

# Breakage of Corn Kernel on an Vertical Elevator Transportation

---

Stjepan PLIESTIĆ<sup>1</sup>

Marko ŠUTALO<sup>2</sup>

## SUMMARY

---

Examining breakage of corn kernel on an elevator, the means for vertical transportation, the paper compares the mechanical resistance of the OSSK 552 maize hybrid when entering and leaving the elevator. The declared capacity of the elevator was 64 m<sup>3</sup>/h, the volume of each of the 360 buckets contained 2.1 dm<sup>3</sup>, the number of turns of the reductor and consequently of the upper drive pulley of the elevator amounted to 80 min<sup>-1</sup>.

It was established that during the mentioned transportation the breakage had increased, but not in same amount.

The damage was examined on samples of different moisture content distributed into four groups: 28-30 %; 23-25 %; 17-19 % and 11-13 %. In the 29 % moisture content of the material the end of breakage was 1,33% higher than the beginning one. If expressed relatively, this is a difference of 19,32 %. In the moisture of the corn kernel of 23 %, this difference amounted to 1,03 %, relatively 22,94 %, while in the moisture of the material of 18 %, the difference was 2,34 %, relatively 30,51 %. In the driest sample of the material, of 12 %, the difference amounted to 2,57 %, relatively even 24,83 %.

## KEY WORDS

---

corn kernel, characteristics of handling, elevator

<sup>1</sup> Department of Technology, Storage and Transport  
Faculty of Agriculture University of Zagreb  
Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Croatia

<sup>2</sup> POLJOPRIVREDA-GRADINA, Trg kralja Zvonimira 1, Gradina, Hrvatska - Croatia  
E-mail: spliestic@agr.hr

Received: September 11, 2000

# Mehaničko oštećivanje kukuruznog zrna u okomitom elevatorskom transportu

---

Stjepan PLIESTIĆ<sup>1</sup>

Marko ŠUTALO<sup>2</sup>

## SAŽETAK

---

Ispitivanja mehaničkog oštećivanja zrna kukuruza provedena su na elevatoru, transportnom sredstvu okomitog transporta. Rad predstavlja usporedbu dinamičke otpornosti zrna kukuruza hibrida OSSK 552 na ulazu i izlazu iz elevatora tijekom transporta. Deklarirani kapacitet elevatora bio je 64 m<sup>3</sup>/h, volumen pojedine vjedrice iznosio je 2,1 dm<sup>3</sup>, a na traci je bilo pričvršćeno 360 vjedrica. Broj okreta reduktora, a samim time i pogonske glave elevatora bio je 80 min<sup>-1</sup>.

Utvrđeno je da se tijekom navedenog transporta povećava udio loma, no ne u istom iznosu. Ispitivanja oštećivanja su obavljena na uzorcima različite vlažnosti, podijeljenih u 4 grupe i to: 28-30 %; 23-25 %; 17-19 % i 11-13 %. Kod vlažnosti materijala 29 %, izlazni lom bio je za 1,33 % veći od ulaznog. Ako se iskaže u relativnim odnosima onda je to razlika od 19,32 %. Kod vlažnosti kukuruznog zrna od 23 %, ta je razlika iznosila 1,03 %, relativno 22,94 %, dok je kod vlažnosti materijala 18 %, razlika bila 2,34 %, relativno 30,51 %. Na najsuhljem uzorku materijala od 12 %, ta je razlika iznosila 2,57 %, u relativnim iznosima čak 94,83%.

## KLJUČNE RIJEČI

---

zrno kukuruza, manipulativna svojstva, elevator

<sup>1</sup> Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport  
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> POLJOPRIVREDA-GRADINA, Trg kralja Zvonimira 1, Gradina, Hrvatska - Croatia

E-mail: spliestic@agr.hr

Primljeno: 11. rujna 2000.

## UVOD

Dobro je znano da količina i sastav primjesa pa tako i loma, višestruko određuju kakvoću, tržišnu vrijednost i skladišnu održivost kukuruznog zrna.

Oštećeno, zdrobljeno i usitnjeno zrno je higroskopično, brže upija vodu te ubrzava proces disimilacije u zrnu. Takvo je zrno intenzivnije izloženo napadu raznih mikroorganizama, te to dovodi do gubitka hranidbene vrijednosti, ali i do smanjenja njegove higijenske zdravstvene ispravnosti.

Uslijed visokog stupnja mehaniziranosti pojedinih radnih operacija u manipulaciji i transportu zrna, dolazi do njegovog većeg oštećivanja, iako je temeljni zadatak svakog transportnog procesa premještanje materijala s jednog mjesta na drugo bez promjene kvantitativnih i kvalitativnih osobina.

Dugi transportni putevi zrna, pa i neodgovarajuća primjena i izbor transportnih sredstava, te tehološki nedostaci dodatno dinamički opterećuju zrno, i time je manje otporno zrno podložnije lomu, što dovodi i do povećanja udjela loma u ukupnoj količini mase. Ti procesi premještanja materijala vrlo su kompleksni i na njih utječe niz čimbenika, kao npr. fizikalni, potom fizikalno biokemijska svojstva transportiranog materijala, kao i niz drugih.

Sustav oštećivanja zrna je vrlo kompleksan, i većina istraživača u svojim radovima kao polaznu točku većih vidljivih i nastalih nevidljivih oštećenja uzimaju proces mehanizirane berbe, te manipulaciju i transport zrnja, a kao zadnji element u tom lancu uzimaju proces sušenja.

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

Neusklađenost zakonskih odredbi (HRN) i prakse u određivanju kakvoće i načina obračuna vlažnog i suhog kukuruznog zrna, poglavito tehnološkog i manipulativnog kala, također predstavlja dodatni problem.

### Pregled literaturnih podataka

Dinamičko opterećenje (mehanička oštećenja) poljoprivrednih, ali i prehrambenih proizvoda proučavano je u gotovo svim fazama pojedinih tehnoloških procesa, od ubiranja do prerade. U okviru ovog pregleda izneseni podaci obuhvaćaju ukratko čimbenike koji utječu na dinamičko opterećenje zrna kukuruza.

ZOERB i HALL (1960) bavili su se istraživanjem mehaničkih i reoloških svojstava zrna kukuruza, pšenice i graha u rasponu 15.4 % do 24.2 % vlažnosti zrna. Utvrdili su da vlažnost zrna ima najveći utjecaj na mehanička svojstva zrna. Sva svojstva u svezi s čvrstoćom zrna, kao što su: tlačna čvrstoća, modul elastičnosti i maksimalna sila tlačnog opterećenja,

smanjuju se povećanjem vlažnosti, dakle obrnuto su proporcionalni. Autori navode da je za prijelom zrna s visokom vlažnošću potrebno više energije dinamičkim udarom nego statičkim lomljenjem. Također, zrno kukuruza vlažnosti iznad 35 % ima izražena elastična svojstva.

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

KATIĆ (1971) je istraživao otpornost zrna kukuruza na mehanički udar strojno ubranog (kombajniranog), a zatim u sušari sušenog zrna. Svojim istraživanjima tlačnih sila ustanovio je da je sila loma zrna između 120 i 250 [N /zrno], a ovisna je i o smjeru djelovanja.

Istovremeno utvrđuje da brzina kojom se različiti hibridi suše u istim uvjetima ovise o grupi hibrida, odnosno o morfološkoj građi zrna. Također, utvrđuje da mora postojati neposredna veza između oštećivanja zrna, brzine i postupka sušenja, kao i građe zrna.

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

KATIĆ i LACKOVIĆ (1977) ispitivali su otpornost zrna kukuruza na mehanički udar. Istraživanja su vršili na strojno i ručno branim hibridima.

Na temelju provedenih ispitivanja došli su do zaključka da povećana vlažnost zrna kod strojno branih dovodi do većeg oštećenja zrna u različitim odnosima kod različitih hibrida.

GUNASEKARAN sa suradnicima (1985) istražuje mikroskopske slike zrna četiri hibrida sušenih visokim temperaturama zraka. Stvaranje napuklina (loma) pokazalo se na unutarnjoj jezgri brašnatog endosperma, i širilo se radialno izvan zaštitne granice škrobnih stanica. Istraživanjem zaključuje da lomovi unutar zrna ne moraju biti vidljivi na perikarpu.

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

PLIESTIĆ (1989) istražuje oštećivanje različitih hibrida kukuruza dinamičkim opterećivanjem u laboratoriju. Istraživanja su obavljena na 27 različitih ručno runjenih hibrida. Na temelju provedenih istraživanja utvrdio je različito dinamičko opterećenje (lom) zrna različitih hibrida kukuruza kod istog mehaničkog opterećenja. Također je ustanovio da na dinamičko opterećenje (lom) zrna kukuruza dinamičkim opterećenjem utječe vlažnost zrna i veličina opterećenja. Uvodi u uporabu koeficijent lomljivosti ( $K_L$ ), kao odnos loma i cijelog zrna.

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

PLIESTIĆ i KRIČKA (1993) istražuju utjecaj hidrotermičkog postupka obrade na manipulativna svojstva kukuruznog zrna. Istraživanja su obavljena na zrnju kukuruza hibrida Bc 492 klasično sušeni, sa dinamičkom otpornosti zrna kukuruza nakon primjene hidrotermičkog tzv. "cooking" postupka. Utvrdili su da hidrotermički "cooking" postupak smanjuje dinamičku otpornost zrna, odnosno povećava udio loma. Mehaničko je oštećenje kod primjene «cooking» postupka iznosilo 69,49%, dok je primjenom klasičnog sušenja to oštećenje iznosilo 10,10%.

## PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA

Opće je poznato da je većina transportne opreme u centrima za doradu i skladištenje poljoprivrednih proizvoda u RH zastarjela. Prema podacima Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, svega 20 % transportne opreme je mlađe od 10 godina. Razlog tomu potrebno je tražiti prije svega u činjenici da je na području RH uz domovinski rat bilo prisutno i restrukturiranje gospodarstva ali i privatizacija. Razvoj malog i srednjeg poduzetništva, odnosno obiteljskog gospodarstva u području poljoprivredne proizvodnje nije donio i značajniju primjenu suvremenih rješenja u području transporta, prije svega poradi visokih investicijskih troškova, kojima naše poduzetništvo nije moglo odgovoriti.

Povećani lom predstavlja i veće materijalne, energetske i kvalitativne gubitke, pa je stoga izuzetno važno svesti ga u dozvoljene i realne granice.

Problem je sadržan i u zakonskoj Odluci o dopuštenoj visini kala, rastepa, kvara i loma na žitaricama i proizvodima od žitarica i brašna (NN 142/1999. od

22. 12. 1999.). Tako se u čl. 5. te Odluke utvrđuju dopušteni normativi gubitaka na temelju iskustva struke i to:

Naziv proizvoda Tehnološki proces	Mjesto nastanka manjka Manjak do (%)
1. Zrnata roba	
- kukuruz	a) prihvata i sušenje (1,0 %) b) čuvanje (1,0 %) c) isporuka (0,5 %)
10. Ostalo	
- uslužno skladištenje žitarica i slada	a) istovar (0,5 %) b) manipulacija u silosu (0,5 %) c) utovar (0,5 %)
- rasip i sagorijevanje kod prerade kukuruza (2,0 %)	
- rasip kod čuvanja i manipulacije mlinskih proizvoda u rasutom stanju (0,2 %)	
- transportni gubici	- vagnske pošiljke (0,5 %) - kamionske pošiljke po kontrolnoj vagi (0,5 %)
- mjenjačnice	- roba u rasutom stanju (0,5 %)

Svrha ovih istraživanja je bilo utvrditi da li i u kojem iznosu elevatori kao transportna sredstva unutarnjeg transporta utječu na ukupnu količinu loma kukuruznog zrna, odnosno posredno i na količinu gubitaka nastalih tijekom takvog transporta. Također je cilj, a na temelju provedenih istraživanja, ponuditi rješenja za smanjenje oštećivanja kako kukuruznog zrna tako i drugih poljoprivrednih proizvoda u procesu elevatorskog transporta.

## Teorija kretanja materijala i osnove elevatora

Opće je poznato da se izbor tipa transportera za unutarnji transport, pa tako i elevatora obavlja prema:

- osobinama materijala kojeg je potrebno transportirati,
- tehničkim osobinama transportera i
- uvjetima transporta.

Elevator se ubraja u najstarije transportne uređaje i predstavlja strojeve neprekidnog transporta koji premještaju (prenose) materijale (sitno zrnate-sipke i komadne terete) u okomitom i kosom pravcu u odnosu na vodoravnu liniju (nagib kosih elevatora je 70-75°).

Za transport sipkih sitno i krupno zrnih materijala upotrebljavaju se elevatori vjedričari. Učinak elevatora za pojedinu vrstu materijala određen je veličinama cjelokupnog elevatora i oblikom vjedrica. (Pliestic, 1998.)

Prema brzini kretanja vjedrica elevatori se dijele na : brzohodne čije su brzine kretanja od 3,5-4,0 m/s za žitarice, do 2,0-2,8 m/s za krupicu, prekrupu, brašno

i krmne smjese i sporohodne čije su brzine kretanja od 1,2-1,5 m/s za brašno, krmne smjese; 1,4-1,8 m/s prekrupa, krupica; i 2,0-3,0 m/s za žitarice.

Vjedrice se biraju prema svojstvima transportnog materijala i prema radnom kapacitetu, te moraju biti takvih dimenzija kako bi materijal nesmetano mogao ući u njih, odnosno izaći iz njih. Sam oblik vjedrica ovisi i o načinu pražnjenja (gravitacijsko ili centrifugalno). Plitke vjedrice se koriste za transport brašna, krupice, prekrupe, broj vjedrica po metru iznosi  $n = 4 - 8$ . Duboke vjedrice prema DIN 15232 se koriste za transport žitarica, uljarica,  $n = 4 - 8(10)$ , a prema DIN 15233 za ljepljive materijale, npr. krmne smjese, šećer. Uglavnom se izrađuju od čeličnih limova (crnog ili pocinčanog lima) ili od antistatičkih polimernih materijala. Prednji se rubovi čeličnih vjedrica pojačavaju zaštitnom trakom (lijevana ili kovana), a za abrazivne materijale koriste se lijevane vjedrice.

### Proračun elevatora

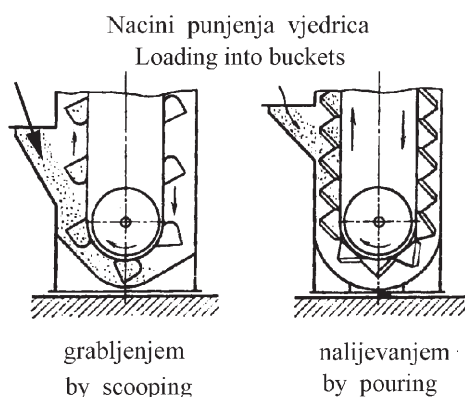
Kapacitet elevatora vjedričara je:

$$Q = 3,6 \frac{i}{a} \cdot \psi \cdot \rho \cdot v \quad [t/h]$$

gdje su:

- $i$  - volumen vjedrice u ( $dm^3$ ) = lit
- $a$  - razmak između vjedrica u (m)
- $\psi$  - (psi) koeficijent punjenja vjedrica iz tablica 0,85 – 1,0
- $\rho$  - nasipna masa materijala ( $t/m^3$ )
- $v$  - brzina kretanja vjedrice u (m/s) iz tablica

### Punjenje i pražnjenje vjedrica elevatora



Slika 1. Načini punjenja vjedrica  
Fig. 1. Schemes of loading buckets of an elevator

Pri kretanju vjedrica po vertikalnom pravcu materijal u vjedrici izložen je samo djelovanju sile gravitacije, dok je pri kružnom kretanju vjedrice na materijal osim djelovanja gravitacije djeluje i centrifugalna sila ( $F_c$ ).

$$F_c = m \cdot r \cdot \omega^2 \text{ (N)}$$

gdje su:

- $n$  – broj okreta bubnja
- $m = G/g$  – masa materijala u vjedrici (kg)
- $g$  - sila gravitacije (9.81 m/s)
- $r$  - radijus okretaja težišta mase materijala
- $\omega = \pi n/30 = 0,1047 n$  - kutna brzina
- $r_b$  - polumjer bubnja
- $r_a$  - polumjer kretanja vjedrice u max. točki

Pražnjenje vjedrica vrši se prilikom prelaska trake s vjedricama preko pogonskog gornjeg bubnja. To pražnjenje se uglavnom odvija pod djelovanjem sile gravitacije i centrifugalne sile, a zatim se preko, najčešće cijevi, gravitacijski pune ćelije silosa ili druga transportna sredstva.

Posljedica djelovanja gravitacijske, centrifugalne, te Coriolisove sile akceleracije u kinematici kretanja elevatora je pražnjenje materijala iz vjedrice.

Geometrijskim zbrojem ovih sila dobiva se rezultanta čiji pravac siječe vertikalnu os u točki P koja se naziva polom okretanja vjedrice

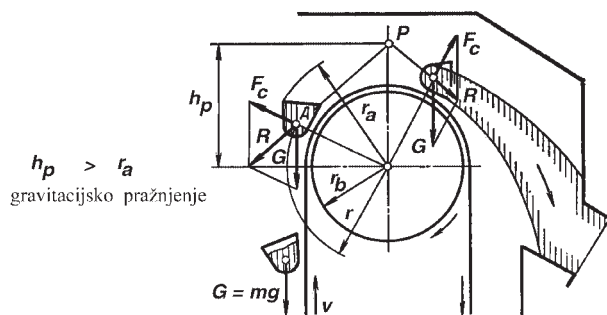
$$h_p = gr^2 \cdot 30^2 / \pi^2 r^2 n^2 = 895/n^2$$

Veličina ( $h_p$ ) prije svega ovisi o broju okreta vratila pogonske glave.

Za gravitacijski način pražnjenja mora biti zadovoljen uvjet da je :

$$h_p > r_a$$

u tom slučaju početak pražnjenja materijala iz vjedrice biti će kada vjedrica prođe kroz gornji položaj (P), i istresanje materijala vrši se preko unutarnjeg ruba vjedrice, sve do potpunog ispražnjenja.

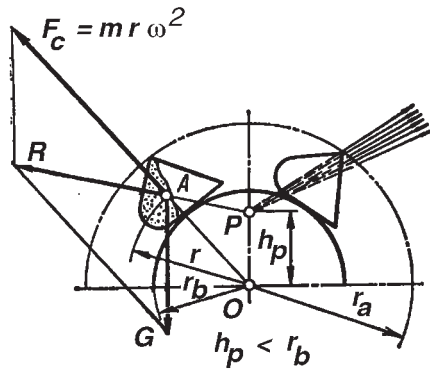


Slika 2. Gravitacijski način pražnjenja  
Fig. 2. Gravity unloading

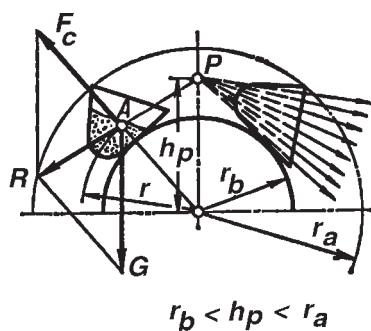
Kada je zadovoljen uvjet da je:

$$b < r_b$$

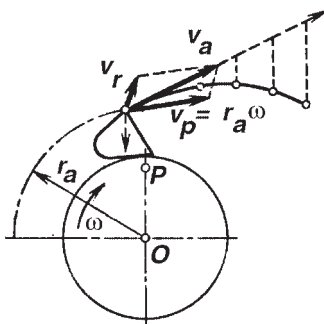
materijal će se pod intenzivnijim djelovanjem centrifugalne sile ( $F_c$ ) prazniti iz vjedrice preko vanjskog ruba, pri čemu će pražnjenje početi prije no što vjedrica dođe u svoj najviši položaj.



Slika 3. Centrifugalno pražnjenje  
Fig. 3. Centrifugal unloading



Slika 4. Kombinirano pražnjenje  
Fig. 4. Combined unloading



$v_r$  - relativna brzina (m/s)  
velocity of sliding  
 $v_a$  - apsolutna brzina materijalne točke  
absolute velocity  
 $v_p$  - prijenosna brzina materijalne točke  
circumferential velocity

Slika 5. Dijagram brzina materijalne točke u procesu pražnjenja vjedrice  
Fig. 5. Diagram of velocity components of material particles

U slučaju da je ispunjen uvjet

$$r_b < b < r_a$$

materijal će se prazniti iz vjedrica uslijed gravitacijske i centrifugalne sile. Prolaskom vjedrice kroz najviši položaj materijal se počinje intenzivno istresati.

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_p^2}$$

$v_r$  – relativna brzina materijalne točke  
(brzina klizanja)  
 $v_a$  – apsolutna brzina materijalna točke  
 $v_p$  – prijenosna brzina materijalne točke  
(obodna brzina)

Apsolutna brzina predstavlja vektorski zbroj relativne i prijenosne brzine, dok je prijenosna brzina točke ustvari gibanje trake zajedno s vjedricama koje se prijenosi i na materijal.

Pri ispitivanju zrnja hibrida OSSK 552 u elevatoru zastupljen je slučaj sruza dvaju nepotpuno elastičnih tijela. Pri sudaru (sruzu) dvaju potpuno plastičnih tijela razlika brzina nakon sudara jednaka je nuli. Kod sudara dvaju nepotpuno elastičnih tijela pretpostavlja se da je razlika brzina nakon sudara samo jedan mali dio vrijednosti  $v_1 - v_2$ , koju bi ona imala kada bi tijela bila potpuno elastična.

U ovom su razmatranju zastupljeni idealni slučajevi, odnosno zanemareni su otpori trenja zraka unutar elevatora, te lom zrna koji bi uzorkovao drugačije ponašanje materijalnih čestica. Sudar u općem slučaju predstavlja nekonzervativan proces, pa je vrlo važno odrediti kinetičku energiju, odnosno njene gubitke pri sruzu zrnja s krutom stijenkom (plaštem) elevatora.

Kinetička energija zrnja pri udaru u plašt elevatora izražena je slijedećom jednačinom:

$$E_k = \frac{m \cdot v_1^2}{2}$$

Gubitak kinetičke energije prikazan je izrazom:

$$E_k = \frac{1-k^2}{2} \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2)^2$$

Budući je plašt elevatora daleko veće mase ( $m_2$ ) od zrnja koje u njega udara, dakle  $m_2 \gg m_1$ , tada je  $m_1/m_2 \approx 0$ , pa je i kinetička energija  $E_{k1} \approx 0$ .

To znači da se ukupna kinetička energija troši na deformaciju (rad deformacije) i zagrijavanje tijela koja se sudaraju (Bazjanac, 1974.).

Za realna tijela koja nisu u potpunosti elastična brzine nakon sruza su:

$$c_1 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_2 (v_1 - v_2)k}{m_1 + m_2}$$

$$c_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_1 (v_1 - v_2)k}{m_1 + m_2}$$

gdje koeficijent restitucije ( $k$ ) (koeficijent uspostavljanja) predstavlja odnos veličine materijalne čestice zrna na kraju sruza (sudara) i veličine njene brzine na početku udara o nepomičnu podlogu.

$$k = \frac{v'}{v} = \frac{\sqrt{2gh_2}}{\sqrt{2gh_1}} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

ili

$$k = \frac{c_2 - c_1}{v_1 - v_2}$$

Koeficijent restitucije pokazuje odstupanje od potpuno elastičnog sudara ( $0 < k < 1$ ). Za potpuno elastičan  $k = 1$ , a za potpuno neelastičan sudar  $k = 0$  (idealni slučajevi koji se ne javljaju u prirodi). Koeficijent restitucije mijenja se s brzinom kojom zrno udara u podlogu, a ovisi i o obliku zrna koje udara u podlogu, a nešto manje o odnosu njihovih masa.

Osim navedenog za kinetiku sustava kretanja materijala i radnih dijelova u elevatoru važna je i nasipna masa materijala.

Nasipna masa predstavlja odnos mase i volumena sipke robe (materijala). Ovisna je o gustoći krute faze, o veličini i obliku čestica, o dimenzionalnoj raspodjeli čestica i adheziji među česticama.

Trešnjom i vibracijama zračni se prostor između čestica sitnozrnih i sipkih materijala smanjuje, pri čemu se smanjuje i volumen materijala, a nasipna masa raste. To povećanje nasipne mase vibracijama, utoliko je veće ukoliko se pojedine čestice materijala više razlikuju po veličini i obliku i ukoliko u robi prije trešnje ima više uklopljenog zraka. Poradi visokog udjela zraka razlika između nasipne mase prije i poslije trešnje kod praškastih materijala znatno je veća no kod drugih sitnozrnih – sipkih roba.

Nasipna se masa često orijentacijski utvrđuje temeljem empirijskog izraza:

$$NM = \frac{(1,05 \rightarrow 1,52) \cdot HM}{100} \quad \left[ \frac{t}{m^3} \right]$$

gdje su:

NM - nasipna masa [ $t/m^3$ ]

HM - hektolitarska masa [ $kg/hl$ ]

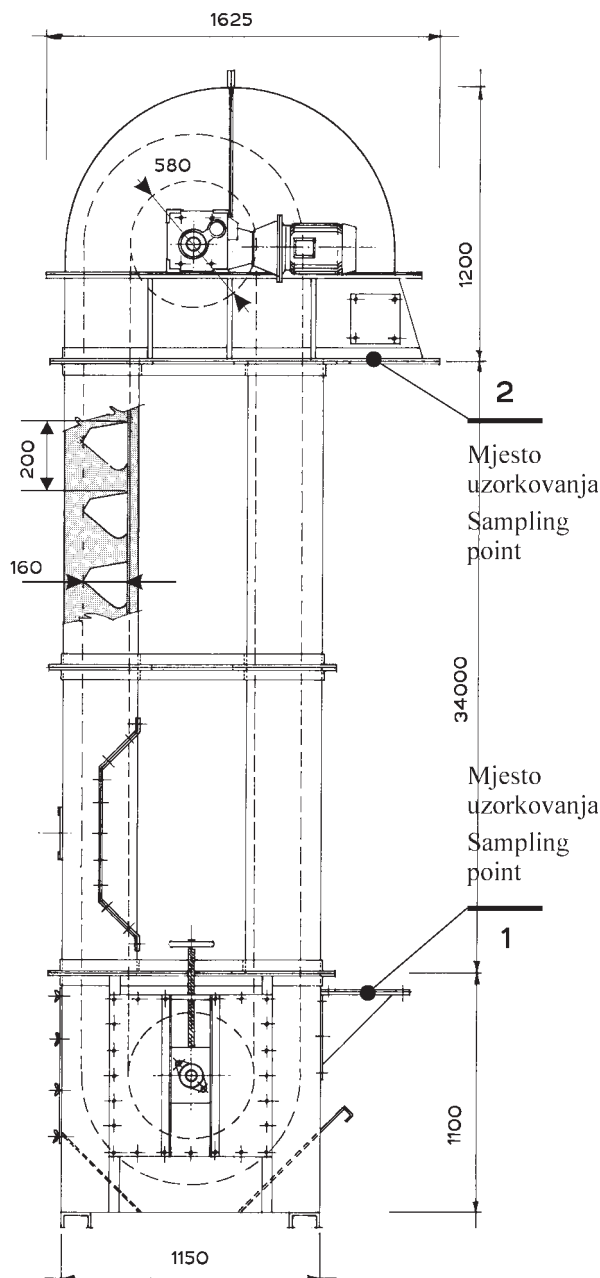
## MATERIJAL I METODE ISPITIVANJA

### Osobine ispitivanog hibrida

Provedena ispitivanja obavljena su na hibridu OSSK 552. Navedeni hibrid izraziti je zuban i visokog je potencijala rodnosti.

### Metode mjerenja

Ispitivanja su provedena na elevatoru odabranom temeljem uvida u stanje transportnih sredstava u centrima za doradu i skladištenje poljoprivrednih proizvoda na području Republike Hrvatske. Odabrani elevator je iz grupe od 20 % novoinstaliranih u



Slika 6. Dimenzije i mjesta uzorkovanja ispitivanog elevatora  
Fig. 6. Dimensions of vertical belt bucket elevator and places of sampling

zadnjih deset godina i predstavlja prosjek elevatora kao transportnog sredstva u pogledu svih svojih karakteristika (tablica 1.).

Uzorkovanje ispitivanog materijala - kukuruzno zrno hibrida OSSK 552 uzimani su neposredno prije ulaza u elevator (ulazna kutija) i neposredno po izlasku iz elevatora (mjesta uzorkovanja – slika 6.). Uzorkovanje je obavljano u 50 ponavljanja jedne grupe vlažnosti materijala ( 28-30% ) na ulazu kao i na izlazu iz elevatora. Isti postupak provoden je i za ostale 3 grupe vlažnosti; 23-25 %; 17-19 % i 11-13 %

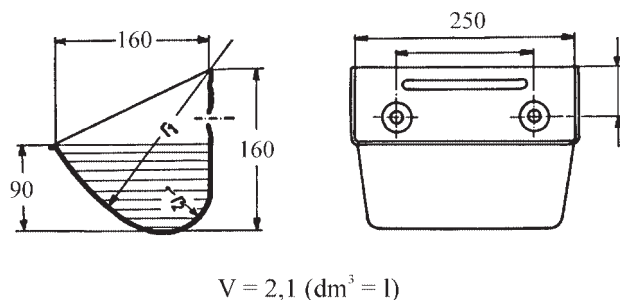
Svaki uzorak je potom laboratorijski obrađen, te su im prema važećim zakonskim propisima (HR Norme)

Tablica 1. Osobitosti ispitivanog elevatora  
Table 1. Main characteristics of elevator

TIP ELEVATORA (Type of elevator)	630 / 350
KAPACITET (Q) m <sup>3</sup> /h	64
TRAKA (Belt)	
Širina trake (width) (mm)	297
Debljina trake (thickness) (mm)	8
Dužina trake (length) (m)	36*2
VJEDRICA (Bucket)	
Dužina (length) (mm)	160
Širina (width) (mm)	250
Visina (height) (mm)	160/90
Volumen (Volume) (dm <sup>3</sup> )	2,1
Ukupno vjedrica (sum of buckets) (kom)	360
Vjedrica po metru dužinom (kom/m)	5
ELEKTROMOTOR (Electric motor)	
Tip (Type)	2MK132M4
Snaga (Power) (P) kW	11
Broj okreta (number of rotation) n <sup>-1</sup>	1420
Cos φ	0,86
REDUKTOR (Reduction gear)	
Tip (Type)	TZ5 132 83
Snaga (Power) (kW)	11
Broj okreta (RPM) (n) (min <sup>-1</sup> )	80

utvrđeni slijedeći parametri: vlažnost, primjese i lom.

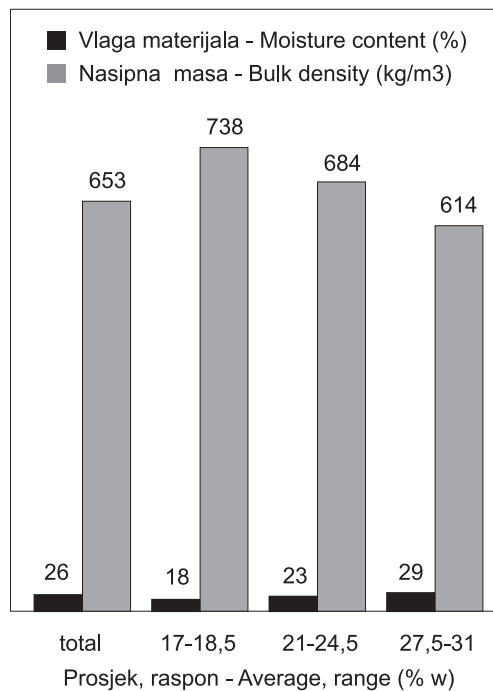
Također je i koeficijent restitucije (k) utvrđivan laboratorijski. Kukuruzno zrno pušteno je da slobodno pada na masivnu horizontalnu čeličnu ploču. Početna visina (h<sub>1</sub>) iznosila je 0,30 m, a mjerena je potom laserskim digitalnim daljinomjerom (BOSH DLE 30) visina odraza (h<sub>2</sub>) zrna od ploče. Postupak utvrđivanja koeficijenta restitucije proveden je također na navedena 4 nivoa vlažnosti kukuruznog zrna hibrida OSSK 552.



Slika 7. Dimenzije vjedrica ispitivanog elevatora  
Fig. 7. Main dimensions of buckets

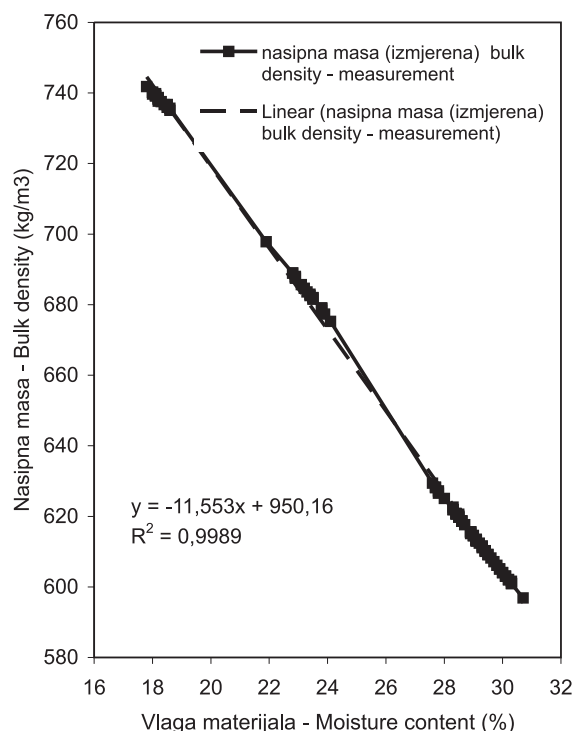
## REZULTATI ISPITIVANJA ELEVATORA

Na temelju provedenih ispitivanja, prema opisanoj metodici, dobiveni rezultati su sumirani i statistički obrađeni, te prikazani dijagramima.



Slika 8. Nasipna masa i vlažnost kukuruznog zrna hibrida OSSK 552

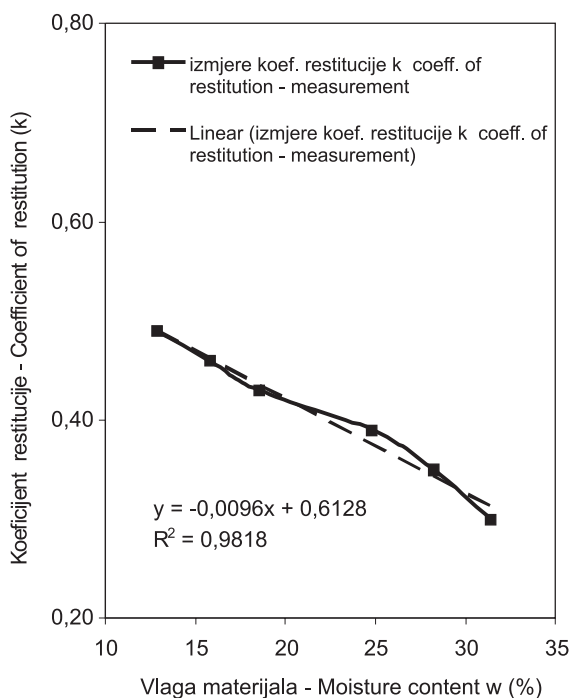
Fig. 8. Bulk density and moisture content of corn kernel OSSK 552 hybrid



Slika 8a. Prikaz odnosa vlažnosti i nasipne mase kukuruznog zrna hibrida OSSK 552

Fig 8a. Relationship between moisture content and bulk density of corn kernel OSSK 552 hybrid





Slika 9. Prikaz odnosa vlažnosti kukuruznog zrna hibrida OSSK 552 i koeficijenta restitucije (k)

Fig 9. Relationship between moisture content and coefficient of restitution of corn kernel OSSK 552 hybrid

### Centrifugalna sila

Temeljem provedenih ispitivanja, kao i nekih osobitosti elevatora određena je i centrifugalna sila koja djeluje na masu materijala u pojedinoj vjedrici pri različitoj vlažnosti zrna kukuruza hibrida OSSK 552.

Polumjer rubne točke istresanja materijala iz vjedrice ( $r_a$ ) za ispitivani elevator iznosi 380 mm, kutna brzina ( $\omega$ ) 8,4 s<sup>-1</sup>, odnosno obodna brzina ( $v_p$ ) 3,18 m/s, dok je koeficijent napunjenosti vjedrica ( $\psi$ ) iznosio 0,85.

Prosječna nasipna masa ispitivanog zrnja kukuruza iznosila je  $\rho_N = 0,652$  t/m<sup>3</sup> (slika 8.) uz prosječnu vlažnost materijala od 25,75 %.

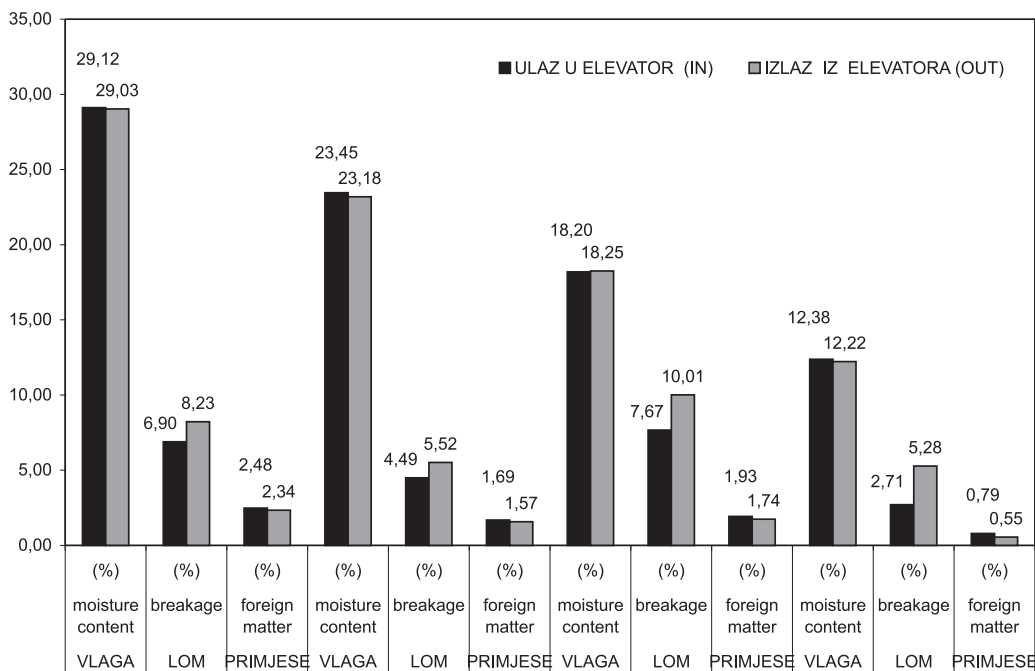
Pod pretpostavkom da je masa materijala u vjedrici ostala nepromijenjena, a smanjen je broj okreta (n) sa 80 na 70 odnosno 60 min<sup>-1</sup> došlo je i do smanjenja kutne brzine ( $\omega$ ) sa 8,37 na 7,33 te na 6,28 s<sup>-1</sup>. Obzirom na to da su u međusobnom spregu, isto vrijedi i za obodnu brzinu ( $v_p$ ) koja je sa 3,18 m/s smanjena na 2,78 pa na 2,39 m/s.

Poradi navedenog javlja se i slabije djelovanje centrifugalne sile ( $F_c$ ) za ≈23 % manje pri brzini 2,78 m/s, odnosno za ≈44 % pri brzini 2,39 m/s (tablica 2.). Koeficijent napunjenosti vjedrica ( $\psi$ ) i polumjer rubne točke ( $r_a$ ) ostali su nepromijenjeni.

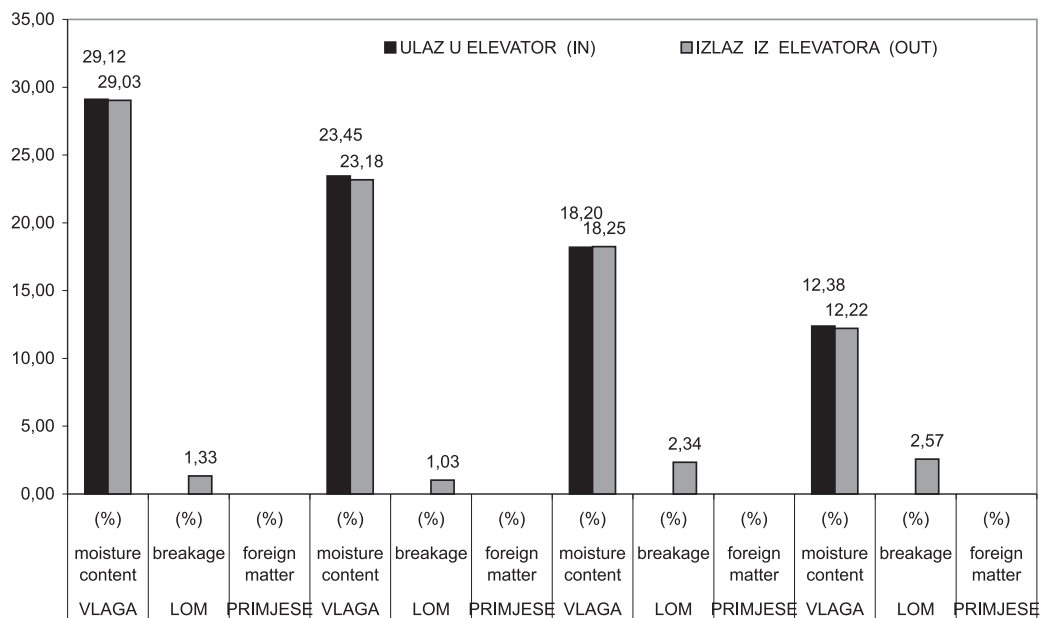
Usporedno s smanjivanjem centrifugalne sile, odnosno smanjivanjem broja okreta elevatorske pogonske

Tablica 2. Ovisnost osnovnih veličina kretanja materijala u elevatoru o vlažnosti materijala i promjeni broja okreta elevatora  
Table 2. Main characteristics of material in depending of moisture content and variations of RPM

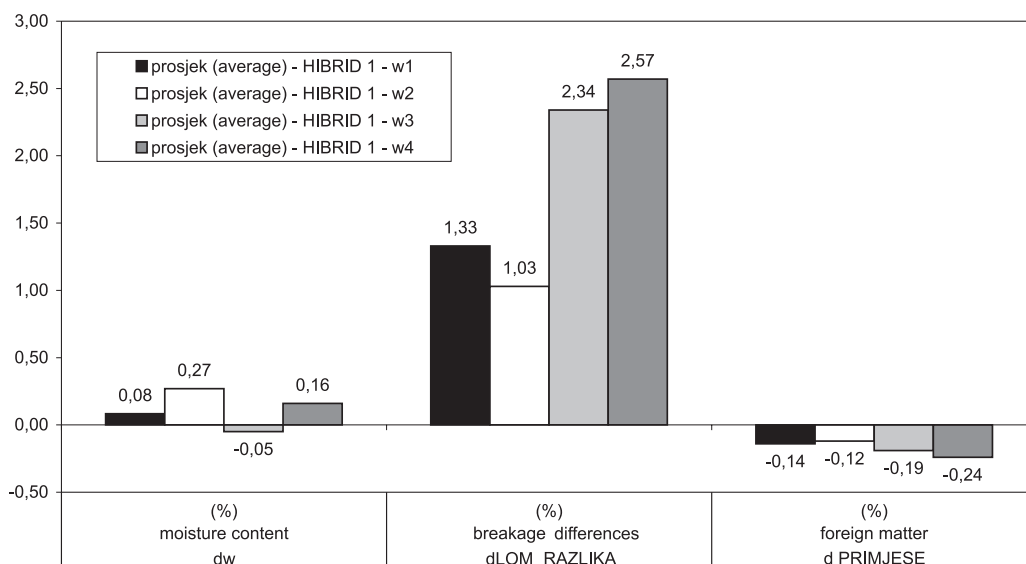
Vlaga materijala Moisture content w (%)	Nasipna masa Bulk density $\rho_N$ (t/m <sup>3</sup> )	Masa materijala u vjedrici Mass of material in the bucket G (kg/vjedrici)	Kapacitet elevatora Throughput capacity Q (t/h)		Centrifugalna sila na materijal u vjedrici Centrifugal force on material in the bucket $F_c$ (N/vjedrici)		
			n = 80 (min <sup>-1</sup> ) v = 3,18 m/s	n = 70 (min <sup>-1</sup> ) v = 2,78 m/s	n = 80 (min <sup>-1</sup> ) v = 3,18 m/s	n = 70 (min <sup>-1</sup> ) v = 2,78 m/s	
25,75	0,6526	1,16	66,68	58,29	31,04	23,76	
18,23	0,7383	1,32	75,43	65,95	35,11	26,88	
23,32	0,6836	1,22	69,85	61,06	32,51	24,89	
29,08	0,6137	1,10	62,70	54,82	29,19	22,35	
			n = 60 (min <sup>-1</sup> ) v = 2,39 m/s				
			49,90			17,46	
			56,46			19,75	
			52,27			18,29	
			46,93			16,42	



Slika 10. Prosječne vrijednosti rezultata mjerenja vlage, loma i primjesa kukuruznog zrna hibrida OSSK 552 na ulazu i izlazu u/iz elevator (a)  
Fig. 10. Average values of moisture, breakage and foreign matter of corn kernel OSSK 552 hybrid in/out of an elevator

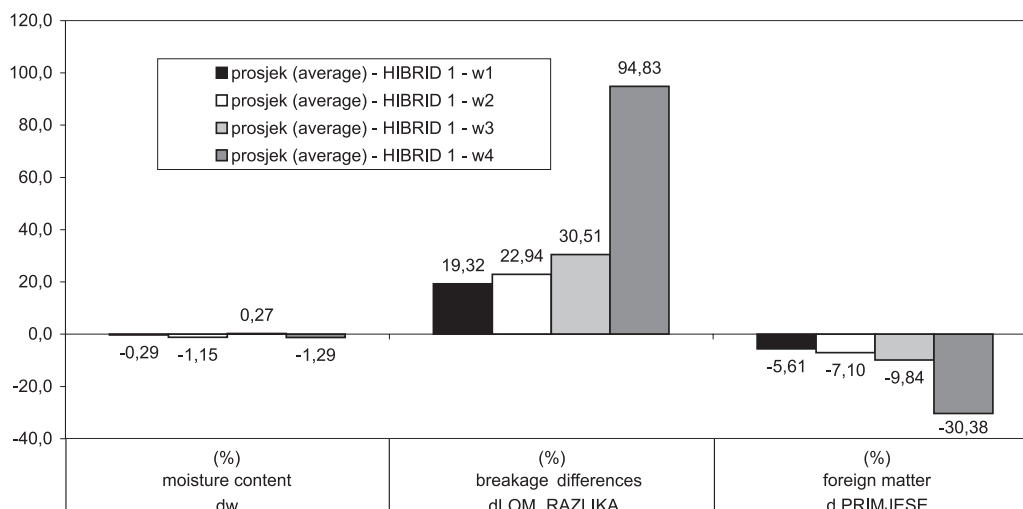


Slika 11. Stvarne razlike loma i primjesa kukuruznog zrna hibrida OSSK 552 na ulazu i izlazu u/iz elevator (a)  
Fig. 11. Really differences of breakage and foreign matter of corn kernel OSSK 552 hybrid in/out of an elevator



Slika 12. Grupirani prosječni rezultati stvarnih razlika vlage, loma i primjesa kukuruznog zrna hibrida OSSK 552  
Fig. 12. Average values of really differences of moisture, breakage and foreign matter of corn kernel OSSK 552 hybrid line up in groups

Slika 13. Grupirani prosječni rezultati relativnog odnosa vlage, loma i primjese kukuruznog zrna hibrida OSSK 552 na ulazu i izlazu u/iz elevator (a)  
Fig. 13. Average values of relative relationship between moisture, breakage and foreign matter of corn kernel OSSK 552 hybrid in/out of an elevator, line up in groups



Tablica 3. Rad deformacije zrna  
Table 3. Work of kernel deformation

Rad deformacije ( $W_{EK}$ ) (J/vjedrici) - Work of deformation (J/bucket)				
Masa materijala u vjedrici Mass of material in the bucket G (kg/vjedrici)		Obodna brzina - Surface velocity $v$ (m/s)		
		3,18 (n = 80 min <sup>-1</sup> )	2,78 (n = 70 min <sup>-1</sup> )	2,39 (n = 60 min <sup>-1</sup> )
1	1,16	5,90	4,51	3,32
2	1,32	6,68	5,12	3,76
3	1,22	6,18	4,73	3,47
4	1,10	5,57	4,26	3,13

glave, došlo je i do smanjivanja kapaciteta samog elevatora. Tako je smanjivanjem broja okreta sa 80 na 70 min<sup>-1</sup>, kapacitet smanjen za približno 13%, a daljnjim smanjenjem broja okreta na 60 min<sup>-1</sup>, on je smanjen za 25% (tablica 2.).

### Energija sraza

Sile, pa tako i centrifugalna sila su uzrokom promjene kretanja i oblika tijela, a rad deformacije je ustvari kinetička energija koja lomi zrno. Važno je stoga da taj rad bude u granicama koje materijal može izdržati, a da ne dođe do njegove trajne deformacije.

Iz tablice 3. je uočljivo da je smanjenjem broja okreta sa 80 na 70 min<sup>-1</sup>, rad deformacije smanjen je za približno 24%, a daljnjim smanjenjem broja okreta na 60 min<sup>-1</sup>, on je smanjen za 44%.

### RASPRAVA

U unutarnjem transportu u centrima za doradu i skladištenje poljoprivrednih proizvoda rabi se niz transportnih sredstava, a za okomiti transport uglavnom elevatori.

S problemom količine loma susretalo se niz istraživača: ZOERB i HALL (1960); GOTLIN (1967); KATIĆ (1971); KELLER, CONVERSE, HODGES i CHUNG

(1972); KATIĆ i LACKOVIĆ (1977); GUNASEKARAN sa suradnicima (1985); GUNASEKARAN i PAULSEN (1985); PLIESTIĆ (1989); KRIČKA, Tajana (1990); PLIESTIĆ i KRIČKA, Tajana (1993) i niz drugih.

Ovim rezultatima istraživanja dokazane su i tvrdnje istraživača Pliestic, Krička (1993.), Gunasekaran i suradnici (1985.), Lacković, Katić (1977.), Keller (1972.), da na oštećenje kukuruznog zrna utječe vlažnost materijala.

Koeficijent restitucije u istraživanjima (Pliestic, 1989.) kretao se u iznosu od 0,30, pri vlažnosti 9,62 % kukuruznog zrna hibrida Bc 408 E, dok se je u ovim istraživanjima on kretao od 0,49 pri vlažnosti 12,81%, do 0,30 pri vlažnosti 31,37 %.

Istraživanjima je potvrđeno da su prilikom zahvata materijala iz donje glave, vjedrice kao i vučni element izloženi znatnim dinamičkim opterećenjima, što se naročito očituje kod transporta tvrdih i krupnijih materijala. Kod punjenja vjedrica grabljenjem javljaju se veća udarna opterećenja (sraz) na materijal, pa je i to mjesto pojačanog oštećenja poljoprivrednih sitnozrnih materijala, u ovom slučaju kukuruznog zrna hibrida OSSK 552.

Istraživanja ukazuju na mogućnost smanjenja brzine kretanja elevatora za  $n=10$  min<sup>-1</sup>, no to za posljedicu,

osim manjeg udarnog opterećenja na transportirani materijal, ima i manji kapacitet elevatora za 13 %. Promjenom vjedrica većeg volumena, sa 2,1 dm<sup>3</sup> na 2,4 dm<sup>3</sup>, ali i trake boljih vučnih osobina taj bi problem bio riješen.

## ZAKLJUČAK

Ispitivanja su provedena na elevatoru u okomitom taransportu kukuruznog zrna hibrida OSSK 552.

- Obradom rezultata dobivenih ispitivanjem, utvrđeno je da na oštećenje (lom) zrna kukuruza hibrida OSSK 552 utječe vlažnost zrna. Pri vlažnosti mase 29,12%, a uz razliku vlažnosti (ulaz-izlaz elevatora) od 0,08%, lom je iznosio 1,33% (ulaz-izlaz elevatora). U relativnim odnosima je to razlika od 19,32%. Kod vlažnosti kukuruznog zrna od 23,45%, a uz razliku vlažnosti (ulaz-izlaz elevatora) od 0,27%, ta je razlika iznosila 1,03%, relativno 22,94%, dok je kod vlažnosti materijala 18,20%, uz razliku vlažnosti (ulaz-izlaz elevatora) od -0,05 %, razlika bila 2,34%, relativno 30,51%. Na najsuhljem uzorku materijala od 12,38%, uz razliku vlažnosti (ulaz-izlaz elevatora) od 0,16 %, ta je razlika iznosila 2,57%, u relativnim iznosima čak 94,83%.
- Kapacitet ispitivanog elevatora kretao se u rasponu od 75,43 (t/h) kod vlažnosti 18,23% do 62,70 (t/h) kod vlažnosti materijala od 29,08%. Pri tom je broj okreta pogonske glave elevatora bio 80 min<sup>-1</sup>. Smanjenjem broja okreta pogonske glave elevatora na 70 min<sup>-1</sup>, kapacitet je smanjen za 13 %. Da promjena broja okreta ne bi bila na štetu kapaciteta, vjedrice je potrebno zamijeniti vjedricama većeg volumena (2,4 dm<sup>3</sup>).
- Rad deformacije na zrno u pojedinoj vjedrici pri n=80 min<sup>-1</sup> iznosio je 5,90 J, pri prosječnoj masi materijala u vjedrici 1,16 kg. Smanjenjem broja okreta pogonske glave elevatora na 70 min<sup>-1</sup>, rad deformacije, a time i mehaničko oštećenje zrna, smanjen je za 24 %.
- Prosječna nasipna masa ispitivanog materijala kretala se u rasponu od 738,32(kg/m<sup>3</sup>) kod vlažnosti 18,23% do 613,74(kg/m<sup>3</sup>) kod vlažnosti materijala od 29,08%. Jednadžba promjene nasipne mase kukuruznog zrna hibrida OSSK 552 u odnosu na vlažnost materijala bila je:  $y = -11,553x + 950,16$ ; uz koeficijent determinacije  $R^2=0,9989$ .
- Koeficijent restitucije ispitivanog materijala kretao se u rasponu od 0,49 pri vlažnosti 12,81% do 0,30 pri vlažnosti 31,37 %. Jednadžba promjene koeficijenta restitucije kukuruznog zrna hibrida OSSK 552 u odnosu na vlažnost materijala je:  $y = -0,0096x + 0,6128$ , uz koeficijent determinacije  $R^2=0,9818$ .

- Istraživanja su pokazala da je u elevatorskom transportu sitnozrnih poljoprivrednih proizvoda potrebno rabiti elevatore manjih brzina kretanja (2,0 do 2,5 m/s), te za postizanje zadovoljavajućeg kapaciteta šire radne elemente (vjedrice + trake) ili primijeniti neko drugo tehničko rješenje .

Ovim istraživanjima potvrđeno je da elevatori kao transportna sredstva unutarnjeg transporta utječu na ukupnu količinu loma kukuruznog zrna. Ispitivani elevatori, kao i većina sličnih stvara povećanu količinu loma pa neposredno utječu i na količinu gubitaka, odnosno kala.

## LITERATURA

- BAZJANAC, D. (1974.) –Tehnička mehanika – dinamika , Liber, Zagreb
- GOTLIN, J. (1967) -Suvremena proizvodnja kukuruza; Agronomski glasnik; Zagreb
- GUNASEKARAN,S.; DESHPANDE, S.S.; PAULSEN,M.R.; SHOVE,G.C. (1985) - Size Characterization of Stress Cracks in Corn Kernels. Transactions of the ASAE, Vol. 28. No. 5.
- GUNASEKARAN,S.; PAULSEN,M.R. (1985) - Breakage Resistance of Corn as a Function of Drying Rates.Transactions of the ASAE, Vol. 28. No. 6.
- KATIĆ, Z. (1971) -Utjecaj brzine hlađenja zrna kukuruza nakon sušenja na kvalitet zrna i mogućnost povećanja kapaciteta sušare. FPZ, Doktorska disertacija, 1971. god. Zagreb
- KELLER, D.L. et al. (1972) - Corn Kernel Damage due to High Velocity Impact. Transactions of the ASAE, , Vol. 15. No. 2.
- KRIČKA, Tajana (1990) - Utjecaj perforacije zrna kukuruza na njegovu dinamičku čvrstoću. VI Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Tuheljske Toplice, 1990. god.
- KRIČKA, Tajana (1993) - Utjecaj perforiranja perikarpa pšena kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom, FPZ, Doktorska disertacija, 1993. god.
- KRIČKA, Tajana,(1994) - Brzina sušenja perforiranog i neperforiranog zrna nakon "cooking" toplinske dorade. X Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Stubičke Toplice, 1994. god
- LACKOVIĆ,L., KATIĆ, Z. (1977) -Utjecaj vlage zrna kukuruza u momentu berbe na unutarnje oštećenje zrna. Zbornik radova o aktualnim problemima mehanizacije poljoprivrede, Poreč, 1977.god
- PLIESTIĆ, S. i suradnici (1989) – Mehanička čvrstoća različitih hibrida kukuruza. V Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Toplice Topusko, 1989. god.
- PLIESTIĆ, S. (1989) - Komparativna analiza oštećivanja različitih hibrida kukuruza dinamičkim opterećivanjem. FPZ, Magistarski rad, 1989. god.

- PLIESTIĆ, S. (1990) - Laboratorijski uređaj za ispitivanje dinamičke otpornosti zrna kukuruza. VI Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Tuheljske Toplice, 1990. god.
- PLIESTIĆ, S. (1991) - Metode i uređaji za određivanje vlažnosti mase žitarica, Agrotehničar, br. 11-12, 1991. god.
- PLIESTIĆ, S., KRIČKA Tajana (1993) - Ispitivanje dinamičke otpornosti zrna kukuruza hibrida Bc 492 sušenog klasičnim i "cooking" postupkom. Krmiva 35,(1993) – 3.
- PLIESTIĆ, S. (1998.) – predavanja iz predmeta "Transport u poljoprivredi" AF - Zagreb
- PAVLIĆ, I. (1988) - Statistička teorija i primjene. Tehnička knjiga Zagreb, 1988. god.
- ZOERB,G.C.; HALL, C.W. (1960) - Some Mechanical and Rheological Properties of Grains. Journal of Agricultural Engineering
- \*\*\* Katalog OSSK hibrida, Osijek, 1993. god.

---

acs66\_24