

## Influence of peripheral speed of vacuum plates on seed spacing in popcorn maize seeding

### Utjecaj obodne brzine sjetvene ploče na razmak u sjetvi kukuruza kokičara

Anamarija BANAJ<sup>1</sup> (✉), Đuro BANAJ<sup>1</sup>, Bojan STIPEŠEVIĆ<sup>1</sup>, Franjo NEMET<sup>1</sup>, Dragan JURKOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences, Osijek, Croatia

<sup>2</sup> University of Mostar, Faculty of Agriculture and Food Technology, Mostar, Bosnia and Herzegovina

✉ Corresponding author: [abanaj@fazos.hr](mailto:abanaj@fazos.hr)

Received: March 1, 2022; accepted: May 6, 2022

#### ABSTRACT

The simulation results of popcorn maize seeding in the laboratory at a theoretical spacing of 20.993 cm with vacuum plates with 18, 22, 27, 31, 33, 36, and 44 holes at working speeds of 4, 6, 8, and 10 km/h are presented. At a working speed of 6 km/h, the vacuum plate  $n = 18$  with a peripheral speed of 0.223 m/s achieved an average seeding spacing of 21.518 cm, with a reduction of 1 650/ha plants. At this peripheral speed, the plate achieved a QFI of 97.19 with Prec. index ( $CV_m$ ) of 13.108. The vacuum plate  $n = 44$  at the lowest acceptable speed of the seeding machine with a peripheral speed of 0.091 m/s achieved an average spacing of 20.816 cm with a QFI index of 98.63 while Prec. index ( $CV_m$ ) was 8.397. By increasing the working speed of 10 km/h, the listed vacuum plate achieved an average spacing of 20.935 cm, and an increase in seeding was recorded for 187 plants/ha where the achieved value of QFI index was 97.31 while the value of Prec. index ( $CV_m$ ) was 14.041. The choice of vacuum plate, as well as the speed of work had a statistically significant effect on the set of plants and the seeding spacing. The obtained results of vacuum plates  $n = 22, 27, 31, 33$  and  $n = 36$  are within the limit values of vacuum plates  $n = 18$  and  $n = 44$ .

**Keywords:** seeding, vacuum seeding machine, intra row spacing, peripheral speed

#### SAŽETAK

Prikazani su rezultati simulacije sjetve kukuruza kokičara u laboratoriju na teorijski razmak 20,993 cm sa sjetvenim pločama 18, 22, 27, 31, 33, 36 i 44 otvora pri brzinama rada sijačice 4, 6, 8 i 10 km/h. Pri simuliranoj brzini rada sijačice od 6 km/h primijenjena ploča  $n = 18$  s obodnom brzinom 0,223 m/s ostvarila je prosječni razmak u sjetvi od 21,518 cm pri čemu je zabilježeno smanjenje sklopa za 1 650 biljaka/ha. Pri ovoj obodnoj brzini ploča je ostvarila QFI od 97,19 s Prec. indeksom ( $CV_m$ ) od 13,108. Sjetvena ploča  $n = 44$  pri najnižoj prihvatljivoj brzini rada sijačice s obodnom brzinom od 0,091 m/s ostvarila je prosječni razmak od 20,816 cm s QFI indeksom od 98,63 dok je Prec. indeks ( $CV_m$ ) iznosio 8,397. Povećanjem brzine rada na 10 km/h navedena sjetvena ploča ostvarila je prosječni razmak od 20,935 cm odnosno zabilježeno je povećanje sjetve za 187 biljaka/ha, pri čemu je ostvarena vrijednost QFI indeksa od 97,31, dok je vrijednost Prec. indeks ( $CV_m$ ) iznosila 14,041. Na sklop biljaka odnosno na razmak sjetve statistički su značajno utjecali izbor sjetvene ploče, kao i brzina rada. Dobiveni rezultati sjetvenih ploča  $n = 22, 27, 31, 33$  i  $n = 36$  nalaze se unutar graničnih vrijednosti sjetvenih ploča  $n = 18$  i  $n = 44$ .

**Ključne riječi:** sjetva, podtlačna sijačica, međuredni razmak, obodna brzina

## DETAILED ABSTRACT

The results of simulation of popcorn seeding in the laboratory at a theoretical spacing of 20.993 cm with vacuum plates with 18, 22, 27, 31, 33, 36, and 44 holes  $\varnothing$  4.5 mm at working speeds of 4, 6, 8, and 10 km/h are presented. The research was performed on a test bench for a pneumatic seeding machine under controlled conditions of the working speed of the seeding machine under vacuum with a filled vacuum plate of 4.66 kPa. After research with different distances of seed brushoff teeth from the center of the hole, it was found that at position 12 on the scale (the top of the last seed brushoff tooth was 0.50 mm from the center of the hole) the best average seeding spacing of 24.671 was achieved that is -0.021 cm deviation from the theoretical distance used in the survey of the position of the seed brushoff. The research was performed only with a vacuum plate  $n = 22$  at a working speed of 6 km/h and a high QFI coefficient of 98.13 and MULT 1.13 and a MISS index of 0.75% were achieved, with Prec. index ( $CV_m$ ) of 9.930. Investigation of the negative pressure of 4.66 kPa at the vacuum plates holes established that the air velocity at a distance of 5 mm from the edges of the vacuum plate opening was 3.026 m/s, and at a distance of 10 mm a value of 1.514 m/s, was recorded. Based on this, the correctness of the selection of the maximum number of vacuum plates hole openings of  $n = 44$  with an opening spacing of 15.52 mm was confirmed. It is theoretically possible, given the air velocity of 1.602 m/s in the central space between the two holes, that individual seeds can adhere to this space between two adjacent holes. At a simulated working speed of 4 km/h, the vacuum plate  $n = 18$  with a peripheral speed of 0.223 m/s achieved an average seeding spacing of 21.518 cm (+0.525 cm compared to the theoretical spacing), with a decrease in the population of 1650 plants/ha. At this peripheral speed, the plate achieved a QFI of 97.19 and Prec. index ( $CV_m$ ) of 13.108. The vacuum plate  $n = 44$  at the lowest acceptable seeding speed (4 km/h), with a peripheral speed of 0.091 m/s achieved an average spacing of -0.177 cm from the theoretical spacing with a QFI index of 98.63, while Prec. index ( $CV_m$ ) was 8.397. By increasing the working speed to 10 km/h, the vacuum plate  $n = 18$  with a peripheral speed of 1.395 m/s achieved an average spacing of 0.895 cm compared to the theoretical spacing, and a decrease of 2.884 plants/ha was recorded. QFI index of only 83.06 while the value of Prec. index ( $CV_m$ ) was 20.978. The vacuum plate  $n = 44$  at the same speed of the seeding machine, with a peripheral speed of the plate of 0.571 m/s achieved an average reduction of the seeding spacing of -0.058 cm. Also there was recorded an increase in population for 187 plants/ha, with a QFI index value of 97.31, while the value of Prec. index ( $CV_m$ ) was 14.041. The choice of vacuum plate, as well as the speed of work had a statistically significant effect on the composition of plants and the seeding interval. Since the vacuum plate  $n = 18$  rotates twice as fast as the plate  $n = 36$ , a statistically significant difference was achieved only at higher working speeds, v3 and v4 (8 and 10 km/h). With the vacuum plates  $n = 31, 36$  and 44, regardless of the increase in speed from v1 to v4, there were no statistically significant differences in the average values of seeding spacing, so seeding can be done at higher speeds without disturbing the theoretical spacing.

## UVOD

Kukuruz kokičar (lat. *Zea mays* L. ssp. *evarta* Sturt.) je vrsta kukuruza tvrdunca koji posjeduje ekstremno tvrda zrna. Kod ove podvrste pronalazimo dva oblika – forme zrna, tzv. „perlasta“ koji posjeduje okruglo i sjajno te „rižasta“ kod kojih je zrno šiljasto. Boja zrna varira, a najčešće u proizvodnji prevladava žuta s apsolutnom masom od 80 do >130 g. Važnost pripreme i podešavanje sijačice prije sjetve predstavlja jedan od važnijih čimbenika u proizvodnji kukuruza kako navode Staggenborg i sur. (2004). Pozornost treba posvetiti sustavu za izuzimanje sjemenki koji se mora prilagoditi za sjetvu određenih veličina (malo, srednje i veliko) te oblika sjemena (ravno ili okruglo) (Banaj i sur., 2021). Podtlačni sustav temelji se na stvaranju podtlaka na otvorima sjetvene ploče, tako da se sjemenke (jedna ili više) u donjem dijelu komore priljubljuju na otvor ploče. Rotacijom sjetvene ploče, sjemenke dolaze u prostor gdje nema podtlaka te pod utjecajem gravitacije padaju u brazdicu koju je otvorio raončić ili tanjurasti ulagač. Važnost podešavanja sijačice prema navodima Lauer, (2001); Banaj i sur. (2017) temelje se činjenicom da u vrijeme berbe nedostaje od 7 do 12% biljaka planiranog teorijskog sklopa. Berus (2010) navodi da je sijačica optimalno podešena ako osigurava isijavanje od 95%. Drugi pokazatelj preciznosti sjetve je utvrđivanje postotka duplih zrna i praznih mjesta (neposijanih zrna) unutar reda. Ako je broj duplih zrna i praznih mjesta manji od 2,5%, smatra se da je sijačica vrlo precizna (Kachmann i Smith, 1995). Ako je postotak navedenih vrijednosti > 5%, sijačica se mora ponovno podesiti ili se moraju zamijeniti dotrajali dijelovi. Nakon odabira hibrida i podešavanja prijenosnog omjera (i), treba pristupiti podešavanju skidača viška sjemena s obzirom na oblik i veličinu zrna. Podešeni skidač sjemena s obzirom na oblik zrna osigurava kvalitetnu sjetvu, a u protivnom dolazi do pojave praznog prostora unutar reda bez sjemena ili do pojave nakupine sjemena (2-3 zrna) na istome mjestu sjetve, koji onemogućava optimalan rast i razvoj biljaka radi pomanjkanja vegetacijskog prostora. Singh i sur., (2005) istražuju u laboratorijskim i poljskim uvjetima učinkovitost uređaja za izuzimanje sjemena pneumatske sijačice primjenom *ISO Standarda 7652* (I i

II). U postupku istraživanja korištene su sjetvene ploče s  $\varnothing$  otvora 2,5 mm, s obodnim brzinama 0,29 do 0,69 m/s i s radnim podtlakom 1,0 do 2,5 kPa. Sustav je pri obodnoj brzini ploče od 0,42 m/s i podtlakom od 2,0 kPa ostvario vrlo dobre rezultate s popunjavanjem ploče od 94,70%. U laboratorijskim uvjetima sjetvena ploča je bila u prosjeku popunjena 88%, dok je u poljskim uvjetima rada ovaj koeficijent iznosi svega 49% pri razmaku sjetve unutar reda između 21,0 i 30,0 cm. Bracy i Parish, (1998) navode da je kod većeg broja sijačica za sjetvu uobičajena brzina gibanja 8 do 12 km/h, ali s povećanjem ukupne mase sijačice i razvojem novijih sustava izuzimanja sjemena, radne brzine gibanja mogu se povećati i do 18 km/h. Garcia i sur., (2011). navode kako brzina sjetve kod sijačica direktno utječe na dubinu sjetve i razmak zrna unutar reda. Findura i sur., (2012), kao i Banaj i sur., (2019) navode da je između ostalog važna i veličina i oblik sjemena. Brzinu gibanja sijačice u vrijeme sjetve treba povećati do te mjere dok se ne naruši kvaliteta rada. Pri simulaciji sjetve u laboratorijskim uvjetima, pri radnim brzinama 4 i 8 km/h, Vitas i sur., (1990) navode da se bez obzira na jednaku udaljenost otvora na sjetvenoj ploči, sjemenke ne raspoređuju na jednaki međusobni razmak. Razlog je u tome što sjeme nije prinudno vođeno, nego dolaskom u područje atmosferskog tlaka zraka pada različitom brzinom, ovisno od vlastite mase i momenta odvajanja od sjetvene ploče. Nepovoljna distribucija razmaka kao i povećan broj izbačenih duplih zrna i nepopunjenost otvora dobivena je pri brzini simulacije rada sijačice 8 km/h. Yazgi i Değirmencioğlu, (2016) istraživanjem fizikalnih svojstva sjemena zaključuju da su  $\varnothing$  otvora, obodna brzina te razina podtlaka najvažnije tri varijable koje utječu na preciznost sjetve. Autori navode da je obodna brzina sjetvene ploče varijabla koja limitira preciznost sjetve te ne bi trebala prelaziti 0,13 m/s. To znači da se veća preciznost sjetve može postići u širokom rasponu razine podtlaka, ali s odgovarajućim promjerom otvora sjetvene ploče unutar ograničenog raspona obodne brzine. Asoiro i Chidebelu, (2014) navode da sadržaj vlage ima velik utjecaj na aero-dinamička svojstva sjemena. Rezultati su pokazali da se krajnja brzina gibanja (terminal

velocity) sjemena kukuruza linearno povećavala s 10,65 na 12,15 m/s, dok je vlaga porasla s 4 na 40%. Karayel i sur., (2004) navode da su matematičkim modelom za predviđanje, koji se temeljio na apsolutnoj masi i sferičnosti, utvrdili da je optimalna vrijednost podtlaka za zrna kukuruza apsolutne mase  $288,7 \pm 1,90$  i  $372,50 \pm 2,10$  g od 4,0 kPa te 3,0 kPa za pamuk, soju i lubenicu. Yazgi i sur., (2010) navode da na performance sjetvenog sustava utječe promjer otvora sjetvene ploče. Optimalni  $\varnothing$  otvora bi bio 3,8 mm i može varirati, s obzirom na veličinu i oblik sjemenki. Vrijednost podtlaka također je povezana s promjerom otvora sjetvene ploče i iznosi 7,7 kPa, a ovisi o fizikalnim svojstvima sjemena kukuruza. Autori navode da je optimalna obodna brzina sjetvene ploče za sjetvu kukuruza 0,7 m/s, ali su tada vrlo mali učinci sjetve ha/h. Zato autori predlažu povećanje brzine na 1,5 m/s iako se povećanjem brzine smanjuje QFI indeks. Aykas i sur., (2016) ispitivanje su obavili u laboratoriju te su koristili sjetvene ploče (n=22, 30, 36, 40, 48, 60, 72) za pamuk  $\varnothing$  otvora 3,5 mm. Obodna brzina sjetvene ploče bila je od 0,15 - 0,85 m/s. Preciznost ostvarenog razmaka sjemena je bila loša pri obodnim brzinama manjim 0,25 m/s te većima od 0,65 m/s. Najveće vrijednosti QFI indeksa su ostvarene pri obodnoj brzini od 0,35 m/s kod sjetvenih ploča s 22, 40, 48 i 60 otvora.

## MATERIJAL I METODE RADA

Istraživanja su provedena u Zavodu za poljoprivrednu tehniku i obnovljive izvore energije Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek. Na ispitni stol za simulaciju sjetve kukuruza s mogućnošću podešavanja pojedinih tehničkih čimbenika sjetve postavljena je pneumatska sijačica PSK tvrtke OLT Osijek. Podešavanjem broja okretaja vratila ventilatora na 4 320/min kod sijačice PSK OLT s popunjenim sjetvenim pločama, n=18, n=22, n=27, n=31 n=33, n=36 i n=44 otvora  $\varnothing$  4,5 mm ostvaren je podtlak od 4,66 kPa. Utvrđivanje najpovoljnijeg položaja skidača sjemena obavljeno je prema različitim udaljenostima zubaca skidača viška sjemena u odnosu na središnji promjer otvora sjetvene ploče (Tablica 1).

**Table 1.** Distance of the tooth tip of the seed brushoff from the center of the vacuum plate hole ( $\varnothing$  4.5mm) in mm

**Tablica 1.** Udaljenost vrha zuba skidača viška sjemena (mm) od sredine otvora ( $\varnothing$  4,5 mm) sjetvene ploče

Measuring point - number of teeth Broj zuba	Mark on the scale Oznaka na skali				
	0	4	6	10	12
1	2,00	2,20	2,30	2,50	2,60
3	0,50	0,95	1,05	1,25	1,45
5	-0,50	-0,30	-0,20	0,00	0,50

Simulacija sjetve obavljena je na teorijski razmak 20,993 cm kod dinamičkog promjera pogonskog kotača sijačice  $D_d=62,10$  cm, a ostali čimbenici simulacije testiranja prikazani su u tablici 2 i tablici 3.

Utvrđivanje razmaka sjetve obavljeno je uz pomoć senzora za detekciju vremena prolaza zrna, pri čemu centralna jedinica uz simuliranu brzinu rada izračunava razmake sjetve. Položaj sijačice određivan je enkoderom 1200 s pogreškom pri mjerenju prijednog puta od  $\pm 1,37$  mm, pri čemu je postignuta vrlo velika preciznost položaja, a postavljen je na pogonsko vratilo sijačice.

### Utvrđivanje parametara sjetvene ploče

Zrak struji kroz otvor u radijalnom smjeru, a linije strujanja zraka tvore polukružni omotač te brzina zraka raste kako se radijus omotača smanjuje. Brzina zraka  $V_{r1}$  na udaljenosti  $r_1$  od središta otvora izračunata je jednadžbom 1:

$$V_{r1} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot \frac{\alpha \sqrt{2gp}}{2} \gamma \quad (1)$$

gdje je:  $r_2$  polumjer otvora na sjetvenoj ploči,  $\alpha$  koeficijent protoka (pretpostavlja se da je 0,7),  $\gamma$  specifična masa zraka ( $11,2 \text{ N/m}^3$  pri  $20^\circ \text{ C}$  i 96 kPa),  $p$  tlak vakuma u  $\text{N/m}^2$  i  $g$  je ubrzanje uzrokovano gravitacijom (Onal, 2006.). Brzina zraka u središtu otvora sjetvene ploče  $V_{r2}$ , izračunata je jednadžbom br. 2:

$$V_{r2} = \alpha \sqrt{\frac{2gp}{\gamma}} \quad (2)$$

**Table 2.** Technical factors during measurements at the tested vacuum plates**Tablica 2.** Tehnički čimbenici za vrijeme mjerenja kod ispitivanih sjetvenih ploča

Technical factors Tehnički čimbenici	Vacuum plate (ø 4,5 mm) Sjetvena ploča			
	18	22	27	31
Drive wheel to vacuum plate ratio (i) Odnos pogonskog kotača i ploče	0,51604	0,42221	0,34403	0,29963
Simulated working speed 4,0 (km/h) Simulirana brzina rada				
PSVP (m/s) Obodna brzina	0,223	0,183	0,149	0,130
SRF (s) TBIZ		4,017		
Simulated working speed 6,0 (km/h) Simulirana brzina rada				
PSVP (m/s) Obodna brzina	0,502	0,411	0,335	0,292
SRF (s) TBIZ		9,037		
Simulated working speed 8,0 (km/h) Simulirana brzina rada				
PSVP (m/s) Obodna brzina	0,893	0,730	0,595	0,518
SRF (s) TBIZ		16,066		
Simulated working speed 10,0 (km/h) Simulirana brzina rada				
PSVP (m/s) Obodna brzina	1,395	1,141	0,930	0,810
SRF (s) TBIZ		25,104		
Distance between 2 holes (mm) Razmak između dvije rupice	37,94	31,04	25,29	22,03

PSVP - peripheral speed (m/s); SRF - Seed releasing frequency / TBIZ - Teorijski broj isijanih zrna (s); Theoretical spacing / Teorijski razmak sjetve (20,993 cm)

**Table 3.** Technical factors during measurements at the tested vacuum plates**Tablica 3.** Tehnički čimbenici za vrijeme mjerenja kod ispitivanih sjetvenih ploča

Vacuum plate (hole $\varnothing$ 4,5 mm) Sjetvena ploča	33	36	44
Drive wheel to vacuum plate ratio (i) Odnos pogonskog kotača i ploče	0,28147	0,25802	0,21110
Simulated working speed Simulirana brzina rada	4 (km/h)		
PSVP (m/s) Obodna brzina	0,122	0,112	0,091
SRF (s) TBIZ	4,017		
Simulated working speed Simulirana brzina rada	6 (km/h)		
PSVP (m/s) Obodna brzina	0,274	0,251	0,205
SRF (s) TBIZ	9,037		
Simulated working speed Simulirana brzina rada	8 (km/h)		
PSVP (m/s) Obodna brzina	0,487	0,446	0,365
SRF (s) TBIZ	16,066		
Simulated working speed Simulirana brzina rada	10 (km/h)		
PSVP (m/s) Obodna brzina	0,761	0,697	0,571
SRF (s) TBIZ	25,104		
Distance between two holes (mm) Razmak između dvije rupice	20,69	18,97	15,52

PSVP - peripheral speed (m/s); SRF - Seed releasing frequency / TBIZ - Teorijski broj isijanih zrna (s); Theoretical spacing / Teorijski razmak sjetve (20,993 cm)

Krajnja brzina sjemenki u zračnoj struji mora biti poznata prije dizajniranja vakuumske uređaja i utvrđeno je da su ove vrijednosti 11,8 m/s za kukuruz. Iz jednadžbi 3. i 4. izračunate su obodne brzine sjetvenih ploča „ $V_p$ “ i brzina gibanja sijačice  $V_f$ :

$$V_p = \frac{\pi d n_p}{60} \quad (3)$$

$$V_f = \frac{n_p}{60} k Z_t \quad (4)$$

gdje je  $d$  promjer sjetvene ploče u m,  $n_p$  je broj okretaja sjetvene ploče u minuti,  $k$  broj otvora na sjetvenoj ploči, i  $Z_t$  je teorijski razmak u m. Učestalost izuzimanja sjemeni (Seed releasing frequency), tj. „SRF“, je broj sjemenki izdvojenih iz sjetvene sekcije u trajanju od 1/s. Odnos teorijskog razmaka sjetve sjemeni i broja izdvojenih sjemenki u sekundi te brzine gibanja prikazan je kao u jednadžbi 5:

$$Z_t = \frac{V_f}{SRF} \quad (5)$$

Veći dio istraživanja provedena su prema ISO standardu: ISO 7256-1:1984 za sijačice s pojedinačnom sjetvom – standardna sjetva (Sowing equipment – Test methods – Part 1: Single seed drills), te ISO 7256-2:1984 za sijačice sa sjetvom u udvojene redove - sjetva u trake ili twin row sjetva (Sowing equipment – Test methods – Part 2: Seed drills for sowing in lines). Usporedba preciznosti rada pri simulaciji pojedinih čimbenika ispitivanih sijačica temeljena je ocjenjivanjem ujednačenosti sjetve primjenom indeksa QFI, MULT i MISS. ISO standard razvrstava dobivene razmake sjetve u tri različite skupine razmaka u sjetvi prema teorijskom razmaku ( $Z_t$ ).

I. Multiple index ( $I_{mt}$ ) je indeks koji prikazuje postotak razmaka koji su manji ili jednaki polovici duljine zadanoga teorijskog razmaka ( $N_{mt}) \leq 0.5$ :

$$I_{mt} = \frac{N_{mt}}{N} \cdot 100 \quad (6)$$

II. Quality of feed index (QFI) je indeks koji prikazuje postotak izbačenog pojedinačnog sjemeni razmaka većih za 0,5 puta, a manjih za 1,5 puta od teorijskog razmaka ( $> 0,5 Z_t$  do  $\leq 1,5 Z_t$ )

III. Missing indeks ( $I_{ms}$ ) ukazuje koliko često sjeme preskoči teorijski razmak tj. sjetveni sustav ne pokupi sjeme i ne posije ga. To je postotak razmaka većih za 1,5 puta od zadanoga teorijskog razmaka.

$$I_{ms} = \frac{N_{ms}}{N} \cdot 100 \quad (7)$$

Ujednačenost razmaka između sjemena sjetvene distribucije (II), koja se naziva preciznost „Prec. indeks“, izražava se s koeficijent varijacije ( $CV_m\%$ ) kako je prikazano u jednadžba 8:

$$CV_m = \frac{\sigma}{Z_m} 100 \quad (8)$$

gdje je  $\sigma$  standardna devijacija aritmetičke sredine skupine (II) i  $Z_m$  aritmetička sredine razmaka sjetve druge skupine raspona od  $> 0,5 Z_t$  do  $\leq 1,5 Z_t$ .

Simulacija sjetve obavljena je sjemenom kukuruza kokičara, a vrijednosti dimenzija i oblika prikazani su u tablici 4.

**Table 4.** Dimensions and test weight of seeds used in the study

**Tablica 4.** Prosječne dimenzije zrna primijenjenog u istraživanju

Seed dimensions (mm) Dimenzija sjemena	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V. (%)	Surface area (mm <sup>2</sup> ) Površina	Sphericity (%) Sferičnost	Geometric $\bar{x}$ diameter (mm) Geometrijski $\bar{x}$ promjer	Roundness (%) Zaobljenost
Length Duljina	8,42	0,850	10,09				
Width Širina	6,00	0,595	9,92	119,950	73,384	6,179	71,258
Thickness Debljina	4,67	0,697	14,92				

Bulk density / Hektalitarska masa 81,70 kg/m<sup>3</sup>; Thousand-seed weight / Apsolutna masa 176,05 g; Grain moisture / Vлага zrna 12,2%.

**Table 5.** Air velocities at different distances from the center of a hole

**Tablica 5.** Brzina zraka na pojedinim udaljenostima od sredine otvora sjetvene ploče

Vacuum pressure (kPa) Podtlak	Terminal velocity (m/s) Terminalna brzina	Distances from the center of a hole ( $r_1$ ), mm Udaljenost od sredine rupe ploče					
		0	2,25	7,25	10,25	12,25	17,25
		Air velocity ( $V_{r1}$ ) m/s Brzina zraka					
2,80	11,60	49,024	24,512	2,361	1,181	0,827	0,417
4,66		62,838	31,419	3,026	1,602	1,514	0,535

Grain moisture / Vлага zrna 12,2%; Hole diameter / Promjer rupice ( $d_0$ )=4,5 mm

## REZULTATI I RASPRAVA

### Vrijednosti podtlaka na otvorima sjetvene ploče

Podtlak, koji nastaje rotacijom ventilatora, mora pridržavati sjemenke na otvorima sjetvene ploče, suprotstavljajući se sili gravitacije i silama nastalim rotacijom ploče kao posljedica obodne brzine. Može se reći da se podtlak suprotstavlja težini i trenju sjemenki, te centrifugalnoj sili.

Provedenim izračunavanjem, utvrđeno je pri podtlaku 4,66 kPa da je brzina zraka na udaljenosti 5 mm od rubova otvora sjetvene ploče 3,026 m/s, a na udaljenosti 10 mm zabilježena je vrijednost 1,514 m/s (Tablica 5).

Temeljem toga potvrđena je ispravnost odabira maksimalnog broja otvora na sjetvenoj ploči  $n=44$ , s razmakom sjetvenih otvora od 15,52 mm. Teoretski je moguće, s obzirom na brzinu zraka od 1,602 m/s na središnjem prostoru između dva otvora, da se pojedine sjemenke mogu pridržavati i na ovome prostoru između dvije susjedne rupe.

#### Najpovoljniji položaj skidača viška sjemena

Odabir povoljnog položaja skidača viška sjemena na sjetvenoj ploči obavljeno je pri simulaciji rada sijačice 6 km/h, s upotrebom sjetvene ploče  $n=22$ . Najpovoljniji položaj skidača dobiven je na proizvođačkoj oznaci S-12,00 (Tablica 6). Na ovom položaju prvi zub skidača sjemena bio je udaljen 2,60 mm, dok je peti, tj. zadnji zub bio na udaljenosti 0,5 mm od središta sjetvene rupice  $\varnothing$  4,50 mm. Odabrani položaj skidača S-12 bio je primijenjen pri narednim istraživanjima u ovom radu.

#### Utjecaj obodne brzine ploča na razmak u sjetvi kukuruza kokičara

Istraživanja su provedena s pretpostavkom da će sjetvena ploča  $n=44$  za predviđeni teoretski razmak od 20,993 cm imati dva puta manju obodnu brzinu rada (m/s) u odnosu na ploču  $n=22$ . Na ovaj način omogućeno je sjemenkama kokičara da „zauzmu“ povoljniji položaj na sjetvenom otvoru. Istraživanja su provedena pri kontroliranim tehničkim uvjetima rada sjetvenih ploča (Tablica 2 i Tablica 3) a zabilježeni rezultati kod sve četiri radne brzine prikazani su u tablici 7.

Slične rezultate objavili su Yazgi i Degirmencioglu (2014) u istraživanju sjetvenih ploče sa različitim brojem otvora (20, 26, 36, 52, 72)  $\varnothing$  4,5 mm, uz podtlak 6,3 kPa. Autori su ostvarili maksimalne performanse korištenjem ploče  $n=36$ , pri radnim brzinama od 1,0 i 1,5 m/s. Isto tako navode da radna brzina ima negativan utjecaj na rad sijačice pri brzini gibanja 2,0 m/s. Utvrđivanje kvalitete sjetve sijačice pri radu s različitim obodnim brzinama sjetvenih ploča kod simulacije sjetve na teorijski razmak od 20,993 cm obavljeno je pomoću koeficijenta kvalitete sjetve uz primjenu ISO standarda 7256/1 i 7256/2 odnosno indeksa MISS (*miss indeks*), MULT (*multiple indeks*) i QFI (*quality of feed indeks*). Dobiveni rezultati koeficijenta kvalitete sjetve prikazani su u tablici 8.

Iz podataka u tablici 8 vidljivo je da pri brzini rada od 4 km/h sijačica s pločama  $n=18$  i  $n=44$  nije ostvarila značajnije razlike u vrijednostima QFI indeksa. Pri radu sa sjetvenom pločom  $n=18$  zabilježen je QFI indeks od 97,19, a kod rada sa sjetvenom pločom  $n=44$  ostvaren je QFI indeks od 98,63. Onal i sur. (2012) navode da je 16 sjemenki/s gornja granica frekvencije izuzimanja sjemena (SRF/s) za sjeme pamuka i kukuruza, odnosno da je gornja prihvatljiva obodna brzina sjetvene ploče od 0,34 m/s.

Pri gornjoj granici simulacije rada od 10 km/h (2,77 m/s) kod sjetvene ploče  $n=18$ , s obodnom brzinom 1,395 m/s, zabilježen je QFI od svega 83,06 i prosječni MISS indeks od 9,94. Kod rada s pločom  $n=44$ , pri obodnoj brzini 0,571 m/s, zabilježena je vrijednost QFI od 97,31 i MISS indeks 1,63.

**Table 6.** Achieved seeding spacings at different positions of the seed brushoff

**Tablica 6.** Statistički pokazatelji najpovoljnijeg položaja skidača viška sjemena

Vacuum (kPa) Tlak	Seed brushoff Položaj skidača	$\bar{x}$	$\sigma$	R (cm)	MULT (%)	QFI (%)	MISS (%)	$KV_{QFI}/$ $CV_{QFI}$ (%)
4,66	S-4,00	25,093	5,352	+0,401	1,19	95,94	2,88	11,603
	S-6,00	24,755	4,666	+0,063	1,25	97,19	1,56	11,459
	S-8,00	24,762	4,348	+0,070	1,00	97,69	1,31	10,781
	S-10,00	24,671	4,031	-0,021	1,13	97,75	1,13	10,806
	S-12,00	24,579	3,574	-0,113	1,13	98,13	0,75	9,930

Drive wheel to vacuum plate ratio / Omjer pogonskog kotača i ploče  $i=0,42221$ ; Peripheral speed / Obodna brzina ploče  $O=0,411$  m/s; R - The difference between the average achieved and theoretical spacing / Razlika između teorijskog i stvarnog razmaka; Seed releasing frequency / Frekvencija otpuštanja sjemena 9,037; Theoretical spacing / Teorijski razmak 24,692 cm



**Table 7.** Achieved spacings in the simulation of seeding popcorn seeds using plates with different hole numbers at four working speeds km/h**Tablica 7.** Dobiveni razmaci u simulaciji sjetve zrna kokičara uporabom ploča s različitim brojem otvora pri četiri brzine rada km/h

Vacuum plate (n) Sjetvena ploča	$\bar{x}$	$\sigma$	R	Median	Rang	Varianca	Working speed: Radna brzina (km/h) / Peripheral speed: Obodna brzina ploče (m/s)
18	21,518	2,665	0,525	21,780	41,580	7,104	4/0,223
18	21,658	3,354	0,665	21,780	43,230	11,255	6/0,502
18	21,708	5,464	0,715	21,780	59,730	29,859	8/0,893
18	21,888	7,947	0,895	21,450	64,350	63,167	10/1,395
22	20,792	2,839	-0,201	21,060	43,680	8,061	4/0,183
22	20,952	2,846	-0,041	21,060	43,680	8,105	6/0,411
22	21,188	4,127	0,195	21,060	56,550	17,038	8/0,730
22	21,165	4,748	0,172	21,060	59,670	22,546	10/1,141
27	20,778	2,781	-0,215	21,032	37,762	7,736	4/0,149
27	20,756	3,240	-0,237	21,032	42,064	10,500	6/0,335
27	20,890	3,386	-0,103	21,032	46,844	11,471	8/0,595
27	21,081	5,513	0,088	21,032	58,794	30,397	10/0,930
31	20,819	2,758	-0,174	20,824	37,812	7,610	4/0,130
31	20,879	2,948	-0,114	20,824	43,292	8,695	6/0,292
31	20,826	3,288	-0,167	20,824	38,908	10,817	8/0,518
31	20,828	4,044	-0,165	20,824	49,868	16,355	10/0,810
33	20,894	3,479	-0,099	21,096	43,950	12,107	4/0,122
33	20,913	3,157	-0,080	21,096	43,364	9,967	6/0,274
33	20,886	3,756	-0,107	21,096	43,364	14,109	8/0,487
33	21,184	4,308	0,191	21,096	46,294	18,564	10/0,761
36	20,916	3,586	-0,077	21,054	44,660	12,859	4/0,112
36	20,947	3,215	-0,046	21,054	44,660	10,339	6/0,251
36	20,945	3,441	-0,048	21,054	38,918	11,843	8/0,446
36	21,108	3,972	0,115	21,054	40,194	15,781	10/0,697
44	20,816	3,889	-0,177	21,060	42,900	15,127	4/0,091
44	20,988	3,833	-0,005	21,060	44,460	14,698	6/0,205
44	20,903	3,991	-0,090	21,060	40,560	15,933	8/0,365
44	20,935	4,209	-0,058	21,060	42,900	17,718	10/0,571

Dynamic wheel diameter / Dinamički promjer kotača  $D_d=62,10$  cm; Hole diameter / Promjer otvora ploče  $d_0=4,5$  mm; Theoretical spacing / Teorijski razmak 20,993 cm; R - The difference between the average achieved and theoretical spacing / Razlika teorijskog i ostvarenog prosječnog razmaka

**Table 8.** Achieved values of seeding quality indices (MULT, QFI, MISS) at different working speeds and different peripheral speeds of tested vacuum plates**Tablica 8.** Ostvarene vrijednosti indeksa kvalitete sjetve (MULT, QFI, MISS) pri različitim brzinama rada kod različitih obodnih brzina ispitivanih sjetvenih ploča

Vacuum plate (n) Sjetvena ploča	Working speed (km/h) Brzina rada	MULT	QFI	MISS	Working speed (km/h) Brzina rada	MULT	QFI	MISS
18		1,94	97,19	0,88		1,75	97,56	0,69
22		1,50	98,13	0,38		1,25	97,31	1,44
27		1,44	98,06	0,50		1,00	98,06	0,94
31	4	1,19	98,31	0,50	6	0,81	98,63	0,56
33		1,56	97,56	0,88		0,81	98,44	0,75
36		2,44	96,19	1,38		0,94	98,44	0,63
44		1,06	98,63	0,31		0,94	98,56	0,50
18		2,75	93,31	3,94		7,00	83,06	9,94
22		1,19	97,00	1,81		3,00	93,25	3,75
27		1,69	97,06	1,25		2,06	95,31	2,63
31	8	1,44	97,81	0,75	10	1,56	96,94	1,50
33		1,25	97,81	0,94		1,69	97,13	1,19
36		1,31	97,88	0,81		0,81	97,31	1,88
44		1,19	98,06	0,75		1,06	97,31	1,63

Onal (2006) navodi i preporuča gornju granicu indeksa MULT, i MISS od 4,75%. Ukoliko su vrijednosti  $\sigma$  odstupanja kod QFI razmaka sjetve manji od 25 mm, sustav je dobro podešen, navodi Vučajnk (2017). Ukoliko su odstupanja  $\sigma > 40$  mm, takve sijačice pripadaju u grupu s lošom kvalitetom sjetve koje treba izbjegavati u eksploataciji. Dobivene vrijednosti kvalitativnih indeksa sjetve kod ostalih ispitivanih sjetvenih ploča nalaze se unutar vrijednosti sjetvenih ploča n=18 i n=44. Vrijednosti Prec. indeks (CV<sub>m</sub>) vidljivi su iz tablice 9.

Sjetvena ploča n=18 pri najnižoj obodnoj brzini od 0,223 m/s ostvarila je vrijednost Prec. indeks (CV<sub>m</sub>) u grupi prihvatljivih razmaka QFI od 13,108%, dok je kod iste ploče pri radnoj brzini od 10 km/h, odnosno pri najvećoj obodnoj brzini od 1,395 m/s zabilježena vrijednost od 20,978%. Najbolji, tj. najniži zabilježeni Prec. indeks (CV<sub>m</sub>) ostvaren je kod sjetvene ploče n=44, pri brzini rada od 4 km/h, a iznosio je 8,397%. Povećanjem brzine gibanja

sijačice na 10 km/h utvrđena vrijednost Prec. indeks (CV<sub>m</sub>) iznosila je samo 14,041%. Isto tako može se vidjeti da je sjetvena ploča n=44, pri radu kod 4 km/h, imala manji Prec. indeks (CV<sub>m</sub>) u odnosu na ploču n=18 za 4,71%, a pri brzini rada kod 10 km/h razlika je iznosila 6,94% (Tablica 10).

U tablici 11 može se vidjeti da kod sjetvene ploče n=22 dolazi do statistički značajnih razlika kod ostvarenih prosječnih razmaka pri povećanju brzine rada iznad V<sub>2</sub> (6 km/h). Budući da se sjetvena ploča n=18 dva puta brže okreće u odnosu na ploču n=36, statistički značajna razlika ostvarena je samo kod viših brzina rada, V<sub>3</sub> i V<sub>4</sub> (8 i 10 km/h). Kod sjetvenih ploča n=31, 36 i 44, bez obzira na povećanje brzine gibanja od V<sub>1</sub> do V<sub>4</sub>, nije došlo do statistički značajnih razlika prosječnih vrijednosti razmaka sjetve, stoga se s ovim pločama može obavljati sjetva i pri većim brzinama bez narušavanja teorijskog razmaka.

**Table 9.** Values prec. index ( $CV_m$ ) for tested vacuum plates at different working speeds and different peripheral speeds**Tablica 9.** Vrijednosti Prec. indeksa ( $CV_m$ ) kod ispitivanih sjetvenih ploča pri različitoj simulaciji brzine rada sijačice i različitim obodnih brzina sjetvenih ploča

Vacuum plate (n) Sjetvena ploča	18	22	27	31	33	36	44
	Working speed 4 (km/h) Brzina rada						
Prec. indeks ( $CV_m$ )	13,108	9,311	8,938	9,605	10,607	11,248	8,397
	Working speed 6 (km/h) Brzina rada						
Prec. indeks ( $CV_m$ )	13,005	11,698	11,689	10,392	10,170	10,218	10,160
	Working speed 8 (km/h) Brzina rada						
Prec. indeks ( $CV_m$ )	15,673	14,522	13,950	12,874	12,302	12,154	12,070
	Working speed 10 (km/h) Brzina rada						
Prec. indeks ( $CV_m$ )	20,978	17,511	15,540	14,509	15,364	14,695	14,041

**Table 10.** Impact of vacuum plate and working speed at average seeding spacing**Tablica 10.** Utjecaj sjetvene ploče i brzine rada sijačice na prosječni razmak u sjetvi

Vacuum plate (n) Sjetvena ploča	Working speed (km/h) Brzina rada				LSD <sub>(005)</sub>
	4	6	8	10	
18	21,519 <sup>B</sup>	21,659 <sup>B</sup>	21,709 <sup>AB</sup>	21,889 <sup>A</sup>	LSD <sub>(005)</sub> 0,1973
22	20,792 <sup>B</sup>	20,953 <sup>B</sup>	21,189 <sup>A</sup>	21,165 <sup>A</sup>	LSD <sub>(005)</sub> 0,1922
27	20,779 <sup>B</sup>	20,757 <sup>B</sup>	20,891 <sup>AB</sup>	21,082 <sup>A</sup>	LSD <sub>(005)</sub> 0,2194
31	20,820 <sup>A</sup>	20,880 <sup>A</sup>	20,827 <sup>A</sup>	20,828 <sup>A</sup>	LSD <sub>(005)</sub> 0,1799
33	20,895 <sup>B</sup>	20,914 <sup>B</sup>	20,887 <sup>B</sup>	21,185 <sup>A</sup>	LSD <sub>(005)</sub> 0,1762
36	20,917 <sup>A</sup>	20,948 <sup>A</sup>	20,946 <sup>A</sup>	21,109 <sup>A</sup>	LSD <sub>(005)</sub> 0,2621
44	20,816 <sup>A</sup>	20,989 <sup>A</sup>	20,904 <sup>A</sup>	20,935 <sup>A</sup>	LSD <sub>(005)</sub> 0,2065

**Table 11.** Influence of seeding machine working speed and vacuum plate peripheral speed on average seeding spacing**Tablica 11.** Prosječni, skupni rezultati statističke analize glavnih svojstava (sjetvena ploča i brzina rada) na razmak u sjetvi

ANOVA	Seeding spacing (cm) Razmak sjetve		LSD <sub>0,05</sub> test average for vacuum plates ( $\alpha=0,05$ ) LSD <sub>0,05</sub> test prosječno za sjetvene ploče			
	F-test	p	n=18	n=22	n=27	n=31
Vacuum plate (n) Sjetvena ploča	68,07	<0,001	21,693 <sup>A</sup> n=33 20,969 <sup>BC</sup>	21,024 <sup>B</sup> n=36 20,979 <sup>BC</sup>	20,876 <sup>D</sup> n=44 20,910 <sup>CD</sup>	20,838 <sup>D</sup> LSD <sub>0,05</sub> 0,1163

  

ANOVA	Seeding spacing (cm) Razmak sjetve		LSD <sub>0,05</sub> test average for vacuum plates ( $\alpha=0,05$ ) LSD <sub>0,05</sub> test prosječno za sjetvene ploče				
	F-test	p	4	6	8	10	LSD <sub>0,05</sub>
Working speed (km/h) Brzina rada	13,30	<0,001	20,933C	21,014BC	21,050B	21,170A	0,1643

## ZAKLJUČAK

Provedenim simulacijama sjetve kukuruza kokičara u laboratoriju na teorijski razmak 20,993 cm, koristeći sedam sjetvenih ploča s 18, 22, 27, 31, 33, 36 i 44 otvora,  $\varnothing$  4,5 mm, pri četiri brzine rada sijačice mogu se donijeti slijedeći zaključci;

- utvrđena je statistički značajna razlika utjecaja obodne brzine sjetvenih ploča na razmak zrna unutar reda;
- kod simulacije sjetve pri brzini rada sijačice 4 km/h i pri obodnoj brzini 0,223 m/s sjetvene ploče n=18, kao i kod obodne brzine 0,091 m/s sjetvene ploče n=44, zabilježene su značajne razlike QFI indeksa (za n=18, 97,19, a za n=44, 98,63), kao i prosječna odstupanja od teorijskog razmaka u sjetvi (n=12, +0,525 cm, n=44, -0,09 cm);
- povećanjem brzine gibanja na 10 km/h, sijačica u radu sa sjetvenom pločom n=18 ostvarila je prosječni razmak u sjetvi od 21,888 cm, odnosno zabilježeno je smanjenje sjetve za 2766 biljaka/ha. Sjetvena ploča s obodnom brzinom 1,395 m/s ostvarila je vrijednost QFI indeksa od svega 83,06 dok je vrijednost Prec. indeks (CV<sub>m</sub>) iznosila visokih 20,978;
- sjetvena ploča n=44 s obodnom brzinom 0,571 m/s, pri 10 km/h, zabilježila je prosječni razmak u

simulaciji sjetve od 20,935 cm ili -0,058 cm manje od teorijskog, ostvarivši vrijednost QFI indeksa od 97,31, dok je vrijednost Prec. indeks (CV<sub>m</sub>) iznosila prihvatljivih 14,041;

- dobiveni rezultati kod sjetvenih ploča n=22, 27, 31, 33, 36 i 44 nalaze se unutar graničnih vrijednosti sjetvene ploče n=12 i sjetvene ploče n=36;
- smanjenje obodne brzine sjetvene ploče koliko je to god moguće doprinosi povećanju udjela povoljnih sjetvenih razmaka (QFI indeksa), kao i približavanju ostvarenja teorijskog sklopa biljaka/ha te smanjenja vrijednosti Prec. indeksa (CV<sub>m</sub>).

## LITERATURA

- Asoiro, F.U., Chidebelu J.C. (2014) Effect of moisture content on aerodynamic properties of corn seed (zea mays). Journal of Agricultural Engineering and Technology (JAET), 22 (4), 56-65.
- Aykas, E., Komekci, C. & Kömekçi, F. (2016) Seeding Performance of a Vacuum Type Precision Metering Unit Depend on Peripheral Speed of Vacuum Plate. In: 8<sup>th</sup> International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), Niigata, Japan, 15-24. Dostupno na: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=46927> [Pristupljeno: 03. veljače 2022.]
- Banaj, A., Banaj, Đ., Petrović, D., Stipešević, B., Tadić, V. (2021) The impact of maize fraction and technical adjustment factors on the working quality of the PSK4 sowing machine. Poljoprivreda 27 (1), 11-21. DOI: <https://doi.org/10.18047/poljo.27.1.1>
- Banaj, A., Banaj, Đ., Tadić, V., Petrović, D., Stipešević, B. (2019) Utjecaj sustava sjetve na prinos zrna kukuruza različitih FAO grupa. Poljoprivreda Osijek, 25 (2), 62-70. DOI: <https://.org/10.18047/poljo.25.2.9>

- Banaj, A., Šumanovac, L., Heffer, G., Tadić, V., Banaj, Đ. (2017) Yield of corn grain by sowing in twin rows with MaterMacc-2 planter. In: Kovačev, Igor., eds. Proceedings of the 45<sup>th</sup> International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, Agronomski fakultet u Zagrebu, 141-152. Dostupno na: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173126971> [Pristupljeno: 01. veljače 2022.]
- Berus, P. (2010) Vpliv hitrosti setve na točnost odlaganja semena pri pnevmatski podtlačni sejalnici za koruzo. diplomsko delo, visokošolski strokovni študij. Doctoral dissertation. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Dostupno na: <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=139043&lang=slv> [Pristupljeno: 01. veljače 2022.]
- Bracy, R.P., Parish, R.L. (1998) Seeding uniformity of precision seeders. HortTechnology, 8 (2), 182 - 185. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.8.2.182>
- Findura, P., Turan, J., Jobbágy, J., Angelovic, M. (2012) Influence of the physical attributes of seeds on the sowing quality within selected sowing mechanism. Contemporary agricultural engineering, 38 (1), 1-8. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/281772599\\_Influence\\_of\\_the\\_physical\\_attributes\\_of\\_seeds\\_on\\_the\\_sowing\\_quality\\_within\\_selected\\_sowing\\_mechanism](https://www.researchgate.net/publication/281772599_Influence_of_the_physical_attributes_of_seeds_on_the_sowing_quality_within_selected_sowing_mechanism) [Pristupljeno: 01. veljače 2022.]
- Garcia, R. F., Vale, W. G., Oliveira, M. T. R., Pereira, E. M., Amim, R. T., Braga, T. C. (2011) Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense. Acta Scientiarum, 33 (3), 417-422. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6085>
- Lauer, J.G. (2001) Theoretical and experimental evaluation of within-row plant spacing in corn. In Annual Meetings Abstracts (CD-ROM). ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Staggenborg, S. A., Taylor, R. K., Maddux, L. D. (2004) Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment. Applied Engineering in Agriculture, 20 (5), 573-580. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.17457>
- Kachmann, S. D., Smith, J. A. (1995) Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, 8 (2), 379-387. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.27843>
- Karayel, D., Wisenhoff, M., Özmerzi, A., Müller, J. (2006) Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. Computers and Electronics in Agriculture, 50 (2), 89-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.05.005>
- Onal, I. (2006) Tek dane ekimin matematik-istatistik esasları veekim makinalarının denemelerinde kullanılması. In: Kavdir, I., Kocabıyık, H., Sumer, S.K., Buyukcan, M.B., eds. Tarımsal Mekanizasyon 23. Ulusal Kongresi Canakkale, 97-102.
- Onal, I., Değirmencioğlu A., Yazgi A. (2012) An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 36 (2012), 133-144. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1010-1316>
- Singh, R.C., Singh, G., Saraswa, D.C. (2005) Optimisation of Design and Operational Parameters of a Pneumatic Seed Metering Device for Planting Cottonseeds. Biosystems Engineering, 92 (4), 429 - 438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.07.002>
- Vitas, N., Bilandžić, M. (1990) Ispitivanje sijačice PSK-OLT na probnom stolu pomoću osobnog računala. Primjena kompjutera u poljoprivredi-Osijek 1990., 84-88.
- Vučajnk, F., Bernik, R., Rednak, J., Šantavec, I., Kocjan Ačko, D., Rakun, J., Lakota, M., Berus, P., Zupanc, V., Vidrih, M. (2017) Planting pattern of a pneumatic vacuum maize planter within a row. In: Čeh, B. eds., Proceedings of symposium Novi izzivi v agronomiji 2017, Slovensko agronomsko društvo, 238-244. Dostupno na: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173297324> [Pristupljeno: 01. veljače 2022.]
- Yazgi, A., Değirmencioğlu, A., İsmet, O., Bayram, E. (2010) Mathematical Modelling and Optimization of the Performance of a Metering Unit for Precision Corn Seeding. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 6 (2), 107-113. Dostupno na: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/118956> [Pristupljeno: 01. veljače 2022.]
- Yazgi, A., Değirmencioğlu, A. (2014) Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the number of holes on vacuum plate. Original Research Article Measurement, 56, 128 -135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.06.026>
- Yazgi, A., Değirmencioğlu, A. (2016) Development of Prediction Functions for a Maximized Precision Seeding Performance Based on Optimized Variables. Journal of Agriculture Faculty of Ege University, 53 (2), 179-187. DOI: <https://doi.org/10.20289/zfdergi.389108>