



Teorijski i eksperimentalni pristup analizi grešaka pri setvi kukuruza

Marko Kostić^{a*}, Dušan Rakić^b, Dragi Radomirović^a, Nebojša Dedović^a,
Nataša Ljubičić^c, Vera Popović^c

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija

^bUniverzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija

^cBioSense Institute, Dr Zorana Đinđića 1, 21000 Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: markok@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Savremeni trendovi u poljoprivredi nametnuli su potrebu za visoko preciznim sistemima pri obavljanju poljoprivrednih operacija. Na prvom mestu, setvena tehnologija mora da zadovolji najstrože zahteve sa ciljem da se postigne željeni optimalni sklop, što je prvi preduslov za ostvarivanje visokih i stabilnih prinosa, odnosno najvećeg mogućeg profita. Poboljšanje preciznosti setve je nemoguće bez poznavanja principa rada svih delova setvenog mehanizama i svih faktora koji utiču na moguće greške pri sejanju. Poboljšanje metodologije i tehnike testiranja imalo je presudan uticaj na razvoj sejalice. U ovom radu opisan je foto-elektronski uređaj koji prati kretanje semena pri slobodnom padu nakon napuštanja setvenog mehanizma. Za simulaciju setve korišćen je mehaničko-pneumatski setveni mehanizam sa nad pritiskom. Njegove performanse testirane su na sedam frakcija semena kukuruza, dve setvene ploče, dve različite brzine protoka vazduha i četiri različite brzine obrtaja setvene ploče. Višefaktornijalni eksperiment korišćen je za utvrđivanje značaja uticaja četiri ulazna faktora na setvu i na ispitivanje međusobne interakcije dva faktora. Utvrđeno je da je na promenu rastojanja između uzastopnih semena najveći uticaj imala brzina obrtaja setvene ploče, dok je frakcija semena imala najmanji. Pritisak vazduha i frakcija semena imali su najznačajniji uticaj na promenu indeksa kvaliteta setve, iako su frakcija i brzina obrtanja setvene ploče takođe bili statistički značajni parametri. Pojava propuštenih i višestrukih semena je dominantna posledica pritiska vazdušne struje, frakcije semena i vrste setvene ploče, ali i brzine obrtaja setvene ploče. Primenjena metoda optimizacije može biti alat za pronalaženje optimalne kombinacije ulaznih parametara korišćenih u testu da bi se ispunili kriterijumi koji variraju u zavisnosti od potreba korisnika.

KLJUČNE REČI: setva, preciznost, optimizacija, senzor

Uvod

U savremenim sistemima proizvodnje ratarskih proizvoda, obrada zemljišta se menja u pravcu smanjenja intenziteta (Kostić i sar., 2016, Biddoccu i sar., 2016). Zbog toga njivski uslovi postaju složeniji (zemljište je manje homogeno, kompaktnije, sa većim prisustvom biljnih ostataka) i na terenu je daleko teže postići veliku tačnost u rasporedu semena i ujednačnosti nicanja (Kassam i sar., 2014; Farooq i Siddique, 2015). Veliki broj poljoprivrednih stručnjaka slaže se da kvalitet setve ima važnu ulogu u proizvodnji useva (Karayel i Ozmerzi, 2002; Cay i sar., 2018). Ako biljke imaju optimalne uslove za rast i razvoj, tada postoje preduslovi da se genetski potencijal hibridna/sorti maksimalno iskoristi. Jednaka prostorna distribucija biljaka je jedan od važnih faktora kojim se smanjuje međusobna kompeticija biljaka za životni prostor. Značaj rasporeda biljaka u polju, s obzirom na kvalitet i veličinu prinosa, zavisi od biljne vrste. Generalno gledano, veći međuredni razmak kao i veće rastojanje između semena, povećava značaj jednake distribucije biljaka i obrnuto. Jaggard (1990) naglašava važnost preciznosti setve u proizvodnji šećerne repe gde, zbog neravnomernog rastojanja između semena, dolazi do neravnomernog rasta i formiranja korena, čime se smanjuje efikasnost ubiranja. Kvalitet setve utiče na efikasnost suzbijanja korova tokom vegetacionog perioda, jer postoji mogućnost širenja korova ako se ostavi više praznog prostora između semena. Lan i sar. (1999) navode da sejanje direktno utiče na krajnji prinos i indirektno na finansijske efekte proizvodnje. Mehanička kontrola korova, pri uzdužnom i poprečnom kretanju kultivatora, zahteva postizanje rasporeda biljaka u formi pravougaonika (Schölderle i sar., 2008). Robinson i sar. (1982) utvrdili su da se prinos suncokreta u Minesoti smanjio i do 30% usled neravnomerne distribucije semena.

Što se tiče postupka doziranja semena i drugih relevantnih faktora, Kostić i sar. (2018) uočili su „spoljne“ i „unutrašnje“ faktore koji utiču na kvalitet setve. Spoljni faktori su veličine koje nisu povezane sa samim setvenim mehanizmom, ali imaju uticaj na greške pri sejanju. To su: brzina sejalice, fizička svojstva semena, kvalitet površinske pripreme, nagib terena itd. Većina ovih veličina je dosta promenljiva i stepen njihovog uticaja je nemoguće predvideti. Unutrašnji faktori odnose se na tehničke

karakteristike setvenog aparata, kao što su: kinematika uređaja za sejanje, efikasnost izbacivača semena i uklanjanja viška semena, prenos kod pogonskog sistema, vrste uređaja za doturanje semena, načina prenosa semena do brazde, visina setvenog mehanizma, itd. Fornstrom i Miller (1989) navode da su radna brzina i način izbacivanja semena u otvorene brazde bitni elementi preciznosti setve.

Kvalitet rada sejalice procenjuje se standardnim statističkim instrumentima koji se izračunavaju na osnovu podataka kod kojih su uklonjene ekstremne vrednosti (ako je razmak između semena bio manji od 0,5 i veći od 1,5 od zadatog) u skladu sa opštim pravilima definisanim u standardu ISO 7256/1. Najčešće se koristi CV (koeficijent varijacije) kao prosečno relativno odstupanje izmerenog rastojanja od srednje vrednosti. Kachman i Smith (1995) tvrde da precizna setva uključuje CV manji od 30%, dok Griepentrog (1998) i Celik i sar. (2007) tvrde da bi CV trebalo da bude ispod 20%. Irla i Heusser (1991) navode da bi prihvatljiv indeks kvaliteta setve (procenat razmaka između dva semena koji su veći od 0,5 definisanog razmaka i manji od 1,5 postavljenog razmaka pri setvi u mm) za preciznost setve trebalo biti veći od 90%. Ipak, to više zavisi od prosečne udaljenosti semena nego od apsolutne greške dobijenih rastojanja između semena i može biti neadekvatna za procenu kvaliteta sejanja, što su takođe primetili i detaljno objasnili Müller i sar. (2006). Smith i sar. (1991) kao i Kachman i Smith (1995) definišu parametar *koeficijent preciznosti-CP3* za procenu kvaliteta setve (procenat razmaka koji je unutar ± 15 mm od zadate setvene vrednosti za razmak). Ovaj parametar kombinuje se sa drugim statističkim testovima (aritmetička srednja vrednost i standardna devijacija).

Preciznost sejalice može se testirati u stvarnim poljskim uslovima, gde su uključeni svi objektivni faktori ili u kontrolisanim uslovima, u laboratoriji, u kojoj se simulira setva pomoću odgovarajućih uređaja i izostavljaju „spoljni“ faktori (McLean, 1974; Hollevell, 1982; Thomson, 1986; Brooks i Church, 1987; Hofman, 1988; Kachman i Smith, 1995; Bracy i sar., 1998; Ozmerzi i Karaiel, 1999; Ozmerzi i sar., 2002). Kontrola kvaliteta na samom terenu je metoda koju obično koriste poljoprivrednici, ali ona ipak ima i neke nedostatke. Određivanje kvaliteta sejanja na terenu može se izvršiti posle setve ili posle klijanja biljaka. Ako se vrši posle klijanja, tada postoji verovatnoća pojave greške pri merenju zbog faktora koji nisu povezani sa sejalicom. Ti faktori su klijavost i snaga klijanja semena, kao kao i nehomogenost raspodele vlage u sloju gde se nalazi seme, uticaj štetočina, kvalitet pripreme zemljišta, itd. Ako se merenje vrši odmah nakon setve, potrebno je iskopati nekoliko semenki iz određenih zona u polju uz određen broj ponavljanja. Potreban broj odeljaka za ispitivanje zavisi od sekcija sejalice. Ova tehnika smanjuje relevantnost izmerenih podataka zbog poremećaja položaja semena nakon iskopavanja. Pored toga, nemoguće je pribaviti dovoljnu količinu podataka jer ta tehnika zahteva mnogo vremena. Nasuprot terenskim metodama, laboratorijska tehnika se češće koristi u simulaciji uslova setve, jer omogućava detaljnu analizu efikasnosti setvenog mehanizma, bez obzira na uticaj drugih faktora (npr. kotrljanje semena u brazdi, uticaj visine pada semena, vibracije) koji predstavljaju realne uslove. Kretanje sejalice po površini zemljišta je simulirano, dok su rotacija setvene ploče i snaga protoka vazduha kontrolisani elektronskom regulacijom pogonskog motora. Simulacija setve duž lepljive beskrajne trake je jedna karakteristična laboratorijska tehnika kod koje se dobija mali broj validnih uzoraka u jednoj sesiji merenja, dok su drugi nedostaci detaljno objašnjeni u Kocher i sar. (1998). Laboratorijska evaluacija kvaliteta setvenog mehanizma koristi napredne sisteme kao što su sistemi sa optičkim senzorima (Kocher i sar., 1998; Lan i sar., 1999). Sistem se sastoji od upravljačke jedinice spojene na računar i softvera za čitanje zapisa sa senzora koji meri vreme prolaska dva uzastopna semena i lokaciju prolaska semena preko senzora. Ove karakteristike se koriste za izračunavanje razmaka između semena pri simuliranoj setvi. Laboratorijsku procenu setvenih mehanizma uradili su Navid i sar. (2011) koristeći način obrade slike kao kod fotoaparata. Usporedna analiza izmerenih razmaka pomoću tehnike obrade slike i pomoću lepljive trake dalo je kalibracione karakteristike koje su ukazivale na visoke pouzdanost metode obrade slike. Autori ističu da je, u odnosu na optoelektronski sistem, obrada slike povoljnija jer nije osetljiva na veličinu semena ili na detekciju više semena. Karayel i sar. (2006) koristili su uređaj koji ima mogućnost detekcije slike velikom brzinom pri laboratorijskom merenju razmaka između semena. Sistem je testiran u uslovima visokofrekventnog protoka sitnih i velikih semenki da bi se utvrdio njegov rad u najkompleksnijim okolnostima. Snimanje je izvedeno pri merenju od 700 Hz korišćenjem softvera za obradu video zapisa. Zaključeno je da nije propušteno niti jedno seme i da je potvrđena preciznost tih podataka upoređivanjem sa podacima dobijenim standardnim načinom merenja pomoću lepljive trake. Nedostatak ove metode je komplikovan postupak dobijanja i obrade slika u odgovarajućem softveru.

Primarni cilj ovog istraživanja je potvrda mogućnosti korišćenja fotosenzora pri obradi podataka i slika u simuliranim uslovima. Takođe bismo želeli da otkrijemo snagu uticaja uočenih promenljivih na tačnost distribucije semena.

Materijal i metod rada

Teorijski prikaz realnih uticaja na putanju slobodnog pada zrna

Naredna analiza uzima u obzir sve faktore koji utiču na kretanje semena neposredno pre i posle napuštanja setvenog mehanizma, osim uticaja otpora vazduha i aerodinamike semena tokom pada. Kada napusti uređaj za sejanje, putanja semena najčešće se aproksimira kretanjem kosog hica sa horizontalnom i vertikalnom komponentom brzine, što dalje definiše opseg početne tačke pri izbacivanju. Kocher i sar. (1998) objasnili su zbog čega nije dovoljno samo da se odredi udaljenost zasejanih semena na osnovu izmerenih vremenskih intervala njihovog pada. Razlog je promenljivost putanje pada semena. Hipotetički posmatrano, vremenski interval između pada dva uzastopna semena se može razlikovati, iako su vremenski intervali izbacivanja semena identična, što uvodi dodatnu promenljivu. U tom smislu, rezultirajuća komponenta brzine pada semena imala je dominantan uticaj na lokaciju pada semena. Analiza je izvršena da bi se definisale komponente koje utiču na kinematiku semena.

U zavisnosti od konstrukcije setvenog mehanizma (prečnika setvene ploče i broja rupa) i željene brzine (frekvencije) setve, brzina kojom se kreće sejalice obično se razlikuje od periferne brzina setvene ploče, pa zbog toga horizontalna komponenta brzine setvene ploče najčešće ima smer koji se poklapa sa smerom kretanja sejalice. Intenzitet kotrljanja semena u otvorenoj brazdi proporcionalan je odnosu između horizontalne komponente brzine semena i brzine sejalice. Veća radna brzina uzrokuje da se razlika u brzinama između kretanja izbačenog semena i sejalice takođe povećava. Tako se povećava i verovatnoća da se pomeri seme u otvorenoj brazdi (Panning i sar., 2000). Pre nego što definišemo putanju semena, postoje promenljive koje se moraju uzeti u obzir, a koje nisu uzete u obzir pri laboratorijskom ispitivanju. Ove promenljive su trenutni vertikalni položaj setvenog mehanizma u odnosu na tlo, vrednost periferne brzine setvene ploče, početni položaj semena pre izbacivanja iz mehanizma za setvu (slika 1) i vibracije. U stvarnim uslovima setve, visina pada semena varira u određenim intervalima u zavisnosti od kvaliteta pripreme zemljišta što utiče na vreme pada semena. Takođe, u stvarnim terenskim uslovima, sejalice sa mehaničkim pogonom setvene ploče imaju nestacionaran odnos brzine kretanja sejalice i ugaone brzine setvene ploče zbog pojave „asinhronog prenosa“ i „pulsne rotacije“ koja utiče na promenu početne brzine semena. Asinhroni prenos je vremenski nekonzistentan kinematički odnos translatorne brzine sejalice i periferne brzine setvene ploče zbog promenljivog klizanja pogonskih točkova. Sa druge strane, pulsirajuća rotacija predstavlja harmonične pulsirajuće oscilacije setvene ploče koja nastaje kao posledica nejednakog prijanjanja između elemenata pogonskog prenosa (zupčanici menjača, prenosni zupčanici) nakon određenog perioda eksploatacije. Intenzitet vibracija i njihov uticaj na efikasnost setvenog mehanizma proučavali su Manquan i sar. (2012). Vibracije mašine sastoje se od periodičnih i nepravilnih komponenti sa različitim frekvencijama i amplitudama oscilacija uređaja koje bi mogle biti interesantne za neka buduća ispitivanja. Lokacija izbacivanja semena iz setvenog mehanizma utiče na odnos vertikalne i horizontalne komponente brzine pada semena. To zauzvrat menja osetljivost setvenog mehanizma i preciznost rada sejalice. Putanja semena je u prethodnim istraživanjima pojednostavljena od strane autora. Grubo rečeno, prihvata se da putanji kretanja semena odgovara putanji kosog hica, izostavljajući faktore koji utiču na početne uslove kretanja semena. Kretanje izbačenog semena posmatrano je kao faktor na koji utiču početni uslovi kretanja semena posle izbacivanja iz setvene ploče.

Posmatrajmo sliku 1. Neka je \vec{v}_0 početni vektor čije su projekcije na x i y osu vektori $v_{0x}\vec{i}$ i $v_{0y}\vec{j}$ redom. Tada je

$$\vec{v}_0 = v_{0x}\vec{i} + v_{0y}\vec{j}. \quad (1)$$

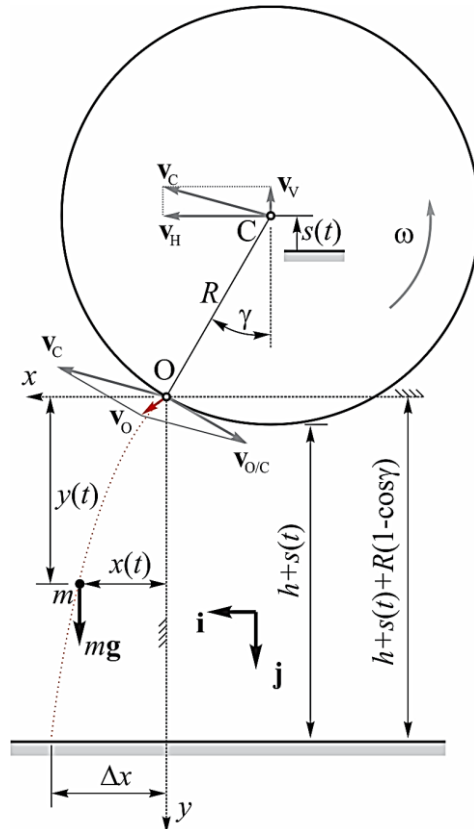
Ako postoji vertikalno pomeranje tačke C (centra setvene ploče) tada za početni vektor \vec{v}_0 važi

$$\begin{aligned} \vec{v}_0 &= \vec{v}_C + \vec{v}_{O/C} = \vec{v}_H + \vec{v}_V + \vec{v}_{O/C} = \vec{v}_H - \dot{s}\vec{j} + \vec{v}_{O/C} \\ &= v_H\vec{i} - \dot{s}\vec{j} + (-R\omega \cos\gamma\vec{i} + R\omega \sin\gamma\vec{j}) \\ &= (v_H - R\omega \cos\gamma)\vec{i} + (R\omega \sin\gamma - \dot{s})\vec{j} \end{aligned}$$

pa, koristeći (1) imaćemo

$$v_{0x} = v_H - R\omega \cos\gamma, \quad v_{0y} = R\omega \sin\gamma - \dot{s}(t), \quad (2)$$

gde je \bar{t} – vreme kada je seme napustilo setvenu ploču (počinje sa kretanjem po putanji iz tačke O), $\bar{\omega}$ – ugaona brzina setvene ploče u vremenu \bar{t} , $\dot{s}(\bar{t})$ – brzina centra setvene ploče u vremenu \bar{t} u vertikalnom pravcu, R – poluprečnik setvene ploče, γ - ugao koji definiše poziciju mesta na kojem je seme napustilo setvenu ploču i v_H brzina sejalice.



Slika 1. Kinematika izbačenog zrna
Figure 1. Kinematic of ejected seed

Početni uslovi za slobodan pad u fiksnoj x-y ravni su

$$x(\bar{t}) = 0, \quad (3)$$

$$y(\bar{t}) = 0, \quad (4)$$

$$\dot{x}(\bar{t}) = v_{Ox} = v_H - R \bar{\omega} \cos \gamma, \quad (5)$$

$$\dot{y}(\bar{t}) = v_{Oy} = R \bar{\omega} \sin \gamma - \dot{s}(\bar{t}). \quad (6)$$

Prema drugom Njutnovom zakonu o kretanju, za slobodan pad zrna važi $m \mathbf{a} = m \mathbf{g}$, i njegove projekcije na koordinatne ose (diferencijalne jednačine kretanja) su:

$$\ddot{x} = 0, \quad (7)$$

$$\ddot{y} = g. \quad (8)$$

Integraljenjem jednačine (7) dva puta uz korišćenje početnih uslova (3) i (5) dobijamo

$$x(t) = v_{0x}(t - \bar{t}), \quad (9)$$

a ako (8) integralimo dva puta i ako primenimo (4) i (6), imaćemo

$$y(t) = \frac{1}{2} g (t - \bar{t})^2 + v_{0y}(t - \bar{t}). \quad (10)$$

Određivanje dometa

Ako eliminišemo vreme t iz jednačina kretanja (9) i (10), jednačina putanja zrna postaje

$$y(t) = \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_{0x}} \right)^2 + v_{0y} \left(\frac{x}{v_{0x}} \right). \quad (11)$$

Koordinata x postaje opseg Δx za $y = h + s(\bar{t}) + R(1 - \cos \gamma)$. Tada iz (11) sledi

$$\Delta x = \frac{v_{0x}}{g} \left(-v_{0y} + \sqrt{(v_{0y})^2 + 2gh + 2g s(\bar{t}) + 2gR(1 - \cos \gamma)} \right), \quad (12a)$$

odnosno

$$\Delta x = \frac{v_H - R \bar{\omega} \cos \gamma}{g} \left(-R \bar{\omega} \sin \gamma + \dot{s}(\bar{t}) + \sqrt{(R \bar{\omega} \sin \gamma - \dot{s}(\bar{t}))^2 + 2gh + 2g s(\bar{t}) + 2gR(1 - \cos \gamma)} \right), \quad (12b)$$

gde je $s(\bar{t})$ – kretanje centra setvene ploče u vertikalnom pravcu u vremenu \bar{t} .

Određivanje vremena slobodnog pada zrna

U krajnjem vremenu $t = t_k$, kada seme završi svoje kretanje, njegova x koordinata, na osnovu (9), (12a) i (12b), je $x(t_k) = \Delta x = v_{0x}(t_k - \bar{t})$, pa je vreme slobodnog pada zrna

$$\Delta t = t_k - \bar{t} = \frac{1}{g} \left(-R \bar{\omega} \sin \gamma + \dot{s}(\bar{t}) + \sqrt{(R \bar{\omega} \sin \gamma - \dot{s}(\bar{t}))^2 + 2gh + 2g s(\bar{t}) + 2gR(1 - \cos \gamma)} \right) \quad (13)$$

Kreiranje eksperimenata u laboratoriji

U ovom istraživanju korišćen je mehanizam za sejanje Massey Fergusson 555 nadpritiskom vazdušnom strujom. Prečnik diska je 320 mm sa 30 ćelija po obodu. Analiza tačnosti distribucije semena temeljila se na podacima iz merenja rastojanja između semena u simuliranim uslovima, koristeći pripremljenu konfiguraciju u laboratoriji. Rotacija setvene ploče bila je regulisana promenom brzine pogonskog motora sa regulatorom frekvencije u opsegu od 0 do 25 obrtaja, što daje maksimalnu setvenu frekvenciju od 12 semena u sekundi. Ventilator je pokretan od strane nezavisnog elektromotora, dok je protok vazduha podešavan promenom broja obrtaja pogonskog motora ventilatora. Kontrola pritiska vršena je vizuelno korišćenjem analognog manometra. Ceo sistem instaliran je na čvrstom postolju. Ispitivanja su izvedena na setvenoj ploči SP1 (br. 852434) sa „većim ćelijama“ i ploči SP2 (br. 852435) sa „manjim ćelijama“ (sl. 2), pri pritisku od 254 Pa i 635 Pa sa četiri brzine rotacije setvene ploče (6, 12, 19 i 26 o/min). Brzina rotacije setvene ploče izračunata je na osnovu željenog rastojanja između semenki i

simulirane brzine sejalice ($v_{S1} = 0,6$ m/s; $v_{S2} = 1,2$ m/s; $v_{S3} = 1,9$ m/s; $v_{S4} = 2,5$ m/s). Podešen razmak setve iznosio je 0,2 m što se nije promenilo tokom testiranja. Ispitivanje je izvršeno korišćenjem sedam frakcija semena kukuruza. Prosečne dimenzije oblika semena kao i njegovi parametri dobijeni su na osnovu analize 1000 semena (tabela 1) koji su upoređivani korišćenjem ANOVA testa za $p=0,05$. Dimenzije semena merene su pomičnim merilom (nonijus) tačnosti 0,01 mm. Sferičnost zrna izračunata je prema modelu iz rada Davies i Zibokere (2011). Aritmetički srednji prečnik, geometrijski srednji prečnik i površina zrna izračunati su na isti način kao i kod Altuntas i Yildiz (2007):

$$Sp = \frac{\sqrt[3]{LWT}}{L} \cdot 100 \quad (14)$$

$$Da = \frac{L + W + T}{3} \quad (15)$$

$$Dg = \sqrt[3]{LWT} \quad (16)$$

$$S = \pi D g^2 \quad (17)$$

gde je Sp sferičnost, Da srednji aritmetički prečnik, Dg srednji geometrijski prečnik, S površina površi, L dužina, V širina i T debljina.

Na osnovu rezultata ispitivanja ANOVA (tabela 1), evidentno je da se frakcije značajno razlikuju u najmanje jednoj dimenziji. Indikatori oblika pokazuju blagu razliku između grupa podataka kod kojih je primećena sličnost (F-2 i F-4 frakcije i F-5 i F-6 frakcije).

Tabela 1.

ANOVA analiza dimenzija i oblika zrna kukuruza različitih frakcija

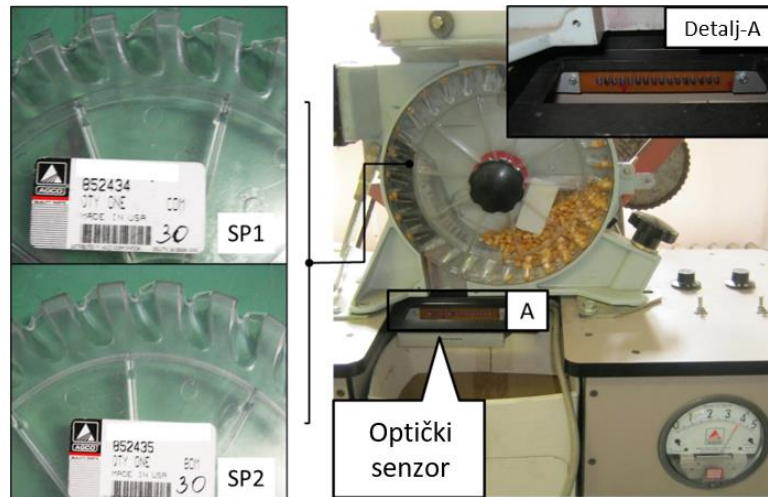
Table 1.

ANOVA analysis of dimension parameters of corn seed varieties

Frakcija	Masa 1000 zrna	Dužina, mm	Širina, mm	Debljina, mm	Sferičnost, % (Sp)	Aritmetički prečnik, mm (Da)	Geometrijski prečnik, mm (Dg)	Površina, mm ² (S)
F-1	266	10.34 ^b ±0.90	8.09 ^b ±0.72	5.14 ^b ±1.06	0.73 ^b ±0.09	7.85 ^b ±0.41	7.49 ^b ±0.50	177.03 ^b ±23.88
F-2	228	10.33 ^b ±0.78	7.60 ^a ±0.47	4.83 ^{ab} ±0.86	0.70 ^{ab} ±0.07	7.58 ^a ±0.36	7.20 ^a ±0.42	163.43 ^a ±19.03
F-3	287	10.7 ^{bc} ±0.63	8.72 ^c ±0.52	4.98 ^b ±0.86	0.72 ^b ±0.06	8.13 ^c ±0.36	7.72 ^b ±0.46	187.54 ^b ±22.81
F-4	233	10.59 ^{bc} ±0.75	7.41 ^a ±0.46	4.53 ^a ±0.42	0.67 ^a ±0.04	7.51 ^a ±0.28	7.07 ^a ±0.26	157.12 ^a ±57.12
F-5	256	9.28 ^a ±0.84	7.57 ^a ±0.76	6.23 ^c ±0.64	0.82 ^c ±0.07	7.69 ^{ab} ±0.47	7.57 ^b ±0.47	180.64 ^b ±22.18
F-6	284	10.84 ^c ±0.49	8.56 ^c ±0.47	4.73 ^{ab} ±0.59	0.70 ^{ab} ±0.04	8.04 ^c ±0.30	7.58 ^b ±0.37	180.98 ^b ±17.19
F-7	321	9.43 ^a ±0.67	8.87 ^c ±0.76	6.76 ^d ±0.74	0.88 ^d ±0.05	8.35 ^d ±0.43	8.24 ^c ±0.44	214.01 ^c ±22.83

*Slova predstavljaju različite klase dobijene pomoću ANOVA analize sa nivoom značajnosti od $p=0,05$

Laboratorijski eksperiment je sproveden kao slučajni blok dizajn sa ukupno 112 ispitivanja u kojima su učestvovali svi nezavisni parametri (2 setvene ploče × 2 pritiska vazduha × 4 obrtaja × 7 frakcija). Svaka sesija merenja generisala je 299 vrednosti rastojanja između sukcesivnih semena, što je ukupno bilo oko 33.000 uzoraka.



Slika 2. Setveni mehanizam uređaj sa instaliranim foto-senzorom (diodni paneli) sa setvenim pločama SP1 i SP2

Figure 2. Seed metering device with installed photo-sensor (diode panel) with seeding plates SP1 and SP2

Metod za analiziranje uticaja raznih faktora na preciznost setve

U poljoprivrednim studijama, prvo je korišćen metod dizajna eksperimenata (DOE) (Fisher, 1925). Prednost ove metode je uključivanje kategoričkih ulaznih faktora u analizu eksperimentalnih podataka kao i mogućnosti za određivanje uticaja ne samo faktora unosa već i njihovih međusobnih interakcija. To se postiže promenom različitih faktora istovremeno i određivanjem njihovih odnosa korišćenjem jednačine sa više promenljivih.

U ovom radu korišćen je celokupni faktorski dizajn (Montgomery i Runger, 2011) sa četiri ulazna faktora (tabela 2). Dva ulazna faktora su kategorije: setvena ploča (faktor A) sa dva nivoa i frakcija semena sa sedam nivoa (F1, F2, F3, F4, F5, F6 i F7). Druga dva ulazna faktora su brojeva: pritisak vazduha na dva nivoa i brzina rotacije setvene ploče sa četiri nivoa (6, 12, 19 i 26 o/min). Ukupno 112 testiranja sa kombinacijom svih ulaznih faktora sa svim nivoima izvedena su pomoću softvera sa tri nezavisna merenja za svaki test. Na osnovu rezultata merenja, statističkom obradom podataka utvrđeni su su: standardna devijacija, koeficijent varijacije, indeks kvaliteta setve, indeks višestruke setve i indeks propusta na osnovu ISO 7256/1. Indeks propusta (M_i) je procenat razmaka većeg od 1,5 puta postavljena udaljenost pri sadnji (α).

$$M_i = \frac{N_{miss}}{N_{total}} \times 100 \quad (18)$$

gde je N_{miss} broj razmaka veći od $1,5 \times \alpha$ i N_{total} je ukupan broj merenih razmaka. Indeks višestruke setve je procenat razmaka koji je manji od polovine postavljenih razmaka

$$M_{ui} = \frac{N_{multiple}}{N_{total}} \times 100 \quad (19)$$

gde je $N_{multiple}$ broj razmaka manjih od $1,5 \times \alpha$.

Tabela 2.

Lista ulaznih faktora i njihovi nivoi

Table 2.

List of input factors with their levels

Ulazni faktori	Donja vrednost	Gornja vrednost	Nivoi
Setvena ploča	SP1	SP2	2
Frakcija semena	F1	F7	7
Pritisak vazduha (Pa)	254	635	2
Brzina setvene ploče (o/min)	6	26	4

Osnovni statistički parametri (srednja vrednost, minimalna i maksimalna vrednost i standardno odstupanje) dati su u tabeli 3. U cilju stabilizacije variranja podataka i formiranje distribucije koja će biti što bliža normalnoj distribuciji, koristi se transformacija dobijenih odgovora (Montgomery, 2001). Transformacije često imaju malo uticaja kada je odnos maksimalnih i minimalnih vrednosti posmatranih odgovora manji od 2 ili 3, dok odnos veći od 10 obično označava da je transformacija potrebna. Za izbor te transformacije, u ovom radu, korišćena je Box-Cox metoda. Predlaže se transformacija kvadratnim korenom za indeks višestruke setve i logaritamska transformacija za indeks propusta. Normalna raspodela reziduala i reziduala u poređenju sa predviđenim vrednostima odgovora, koristi se za proveru normalnosti i homogenosti, redom.

Tabela 3.

Lista posmatranih odgovora sa statističkim podacima

Table 3.

List of observed responses with descriptive statistics

Odziv		Min	Max	Srednja vrednost	Std. Dev.
R1(SD)	St. Dev.	9,52	22,50	16,83	2,72
R2(CV)	Koef. varijacije	5,88	15,25	9,01	1,54
R3(Qfi)	Indeks kvaliteta setve	3,31	99,02	73,96	23,41
R4(Mu)	Indeks višestruke setve	0,33	46,05	18,67	12,28
R5(Ms)	Indeks propusta	0	50	7,32	12,49

Za određivanje značaja uticaja ulaznih (glavnih) faktora i međusobnih interakcija između dva od njih (2fi), korišćena je metoda analize varijance (ANOVA). ANOVA tabele (sastoje se od zbira kvadrata (SS), stepen slobode (dF), srednje kvadratne greške (MSE), F-vrednosti i p-vrednosti za glavne faktore i 2fi) dati su za sve odgovore. Faktori sa p-vrednostima manjim od 0,05 označeni su kao statistički značajni.

Rezultati i diskusija

Sveobuhvatna analiza uticaja svih promenljivih (setvena ploča, frakcija semena, pritisak vazduha i brzina rotacije setvene ploče) na uniformnost rastojanja između semena izražena je koeficijentom varijacije (CV), indeksom kvaliteta setve (QFi), indeksom propusta (Ms) i indeksom višestruke setve (Mu) što je predstavljeno u nastavku rada. Standardna devijacija nije data jer se ona nalazi u formuli za CV. Na osnovu rezultata dobijenih korišćenjem ANOVA (tabela 4), zaključeno je da su ulazni faktori, kao što su frakcija semena ($p < 0,05$) i brzina rotacije setvene ploče, imali je statistički značajan uticaj ($p < 0,0001$) na CV. Brzina rotacije setvene ploče imala je najjači uticaj na disperziju razmaka između semena što se jasno vidi iz nagiba ugla na slici 6a. Brzina rotacije setvene ploče je u pozitivnoj korelaciji sa CV-om, što je uobičajeno kod svih vrsta setvenih mehanizama, uzimajući u obzir prethodne rezultate drugih autora. To znači da je pri 6 o/min setvene ploče dobijeno najmanje odstupanje razmaka između

semena (CV=10,67%), dok je pri 26 o/min došlo do značajno veće vrednosti CV-a (36,97%). Pri brzinama od 6 do 12 o/min na grafikonu se vidi strmiji nagib u odnosu na opseg od 12 do 26 o/min, što ukazuje na opadajući uticaj kako se brzina setvene ploče povećava. U stvarnim poljskim uslovima, brzina rotacije setvene ploče je u direktnoj proporciji sa brzinom kojom se kreće sejalice, pa otuda je njen uticaj na kvaliteta semena veći zbog mogućeg pomeranja semena i poskakivanja u otvorenoj brazdi. Pri laboratorijskom ispitivanju, u našem slučaju, vrlo je moguće da je povećana brzina setvene ploče povećala izobličavanje putanje padajućeg semena usled većih razlika u početnim impulsima između dva uzastopna semena i uočljivim razlikama uticaja otpora vazduha na opseg pada semena.

Tabela 4.

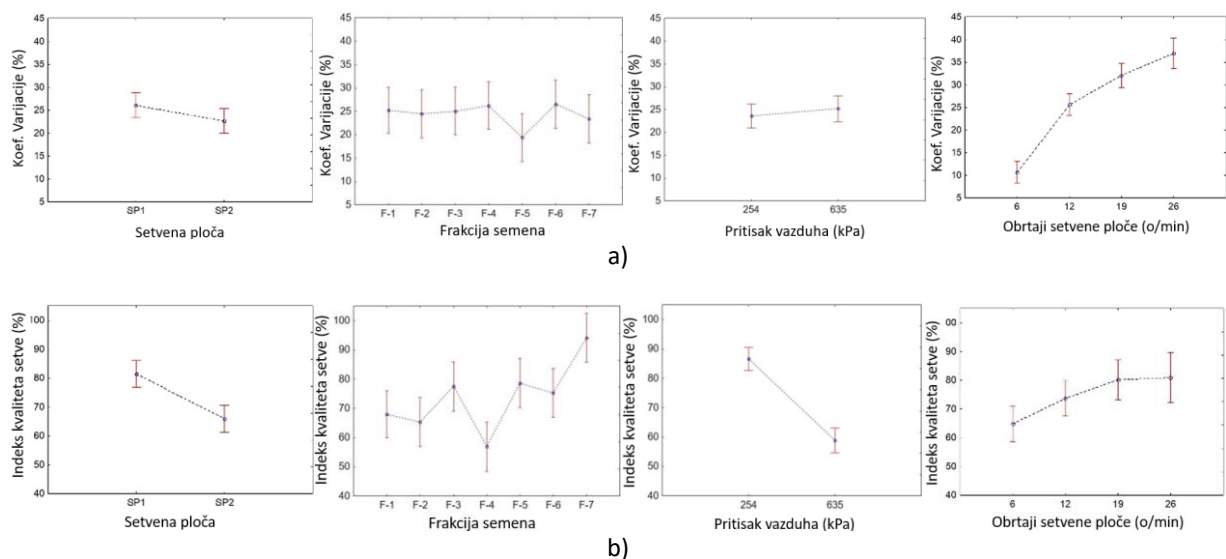
ANOVA tabela za CV

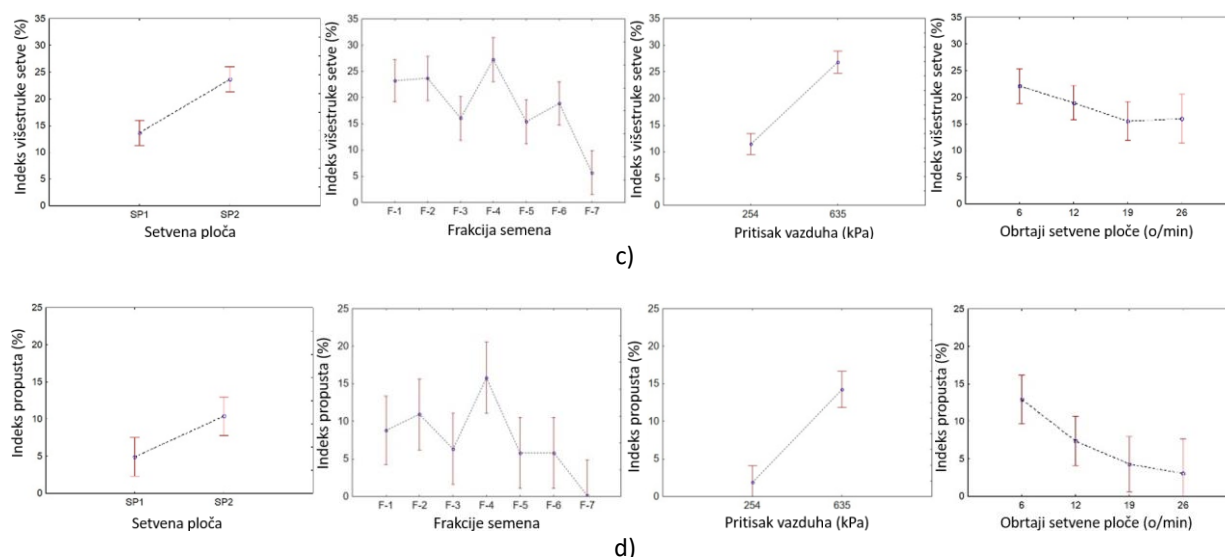
Table 4.

ANOVA table for CV

St. dev.	SS	df	MSE	F-vrednost	p-vrednost
Model	527,38	48	10,99	2,4	0,0006
A-A	0,94	1	0,94	0,21	0,652
B-B	78,86	6	13,14	2,87	0,0154
C-C	2,49	1	2,49	0,54	0,464
D-D	202,78	3	67,59	14,77	< 0,0001
AB	57,38	6	9,56	2,09	0,067
AC	0,021	1	0,021	0,005	0,946
AD	29,14	3	9,71	2,12	0,106
BC	4,43	6	0,74	0,16	0,986
BD	130,1	18	7,23	1,58	0,094
CD	21,23	3	7,08	1,55	0,211
Ostatak	288,25	63	4,58		
Total	815,62	111			

Napomena: A-setvena ploča; B- frakcija semena; C- pritisak duvanja vazduha i D-brzina obrtanja setvene ploče





Slika 4. Efekti faktora na izračunate parametre: (a) CV, (b) Indeks kvaliteta setve, (c) Indeks višestruke setve, (d) Indeks propusta

Figure 4. Effects of variables on calculated parameters of Coeff. of Var. (a), Quality of feed index (b), Multiple index (c), Miss index (d)

Teško je odrediti nivo uticaja frakcija semena na dobijene CV-e na slici 4a; međutim, tabela 4 jasno pokazuje da je parametar frakcija semena uticala na vrednost CV-e i takođe da postoji značajna interakcija između parametara tip setvene ploče i intenzitet brzine rotacije setvene ploče. Najbolji učinak ostvaren je sa F-5 frakcijom semena (CV = 19,4%) što je za očekivati zbog njegovog visokog stepena sferičnosti (82%). CV-e za ostale frakcije su bili u uskom rasponu 23,4–26,5%. Zbog toga, treba napomenuti da je svako seme imalo specifični oblik i da je poprimalo nepredvidiv položaj unutar ćelije (otvora) u setvenoj ploči. To je sigurno uticalo na početnu kinematiku semena u trenutku izbacivanja što je ranije opisano. Na taj način oblik i veličina rupa u setvenoj ploči mogu povećati ili smanjiti uticaj oblika semena na preciznost setve (tabela 4, $p = 0,067$). Uopšteno govoreći, promene razmaka između semena za sve frakcije semena nisu bile statistički značajne pri $p=0,05$, osim u slučaju semena F-5, gde je postojala značajna razlika u odnosu na ostale frakcije koje su korišćene pri testiranju. Vizuelnim pregledom, tokom procesa ispitivanja, veće devijacije putanje ravnog semena otkrivene su zbog većeg uticaja aerodinamike i otpornosti vazduha, što nije bio slučaj sa okruglim semenima. Ovo tvrđenje potkrepljeno je rezultatima kvaliteta setve datih na slici 4 gde je očigledno najniži kvalitet setve za frakciju F-4 koja ima najmanju sfernost (0,67%) i drugu najmanju masu 1000 semenki (233 g, tabela 1).

Veći udeo pljosnatih semenki u datoj frakciji doprineo povećanju odstupanja od zadatih razmaka. Kao rezultat promene brzine rotacije setvene ploče dobijena je najveća razlika između CV-e grupe podataka. Takođe, interakcija AB (setvena ploča i frakcija semena) imala je primetan uticaj na CV. Kod setvene ploče SP1, postojale su veće promene u razmaku između semena u poređenju sa setvenom pločom SP2, ali to nije imalo značajan uticaj na preciznost setve, kao i na parametar pritiska vazduha.

U slučaju parametara indeks kvaliteta setve, svi glavni faktori imali su statistički značajan uticaj ($p < 0,0001$, ANOVA, tabela 5). AC, BC i CD (2fi faktora C sa svim ostalim faktorima) su interakcije koje su navedene kao značajne. Najveći uticaj zabeležen je kod faktora pritiska vazduha (sl. 4b) i faktora frakcije semena, a zatim kod faktora brzina rotacije setvene ploče i vrste setvene ploče. Vrednosti pritiska vazduha su presudne za hvatanje i držanje semena tokom procesa transporta setvenim mehanizmom. Ako pritisak vazduha nije dobro podešen za određenu vrstu sejalice, mogu nastati problemi poput većeg broja propusta ili pojave višestrukih semena pri setvi. Pri nižem pritisku vazduha dobijeni su znatno bolje rezultati (86,6% razmaka između semena je bilo u traženom opsegu), dok je pri visokom vazdušnom pritisku bilo samo 58,4% razmaka između semena u traženom opsegu. Takođe, frakcija semena bila je drugi najuticajniji faktor, što je ukazivalo na značaj uticaja oblika semena na učinak setve. Frakcija semena F-7 imala je najveći uticaj u svim testiranim kombinacijama na parametar Indeks kvaliteta setve (QFi = 94,1%). Ovo može se objasniti činjenicom da se frakcija F-7 u svim predstavljenim parametrima oblika razlikuje od ostalih. Posmatrajući oblik zrna, pokazalo se da su semena F-7 najveća i najteža (tabela 1) što je u skladu sa ranijim tvrđenjem. Setvena ploča SP1 je postigla bolje rezultate pri setvi (QFi = 81,4%) u odnosu na SP2 (QFi = 65,8%). Parametar brzina rotacije setvene ploče linearno utiče (unutar opsega 6–19 o/min) na indeks kvaliteta setve, ali dobijene razlike nisu bile značajne. Kako se brzina rotacije setvene ploče povećavala, Indeks kvaliteta setve takođe je porastao na 80,92%. Pri

rotacionim brzinama setvene ploče 19 o/min i 26 o/min, dobijene su gotovo iste vrednosti za QFi. Ovaj fenomen bi mogao biti rezultat intenzivnog mešanja semena pri većim brzinama rotacije setvene ploče. Drugi razlog je veća centrifugalna sila koja je važan faktor dobrog držanja semena kod ovakvih tipova setvenih ploča koje imaju otvore za seme postavljene sa spoljašnje strane. Najjača kombinacija uticaja različitih faktora na Indeks kvaliteta setve zabeležena je pri promeni frakcije semena i pri promeni pritiska vazduha. Interakcije između tipa setvene ploče i pritiska vazduha, kao i između pritiska vazduha i brzine rotacije setvene ploče, imale su slične uticaje na indeks kvaliteta setve. Očigledan zaključak se sada može izvesti: pritisak duvanja vazduha imao je veliki uticaj na varijacije indeksa kvaliteta setve zbog njegovog samostalnog uticaja kao i zbog njegovog uticaja kada deluje zajedno sa nekim drugim faktorom.

Tabela 5.

ANOVA tabela za Indeks kvaliteta setve

Table 5.

ANOVA table for quality of feed index

	SS	df	MSE	F-vrednost	p-vrednost
Model	52901,81	48	1102,12	8,2	< 0,0001
A-A	6309	1	6309	46,96	< 0,0001
B-B	12965,22	6	2160,87	16,08	< 0,0001
C-C	19047,79	1	19047,79	141,77	< 0,0001
D-D	3881,8	3	1293,93	9,63	< 0,0001
AB	1100,81	6	183,47	1,37	0,2424
AC	869,14	1	869,14	6,47	0,0134
AD	420,74	3	140,25	1,04	0,3794
BC	4354,84	6	725,81	5,4	0,0001
BD	2307,48	18	128,19	0,95	0,5209
CD	1645	3	548,33	4,08	0,0103
Ostatak	8464,38	63	134,36		
Total	61366,2	111			

Slično kao i kod Indeksa kvaliteta setve, svi glavni faktori imali su statistički značajan uticaj na indeks višestruke setve istim redosledom uticaja faktora (tabela 6). Dakle, pritisak vazduha i frakcija semena imali su vrlo jak uticaj na učestalost pojave višestrukih semena (sl. 4c). Pokazalo se da je vazdušni pritisak od 254 kPa prihvatljiviji od 635 kPa zbog mnogo manjeg broja pojave višestrukih semena. To bi se moglo objasniti na sledeći način: veći pritisak vazduha jača vezu između semena i setvene ploče, pa je komplikovaniji proces čišćenja suvišnog semena tokom rotacije ploče što može uticati na pojavu višestrukosti semena. ANOVA test potvrdio je da povećanje vazdušnog pritiska, generalno, proizvodi više višestrukih semena (26,8%) nego pri manjem vazdušnom pritisku (11,5%). Suprotna situacija je zabeležena u slučaju brzine rotacije setvene ploče. Pri brzinama rotacije setvene ploče od 19 o/min i 26 o/min dobijeni su gotovo isti rezultati (oko 15%) u pogledu broja propusta. Međutim, pri brzinama od 6 o/min i 12 o/min došlo je do znatno većeg broja propusta (do 22%). Frakcija semena pokazala se kao vrlo važan faktor pri pojavi višestrukih semena. Setveni mehanizam verovatno teže razdvaja više ravnih semena u odnosu na više okruglih semena zbog veće mogućnosti da se više ravnih semena sjedine u jednoj ćeliji setvene ploče. U tom smislu, rezultati su ukazivali na različite nivoe uticaja svake frakcije semena na broj višestrukih semena. Kao što su vidi na slici 6c, odnos frakcije semena i indeksa višestrukih semena ne može se opisati adekvatnom funkcijom zbog fluktuacije (nestabilnosti) rezultata. Frakcija F-7 ističe se sa najmanjom količinom pojave višestrukih semena (5,65%) među svim zabeleženim razmacima između semena. Pri testiranju predstavljenim u ovom radu, setvena ploča SP1 imala je bolju efikasnost od SP2 jer je proizvela znatno manji prosečan broj pojave višestrukih semena (13,63%). Na osnovu tabele 6, vidi se značajan uticaj kombinovanih faktora AC i BC na indeks višestruke setve. Opet, faktor pritisak vazduha figuriše kod obe kombinacije interakcija, što dokazuje njegov visoki uticaj na indeks višestrukih semena.

Tabela 6.

ANOVA tabela za Indeks višestruke setve

Table 6.

ANOVA table for multiple index

	SS	df	MSE	F-vrednost	p-vrednost
Model	260,88	48	5,44	16,5	< 0,0001
A-A	50,69	1	50,69	153,89	< 0,0001
B-B	87,51	6	14,58	44,28	< 0,0001
C-C	100,41	1	100,41	304,83	< 0,0001
D-D	6,19	3	2,06	6,27	0,0009
AB	1,06	6	0,18	0,54	0,7781
AC	2,82	1	2,82	8,57	0,0048
AD	0,12	3	0,039	0,12	0,9496
BC	6,32	6	1,05	3,2	0,0083
BD	5,66	18	0,31	0,95	0,52
CD	0,097	3	0,032	0,098	0,961
Ostatak	20,75	63	0,33		
Total	281,63	111			

Pokazano je da faktori A, B, C, D i interakcije AC, BC imaju statistički značajan uticaj na indeks višestruke setve (tabela 7). Prema slici 6d, a iz pomenutih interakcija, proizlazi da je faktor C imao najveći uticaj, a zatim faktori B, D i A. Pri pritisku vazduha od 254 kPa, došlo je do statistički značajno manjeg broja propusta (1,4%) u odnosu na vazdušni pritisak od 635 kPa (14,6%). Veći pritisak vazduha proizveo je jače duvanje vazduha kroz rupe na setvenoj ploči što može uticati na turbulentno kretanje vazduha, a samim tim i na vibracije i loše držanje semena. Testovi sa SP1 pokazali su da se samo 4,9% razmaka nalazilo u očekivanim granicama razmaka, ali sa SP2 ih je bilo više nego duplo. Moglo bi se reći da setvena ploča SP2 nije bila pravilno oblikovana za korišćenje raznih frakcija semena, pa je to prouzrokovalo da seme ispadne pre nego što dostigne tačku izbacivanja. Frakcija F-7 imala najbolje rezultate u pogledu pouzdanosti setve jer je ova frakcija imala najmanji prosečan broj propusta (samo 0,12%), dok su najgori rezultati postignuti za frakciju F-4 (15,4% propusta). Spomenute razlike u udeli propusta u svim zabeleženim razmacima sugerišu da je oblik semena uglavnom odgovoran za dobijenu populaciju biljaka u polju. To je ključna komponenta za profitabilnost useva u poređenju s drugim aspektima kvaliteta setve. Kod slika 6b i 6c, slični su grafikoni dobijeni za indeks propusta i indeksa višestruke setve. Kao što slika 6d pokazuje, fokus treba da bude na podešavanju pritiska vazduha i izboru frakcije semena. Dobijena je negativna korelacija između indeksa propusta i brzina rotacije setvene ploče. Kada poraste brzina setvene ploče, broj propusta opada, otuda i najmanja frekvencija propusta je otkrivena pri brzini od 26 o/min (3,0%), a najveća pri 6 o/min (12,9%). Intezitet pritiska vazduha, osim što utiče na indeks propusta, takođe je pokazao značajan međusobni uticaj između setvene ploče i frakcije semena, što potvrđuje prethodno iznešena tvrđenja.

Tabela 7.

ANOVA tabela za Indeks propusta

Table 7.

ANOVA table for miss index

	SS	df	MSE	F-vrednost	p-vrednost
Model	39,71	48	0,83	4,35	< 0,0001
A-A	1,28	1	1,28	6,72	0,0119
B-B	10,27	6	1,71	9	< 0,0001
C-C	12,86	1	12,86	67,58	< 0,0001
D-D	2,78	3	0,93	4,86	0,0042
AB	1,84	6	0,31	1,61	0,1592
AC	2,76	1	2,76	14,53	0,0003
AD	0,068	3	0,023	0,12	0,9487
BC	4,58	6	0,76	4,01	0,0018
BD	2,32	18	0,13	0,68	0,8195
CD	0,96	3	0,32	1,68	0,18
Ostatak	11,98	63	0,19		
Total	51,69	111			

Zaključci

Tokom ispitivanja u laboratorijskim uslovima, utvrđeno je da je brzina rotacije setvene ploče ($p=0,0001$) imala je najznačajniji uticaj na odstupanje u rastojanjima između semena, a nakon nje sledi frakcija semena ($p=0,01$). Ustanovljeno je da na indeks kvaliteta setve najviše utiču pritisak vazduha i frakcija semena, dok su pritisak vazduha i frakcija semena bili najuticajniji faktori pri pojavi propusta i višestrukih semena. Za testiranu sejalicu i za definisane optimalne kriterijume, najbolji rezultat postignut je kod setvene ploče SP1, najveća sfernost sa frakcijom (F7), najniži pritisak vazduha i brzina rotacije od 19 o/min.

Dobijeni rezultati daju korisne informacije proizvođačima u postupku odabira setvenog mehanizma, semene frakcije i režim rada setvenog mehanizma kako bi osigurali najbolji ishod setve.

Zahvalnica

Ovu studiju je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (ugovor 451-03-68/2020-14/ 200117kat: TR-31046).

Literatura

- Altuntas, E., Yildiz, M., 2007. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba*) grains. *J. Food Eng.* 78, 174–183.
- Biddoccu, M., Ferraris, S., Opsi, F., Cavallo, E., 2016. Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North–West Italy). *Soil. Till. Res.* 155, 176–189.
- Bracy, R.P., Parish, R.L., McCoy, J.E., 1998. Precision seeder uniformity varies with theoretical spacing. ASAE Paper No. 981095. ASAE, St. Joseph, MI.
- Brooks, D., Church, B., 1987. Drill performance assessments: a changed approach. *British Sugar Beet Rev.* 55 (4), 50–51.
- Cay, A., Kocabiyik, H., May, S., 2018. Development of an electro-mechanic control system for seed-metering unit of single seed corn planters Part I: Design and laboratory simulation. *Comput. Electron. Agric.* 144, 71–79.
- Celik, A., Ozturk, I., Way, T.R., 2007. Effect of various planters on emergence and seed distribution uniformity of sunflower. *Appl. Eng. Agric.* 23 (1), 57–61.
- Davies, R.M., Zibokere, D.S., 2011. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of three varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) walp). *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 13 (1).
- Farooq, M., Siddique, K.H.M., 2015. Conservation agriculture: Concepts, brief history, and impacts on agricultural systems. In: Farooq, M., Siddique, K.H.M. (Eds.), *Conservation Agriculture*. Springer International Publishing Switzerland, pp. 3–17.
- Fisher, R.A., 1925. *Statistical Methods for Research Workers*. Edinburgh, Oliver and Boyd.
- Fornstrom, K.J., Miller, S.D., 1989. Comparison of sugar beet planters and planting depth with two sugar beet varieties. *J. Am. Soc. Sugar beet Technol.* 26 (3–4), 10–16.
- Griepentrog, H.W., 1998. Seed distribution over the area. *EurAgEng.* 98-A-059, Oslo.
- Heege, H.J., 1993. Seeding methods performance for cereals, rape and beans. *Trans. ASAE* 36 (3), 653–661.
- Hofman, V., 1988. Maximum yields need accurate planting. *The Sunflower* 14 (1), 10–11.
- Hollewell, W., 1982. Drill performance assessments. *British Sugar Beet Rev.* 50 (3), 13–15.
- Irla, E., Heusser, J., 1991. Einzelkornsämaschinen im Vergleich. *Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT)-Berichte* 401, Taenikon TG.
- ISO, 1984. Sowing equipment- Test methods. Part 1: Single seed drills (precision drills). ISO Standard 7256/1-1984 (E). Geneva. Switzerland: ISO.
- Jaggard, K., 1990. Are there too many beets in our fields? *British Sugar Beet Rev.* 58 (1), 6–9.
- Kachman, S.D., Smith, J.A., 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Trans. ASAE* 38 (2), 379–387.
- Karayel, D., Ozmerzi, A., 2002. Effect of tillage methods on sowing uniformity of maize. *Can. Biosyst. Eng.* 44 (2), 23–26.
- Karayel, D., Wiesehoff, M., Özmerzi, A., Müller, J., 2006. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. *Comput. Electron. Agric.* 50, 89–96.
- Kassam, A., Derpsch, R., Friedrich, T., 2014. Global achievements in soil and water conservation: The case of Conservation Agriculture. *ISWCR* 2 (1), 5–13.
- Kocher, M.F., Lan, Y., Chen, C., Smith, J.A., 1998. Opto-electronic sensor system for evaluation of planter seed spacing uniformity. *Biol. Syst. Eng.* 41 (1), 237–245.
- Kostić, M., Rakić, D., Savin, L., Dedović, N., Simikić, M., 2016. Application of an original soil tillage resistance sensor in spatial prediction of selected soil properties. *Comput. Electron. Agric.* 127, 615–624.
- Kostić, M., Rakić, D., Radomirović, D., Savin, L., Dedović, N., Crnojević, V., Ljubičić, N., 2018. Corn seeding process fault cause analysis based on a theoretical and experimental approach. *Comput. Electron. Agric.* 151, 207–218.

- Lan, Y., Kocher, M.F., Smith, J.A., 1999. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. *J. Agric. Eng. Res.* 72 (2), 119–127.
- Manquan, Z., Yongwen, H., Yueqin, L., 2012. Measurement and analysis on vibration characteristics of pneumatic seed metering device of no-till seeder. *TCSAE* 28, 78–83.
- McLean, K.A., 1974. Precision drill development and performance appraisal. *ADAS Quart. Rev.* 13, 1–8.
- Montgomery, D.C., Runger, G.C., 2011. *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 5th ed. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Montgomery, D.C., 2001. *Design and Analysis of Experiments*, fifth ed. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Müller, J., Wiesehoff, M., Hörner, R., 2006. Seed spacing evaluation for seed drills-ISOSTandard 7256/2 is in need of revision. *LANDTECHNIK* 61, 374–375.
- Navid, H., Ebrahimian, S., Gassemezadeh, H.R., Mousavinia, M.J., 2011. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method. *AJAE* 2 (1), 1–4.
- Özmerzi, A., Karayel, D., 1999. The effect of the tooth harrow covers of the grain seeders on seed distribution in soil. *J. Univ. Akdeniz, Faculty Agricult.* 11, 75–79.
- Özmerzi, A., Karayel, D., Topakci, M., 2002. Effect of sowing depth on precision seeder uniformity. *Biosyst. Eng.* 82 (2), 227–230.
- Panning, J., Kocher, M., Smith, J., Kachman, S.D., 2000. Laboratory and field testing of Seed spacing uniformity for Sugar beet planters. *Appl. Eng. Agric.* 16 (1), 7–13.
- Robinson, R.G., Ford, J.H., Lueschen, W.E., Rabas, D.L., Warnes, D.D., Wiersma, J.V., 1982. Response of sunflower to uniformity of plant spacing. *Agron. J.* 74 (2), 363–365.
- Schölderle, F., Siemes, M., Kuhlmann, H., 2008. Multi Sensor System Requirements for a Position Steered Seed Deposition in Sugar Beet Cultivation for the Generation of a Rectangular Formation. In: 1st International Conference on Machine Control & Guidance, Zurich, Switzerland, pp. 1–10.
- Smith, J.A., Palm, K.L., Yonts, C.D., Wilson, R.G., 1991. Seed spacing accuracy of sugar beet planters. *ASAE Paper No.91-1551*. St. Joseph, Mich.
- Thomson, M., 1986. Drill performance assessments. *British Sugar Beet Rev.* 54 (4), 11–14.

Theoretical and experimental analysis of corn seeding process

Marko Kostića^{a*}, Dušan Rakić^b, Dragi Radomirović^a, Nebojša Dedović^a,
Nataša Ljubičić^c, Vera Popović^c

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

^bUniversity of Novi Sad, Faculty of Food Technology, Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia

^cBioSense Institute, Dr Zorana Đinđića 1, 21000 Novi Sad, Serbia

^dInstitute for Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad, Serbia

Corresponding author: markok@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

Contemporary trends have set the need for high precision systems in agricultural operations, but it is the seeding technology in the first place that must satisfy the toughest demands to achieve the highest possible profit. The improvement of seeding precision is impossible without knowledge of the working principles of all parts of a singulation mechanism and all factors which influence the seeding errors. The evolution of a seeder depended crucially on the improvement of the testing methodology and techniques. This paper presents a photo-electronic device which monitors the seed flow at free fall after leaving the seeding mechanism. An air blowing seeding mechanism was used to simulate the seeding. Its performances were tested with seven varieties of corn seed, two seeding plates, two different air flow rates, and four different speeds of revolution of the seeding plate. A full factorial design was used to determine the significance of influence of four input factors and interactions of two of them. Data validation was done by comparing the values calculated according to visual analysis of high-speed camera recordings and photo-electronic system data where a strong relationship was achieved ($R^2 > 0.99$). It was determined that the speed of revolution of the seeding plate had the greatest influence on the varying distance between the consecutive seeds, while the seed variety exerted the least influence. The pressure of air flow and the variety of the seeds had the most significant influence on the variation of quality of feed index, although, the type and speed of revolution of the seeding plate were also statistically significant parameters. The occurrence of miss and multiple seed were caused by air flow pressure, variety of the seeds, type of the seeding plate, i.e., speed of revolution of the seeding plate. The applied optimization method can be a useful tool for finding the best possible combination of input parameters observed in the test in order to fulfill the criteria which vary depending on the user's needs.

KEY WORDS: Seeding, precision, optimization, sensor

Primljen: 17.07.2020.

Prihvaćen: 11.12.2020.