva u odnosu na polja 2 i 3, gdje su korištena određena gnojiva i proizvodi, što je malo neuobičajeno. Međutim, proučavanje razlika u sadržaju proteina nije cilj ovog diplomskog rada i zato se ovdje neće ići u detaljno objašnjavanje ove pojave. Inače, u literaturi se mogu pronaći informacije o povezanosti sadržaja dušika, proteina i osjetljivosti zrna na lom. Prema tim navodima što je više dušika u zrnu, više je i proteina (Bauer i Carter, 1986.; Sabata i Mason, 1992.) i zrno je manje je osjetljivo na lomljenje (eng. less susceptible to breakage). Isto tako što je više dušika u zrnu više je i zeina u zrnu, što opet neki autori povezuju s tvrdoćom zrna i većom otpornosti na mehanička oštećenja (Tsai i sur., 1992.).

Tablica 3.2. Sile lomljenja nakon određenog broja udaraca kod različitih vlaga zrna (kN)

Wp	BU	Vlaga (%)																Pros. **				
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d					
0,00	0	11,74	11,71	11,83	11,76	14,69	14,26	14,48	13,93	17,50	18,30	17,85	17,97	22,58	21,96	21,65	22,05	25,85	25,64	26,98	25,43	
0,25	5	0,56	0,49	0,44	0,59	0,51	0,36	0,39	0,46	0,39	0,36	0,39	0,58	0,63	0,39	0,55	0,45	0,41	0,37	0,45	0,45	0,46
0,50	10	0,49	0,36	0,44	0,71	0,50	0,27	0,41	0,46	0,43	0,31	0,47	0,48	0,51	0,46	0,45	0,46	0,40	0,30	0,53	0,55	0,45
0,75	15	0,55	0,77	0,60	0,92	0,55	0,47	0,35	0,54	0,43	0,36	0,43	0,51	0,46	0,39	0,43	0,53	0,41	0,23	0,43	0,41	0,45
1,00	20	0,59	0,48	1,63	0,48	0,53	0,48	0,53	0,69	0,42	0,42	0,49	0,45	0,57	0,39	0,41	0,46	0,40	0,24	0,41	0,43	0,46
1,25	25	0,46	0,77	0,62	0,67	0,54	0,42	0,49	0,72	0,39	0,26	0,39	0,48	0,46	0,47	0,47	0,30	0,42	0,30	0,42	0,43	0,45
1,50	30	-	-	-	0,87	0,71	0,68	0,52	0,52	0,57	0,39	0,53	0,70	0,36	0,48	0,48	0,57	0,37	0,47	0,35	0,33	0,50
1,75	35	-	-	-	0,80	0,21	-	0,43	0,82	0,56	0,54	0,59	0,53	0,47	0,32	0,62	0,49	0,54	0,26	0,52	0,31	0,50
2,00	40	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	-	0,50	0,53	0,49	0,45	-	0,58	0,47	0,28	0,53	0,46	0,49
Pros.*		0,54	0,55	0,53	0,71	0,52	0,39	0,43	0,58	0,46	0,36	0,47	0,52	0,51	0,41	0,48	0,47	0,42	0,31	0,45	0,43	0,46
Pros.***					0,60 a				0,49 b				0,46 b				0,47 b				0,41 c	
StDev					±0,27				±0,21				±0,18				±0,19				±0,16	

Oznake polja: a) P-1-1; b) P-2-1; c) P-3-2; d) P-4-3

Wp – potencijalna energija (J); BU – broj udaraca; Pros. – prosjek;

*- prosječna sila za svaku vlagu;

** - prosječna sila po broju udaraca (srednja vrijednost svih zrna koja su ostala cijela odnosno neoštećena);

*** – prosječna sila za svaku razinu vlage (pet, 5 razina vlage)

Vrijednosti označene različitim slovima razlikuju se na razini vjerojatnosti P<0.05

Kada se iz svih podataka o silama pri kojima su zrna polomljena (sve vlage zrna, sva zrna koja nisu bila izložena udarcima i sva zrna koja su bila izložena udarcima), izračuna prosjek isti iznosi 0,46 kN što je koristan podatak pod uvjetom da postoje informacije o silama koje djeluju na zrno od žetve pa do krajnje točke korištenja. Iz dostupne literature može se utvrditi da se zrna kukuruza izlažu od 20 do 40 puta raznim mehaničkim utjecajima (udarci, trenje, pad s visine i sl.) od žetve pa do točke gdje će upotrijebiti za određenu namjenu. Iz tablice 3.1. vidljivo je da postojala značajna razlika u prosječnim silama između razina vlaga. Isto tako, iz tablice 3.1. je vidljivo da se povećavanjem vlage u zrnu, smanjuju sile pri kojima je došlo do lomljenja zrna. Ovakav trend u suglasju je s dostupnom literaturom. Naime, sličan trend odnosno trend smanjenja sila pri kojima su zrna lomljena kada su se vlage u zrnu povećavale dobili su i Prasad (2000.), Maksoud (2009), Barnwal i sur., (2012.), Lupu i sur., (2016) i Chandio i sur., (2021).

Osim sila pri kojima nastaje lom zrna dobro je utvrditi i koliko zrna ostane neoštećeno nakon određenog broj udaraca koji su djelovali na samo zrno. Kao što je vidljivo iz tablice 3.2., prosječan broj neoštećenih zrna smanjuje se s povećanjem broja udaraca (od 5 prema 40 udaraca). Već nakon 5 udaraca, od 10 zrna koja su bila izložena udarcima, prosječno 1,3 zrna više nije bilo cijelo odnosno bilo je polomljeno. Nakon 40 udaraca samo je u prosjeku 2,5 zrna od njih 10 ostalo cijelo odnosno nije bilo polomljeno. Kako se povećavala vlaga zrna tako se smanjivao broj polomljenih zrna. Kod vlaga zrna između 11,71% i 11,83%, broj nepolomljenih zrna kretao se od 21 do 38, dok je kod vlaga između 25,43% i 26,98%, broj nepolomljenih zrna bio u rasponu od 68 do 83. Kod najmanjih vlaga zrna (od 11,71% do 11,83%), samo je 30,56% nepolomljenih zrna s tim da je u uzorcima zrna koji su uzeti s polja 4 i pri vlazi zrna od 11,76%, bilo najviše nepolomljenih zrna (42,22%). U uzorcima zrna koji su uzeti iz polja 4 i kod vlage od 11,76%, 8 zrna nije bilo polomljeno nakon 25 udaraca. S druge strane u uzorcima koji su uzeti s polja 3 i pri vlazi zrna od 26,98% utvrđeno je 83 nepolomljena zrna što je više od 92% zrna koja su bila izložena udarcima. Što više, iz tablice 3.3. je vidljivo da je čak 9 zrna u prije navedenom uzorku bilo nepolomljeno nakon 40 udaraca. Još je jedan podatak interesantan iz tablice 3.3., a to je da su u uzorcima zrna koja su uzeti iz polja 3 i kod vlage 17,85%, čak 8 zrna bilo nepolomljeno nakon 40 udaraca. Ukupno je najviše polomljenih zrna u prosjeku utvrđeno u uzorcima koji su uzeti iz polja 2 (50,89%), a najmanje u uzorcima koji su uzeti iz polja 4 (64,89%).

U ovom diplomskom radu utvrđena je negativna korelacija između debljine zrna i sile pri kojoj je došlo do lomljenja zrna. Korelacija između debljine zrna i sile kretala se od -0,25 do -0,35 u ovisnosti od vlage zrna i broja udaraca. Sličnu zakonitost između debljine zrna i sila pri kojima je došlo do lomljenja zrna utvrdila je i Kruszelnicka (2021.).

Tablica 3.3. Broj cijelih zrna nakon određenog broja udaraca kod različitih vlaga zrna

	Vlaga (%)																Pros.			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d				
BU	11,74	11,71	11,83	11,76	14,69	14,26	14,48	13,93	17,50	18,30	17,85	17,97	22,58	21,96	21,65	22,05	25,85	25,64	26,98	25,43
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	4	4	8	8	8	6	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
10	3	4	6	2	8	5	7	5	9	9	9	10	9	10	10	8	10	9	10	10
15	2	3	1	2	6	3	6	7	7	9	6	10	10	10	7	8	9	9	10	9
20	2	3	2	6	4	3	4	5	7	5	7	6	10	6	9	8	10	8	10	9
25	0	0	0	8	2	1	4	3	7	5	7	5	7	5	7	8	10	4	9	8
30	0	0	0	2	2	0	2	5	5	2	6	7	6	5	5	6	8	5	7	10
35	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	9	3	7	4	0	7	9	6	8	8
40	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	8	0	5	0	0	5	6	7	9	6
Uk.	21	24	27	38	40	27	43	43	65	50	72	61	74	60	58	70	81	68	83	80
%a	23,33	26,67	30,00	42,22	44,44	30,00	47,78	47,78	72,22	55,55	80,00	67,78	82,22	66,67	64,44	77,78	90,00	75,56	92,22	88,89
%b				30,56				42,50				68,89				72,78				86,67

Oznake polja: a) P-1-1 (281/450 = 62,44%); b) P-2-1 (229/450 = 50,89%); c) P-3-2 (283/450 = 62,89%); d) P-4-3 (292/450 = 64,89%)

BU – broj udaraca; Pros. – prosjek po broju udaraca; Uk. – Ukupno;

%a – postotak cijelih odnosno neoštećenih zrna od ukupnog broja zrna, za svaku vlagu

%b – postotak cijelih odnosno neoštećenih zrna od ukupnog broja za svaku razinu vlage (pet, 5 razina vlage)

4. Zaključak

Na osnovi dobivenih podataka iz istraživanja može se zaključiti sljedeće:

1. S povećanjem vlage zrna smanjuju se sile pri kojima su zrna bila polomljena.
2. S povećanjem vlage zrna povećava se broj cijelih (neoštećenih) zrna.
3. Prosječna sila pri kojoj su polomljena zrna koja nisu bila izložena udarcima bila je neznatno veća od prosječne sile pri kojoj su polomljena zrna nakon 40 udaraca. Međutim, manje zrna je ostalo neoštećeno (cijelo) nakon 40 udaraca, a da nije bilo uništeno. Prosječna sila nije se smanjivala s povećanjem broja udaraca.
4. Prosječan broj neoštećenih (cijelih) zrna smanjuje se s povećanjem broja udaraca (od 5 prema 40 udaraca).
5. Iako nije detaljno istražen (jer nije bilo dovoljno podataka o sadržaju proteina), postoji trend povećanja vrijednosti sila pri kojima su zrna bila polomljena i sadržaja proteina.
6. Između debljina zrna i sila pri kojima je došlo do lomljenja zrna, utvrđena je negativna korelacija kod svih razina vlage u zrnu.
7. Dobivene podatke bilo bi korisno ispitati u realnim uvjetima i pri vlagama koje su bile u istraživanju.

U ovom istraživanju zrno je uvijek postavljano u položaj klica prema dolje i korišten je samo jedan hibrid. U sljedećim istraživanjima trebalo bi uključiti više hibrida koji su uzgojeni sa različitim razinama dodanog dušika i koji se razlikuju u odnosu tvrdog i mekog endosperma te odrediti veličinu sila kada se zrno postavi u drugi položaj.

5. Popis literature

1. AbdEL Maksoud, M.A.F. (2009): Mechanical properties of corn kernels. *Misr J. Ag. Eng.*, 26(4): 1901-1922.
https://mjae.journals.ekb.eg/article_107576_5ffeb0ab732dfa57700d5c38b89bd16e.pdf - pristup 30.08.2023.
2. Babić, Lj., Radojčin, M., Pavkov, I., Babić, M., Turan, J., Zoranović, M., Stanisić, S. (2013): Physical properties and compression loading behavior of corn seed. *International Agrophysics*, 27, 119–126.
3. Barnwal, P., Kadam, D.M., Singh, K.K. (2012): Influence of moisture content on physical properties of maize. *Int. Agrophys.*, 2012, 26, 331-334, doi: 10.2478/v10247-012-0046-2, - pristup 04.09.2023.
4. Bauer, P.J., Carter, P.R. (1986): Effect of Seeding Date, Plant Density, Moisture Availability, and Soil Nitrogen Fertility on Maize Kernel Breakage Susceptibility. *Crop Sci.* 26:1220-1226. doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600060030x – pristup 08.09.2023.
5. Blazer, K.J.; Shinnars, K.J.; Kluge, Z.A.; Tekeste, M.Z.; Digman, M.F. (2023): Physical Properties of Moist, Fermented Corn Kernels. *Processes* 2023, 11, 1351. <https://doi.org/10.3390/pr11051351>. - pristup 30.08.2023.
6. Boumans, G. (1985): *Grain Handling and Storage*. Elsevier Science Publishers B.V., 1985.
7. Chandio, A.F., Li, Y., Ma, Z., Ahmad, F., Naz Syed, T., Ali Shaikh, S., Tunio, M.H. (2021): Influences of moisture content and compressive loading speed on the mechanical properties of maize grain orientations. *Int J Agric & Biol Eng* Vol. 14 No.5 41. Open Access at <https://www.ijabe.org> - pristup 05.09.2023.
8. Chen, Z., Wassgren, C., Kingsly Ambrose, R.P. (2020.). A review of grain kernel damage: mechanisms, modeling, and testing procedure. *Transactions of the ASABE* Vol. 63(2): 455-475 © 2020 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032 <https://doi.org/10.13031/trans.13643> - pristup 01.09.2023.
9. Eckhoff, S.R., Paulsen, M.R. (1996): Maize. In: *Cereal grain quality*. R.J. Henry, and P.S. Kettlewell, eds. Chapman&Hal, London, Cambridge. Pp 77-112.
10. Fox, G., Manley, M. (2009): Hardness Methods for testing Maize Kernels. *J.Agric. Food Chem.* 57, 5647-5657, doi: 10.1021/jf900623w
11. Grbeša, D. (2016): Hranidbena svojstva kukuruza, Bc Institut i Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, https://bc-institut.hr/wp-content/uploads/2017/10/Grbesa_Hranidbena-svojstva-kukuruza_web.pdf - pristup 28.11.2018.
12. Johnson, D.Q., Russell. W.A. (1982): Genetic variability and relationships of physical grain quality traits in the BSSS population of maize. *Crop Science* 22:805-809

13. Johnson, R.S. (1982): Damage to shelled corn during transport in drag conveyors. A MASTER'S THESIS submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree Master of science Department of Agricultural Engineering Kansas State University Manhattan, Kansas, Damage to shelled corn during transport in drag conveyors (core.ac.uk) – pristup 13.09.2023.
14. Jukić, Ž. (2004): Water Release Rates of Maize Grain in the Field and Dryer in a Convection Drying Process. PhD Thesis, University of Zagreb Faculty of Agriculture, Zagreb, Croatia.
15. Katić, Z. (1985¹). Neke tehnološke osobine raznih hibrida kukuruza prilikom kombajniranja i sušenja. Zbornik radova 1. Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice, 1985. pp. 55–62.
16. Katić, Z. (1985²). Istodobno sušenje kukuruznog zrna raznih sorata i hibrida različite vlage na početku sušenja. Zbornik radova 1. Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice, 1985., pp. 86-103.
17. Kim, T.H. (2000.) Physical changes in maize (*Zea mays* L.) grains during postharvesting drying. A thesis presented in partial of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Seed technology at Massey University, 2000. https://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/2375/02_whole.pdf?sequence=1 – pristup 01.09.2023.
18. Kneip, K.R., Mason, S.C. (1989): Kernel Breakage and Density of Normal and Opaque-2 Maize Grain as influenced by Irrigation and Nitrogen. *Crop Sci.* 29:158-163.
19. Kruszelnicka, W. (2021): Study of Selected Physical-Mechanical Properties of Corn Grains Important from the Point of View of Mechanical Processing Systems Designing. *Materials* 2021, 14, 1467, pp. 1-33. *Materials* 2021, 14, 1467. <https://doi.org/10.3390/ma14061467> - pristup 4.09.2023.
20. Kruszelnicka, W.; Chen, Z.; Ambrose, K. (2022): Moisture-Dependent Physical-Mechanical Properties of Maize, Rice, and Soybeans as Related to Handling and Processing. *Materials* 2022, 15, 8729. <https://doi.org/10.3390/ma15248729> - pristup 31.08.2023.
21. LeFord, D.R., Russell, W.A. (1985): Evaluation of physical grain quality in the BS17 AND BS1 (HS)C1 synthetic of maize. *Crop Science* 25:471-476
22. Lupu, M.I., Pădureanu, V., Canja, C.M., Măzărel, A. (2016): The effect of moisture content on grinding process of wheat and maize single kernel. ModTech International Conference - Modern Technologies in Industrial Engineering IV. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 145 (2016) 022024 doi:10.1088/1757-899X/145/2/022024 - pristup 31.08.2023.
23. Mabasso, G.A., Siqueira, V.C., Quequeto, W.D., Resende, O., Duarte Goneli, A.L. (2020): Compressive strength of corn kernels subjected to drying under different rest periods. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. 4, e20196894, 2020. DOI: 10.5935/1806-6690.20200075 - pristup 29.08.2023.
24. Maier, Dirk E., Ph.D., P.E. (2009): Drying High Moisture Corn – Challenges of the 2009 Harvest Season, Grain Journal Webinar, October 30, 2009 http://www.grainnet.com/pdf/grain_drying_high_moisture_corn.pdf - pristup 03.09.2023.

25. Martin, C. R., Converse, H. H., Czuchajowska, Z., Lai, F. S. and Pomeranz, Y. (1987). Breakage susceptibility and hardness of corn kernels of various sizes and shapes. *Applied Engineering in Agriculture* 3:104-113. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30200525/173> - pristup 02.09.2023.
26. Martin, C.R., Converse, H.H., Czuchajowska, Z., Lai, F.S., Pomeranz, Y. (1987): Breakage Susceptibility and Hardness of Corn Kernels of Various Sizes and Shapes. *APPLIED ENGINEERING in AGRICULTURE*, Vol. 3(1): 104-113. (doi: 10.13031/2013.26655) @1987 – pristup 12.09.2023.
27. OTA, (1989): Office of Technology Assessment (OTA) (1989): Enhancing the quality of U.S. grain for international trade. United States Office of Technology Assessment. United States Government Printing Office, Washington, DC.
28. Paulsen, M.R., Hofing, S.L., Hill, L.D., Eckhoff, S.R. (1996): Corn quality characteristics for Japan markets. *Applied Engineering in Agriculture* 12:731-738.
29. Paulsen, M.R., L.D. Hill, D.G. White and G.F. Sprague. (1983.) Breakage susceptibility of corn-belt genotypes. *Trans. ASAE* 32: 1007-1014
30. Peplinski, A. J., Anderson, R. A., Brekke, O. L. (1982): Corn dry milling as influenced by harvest and drying conditions. *Trans. ASAE* 25:1114-1117. <https://naldc.nal.usda.gov/download/26331/PDF> - 11.09.2023.
31. Ritz, J. (1997): Uskladištavanje ratarskih proizvoda. Prehrambeno biotehnoški inženjering/Znanstveno stručna biblioteka, Zagreb, pp.72-73, 1997.
32. Sabata, R.J., Mason, S.C. (1992): Corn Hybrid Interactions with Soil Nitrogen Level and Water Regime. *J. Prod. Agric.* 5:137-142 (1992).
33. SAS Institute 2004 (SAS/STAT)
34. Tsai, C.Y., Dweikat, I., Huber, D.M., Warren, H.L. (1992): Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays*) grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58:1-8.
35. Verma, R. C. and Prasad, S. (2000.) Mechanical and thermal properties of maize. *Journal Food Sci. Technology*, 37:500-505. https://www.researchgate.net/profile/RcVerma/publication/297790797_Mechanical_and_thermal_properties_of_maize/links/5d68f783299 - pristup 03.09.2023.
36. Vyn, T.J., Moes, J. (1988): Breakage Susceptibility of Corn Kernels in Relation to Crop Management under Long Growing Season Conditions. *Agronomy Journal*, Vol. 80 (6):915-920 <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000060015x> - pristup 11.09.2023.
37. Yenge, G.B., Kad, V.P., Nalawad, S.M. (2018): Physical Properties of Maize (*Zea mays* L.) Grain. *J Krishi Vigyan* 2018, 7 (Special Issue):125-128. doi:10.5958/2349-4433.2018.00173.3 – pristup 03.09.2023.
38. Yuan, Su., Tao, Cui., Dongxing, Zhang., Guoyi, Xia., Xiaojun, Gao., Xiaowei, He., Yang, Xu. (2019): Damage resistance and compressive properties of bulk maize kernels at varying

pressing factors: Experiments and modeling. J Food Process Eng. 2019;42: e13267.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13267> - pristup 10.09.2023.

39. Zimmer, R., Košutić, S., Zimmer, D. (2009): Poljoprivredna tehnika u ratarstvu. Sveučilište J. J. Strossmayera Poljoprivredni fakultet Osijek.

Životopis

Antonio Barić je rođen 12.09.1996. godine u Bjelovaru. Odrastao je u Općini Gradec gdje je pohađao i završio osnovnu školu između 2003. i 2011. godine. Srednju drvodjeljsku školu u Zagrebu je pohađao od 2011. do 2015. godine, te je stekao zvanje Šumarski tehničar. Nakon srednje škole upisuje preddiplomski smjer Biljne znanosti na Agronomskom fakultetu u Zagrebu koji pohađa do 2017. godine kada mijenja studij i upisuje preddiplomski studij Poljoprivredna tehnika koji uspješno završava 2020. godine te stječe titulu Sveučilišni prvostupnik (lat. *baccalaureus*) inženjer poljoprivredne tehnike (univ. bacc. ing. agr.). 2020. godine upisuje diplomski studij Poljoprivredna tehnika – Mehanizacija gdje stječe uže vezano znanje za područje poljoprivredne tehnike. Od stranih jezika dobro je upoznat je s Engleskim jezikom na razini B2 u govoru, razumijevanju i pisanju (samoprocjena). Tijekom cijelog školovanja se bavio raznim poslovima i hobijima u slobodno vrijeme, posebice studentskim poslovima gdje je stekao širok spektar korisnih iskustava. Volontirao je u sklopu programa „Student tutor“ 2 akademske godine na Agronomskom fakultetu u Zagrebu s ciljem upućivanja studenata brucoša u detalje njihovih obaveza i mogućnosti, te je nekoliko puta volontirao u svojoj lokalnoj zajednici. U slobodno vrijeme se voli baviti proučavanjem računalnog hardvera i softvera (operativni sustavi Windows i Linux, Microsoft Office programski paket), hrvatske i svjetske povijesti, geografije i politike, psihologije, teologije te izrazito voli kuhati i razvijati svoje kulinarske vještine.