CZU: 631.331:004 **https://doi.org/10.59295/tehfizuvs25.07**

SISTEM MECATRONIC DE DISTRIBUȚIE A SEMINȚELOR CONTROLAT DIGITAL, CU DISPOZITIV DE DOZARE ȘI DE CONVERSIE A FLUXULUI IMPRIMAT 3D

DIGITALLY ENABLED MECHATRONIC SEED DISTRIBUTION SYSTEM WITH 3D PRINTED SEED-METERING AND SEED-FLOW CONVERSION DEVICE

Andrei GHEORGHIȚA[1] ORCID ID: 0000-0003-2890-993X
Victor LESCO[2] ORCID ID: 0009-0002-3372-1237

[1,2]Institutul Național de Cercetări Aplicative în Agricultură și Medicină Veterinară, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Abstract. *Seed distribution uniformity on the soil surface is one of the main factors that influence the yield of agricultural crops. Mechanical seed-metering and delivery devices used in construction of the seed drill have a coefficient of variation of the space between seeds of more than 70%. The purpose of the research is to decrease coefficient of variation of space between seeds by using digitally enabled mechatronic seed distribution system with 3d printed seed-metering and seed-flow conversion device, without human involvement. The digital control parameters and process automation control, by using microcontroller, allowed setting functional parameters such as rotation speed, air velocity and data acquisition from the sensors. Experimental research with the mechatronic distribution system was carried out both on the laboratory installation and on the experimental cart in the soil channel, at different speeds in travel mode. Research results, conducted on mechatronic seed distribution system, show that 3D printed experimental device, air speed, and travel speed 3,2 m/s, reduce distribution uniformity coefficient of variation to 13-22%.*
Keywords: *digital, distribution uniformity, mechatronic system, seed drill, 3D printed.*

1. INTRODUCERE

Potrivit Organizației Națiunilor Unite, creșterea continuă a populației mondiale și urbanizarea vor duce la o creștere anuală treptată a presiunii cererii de produse agricole, cu 50 % în 2030 și cu 59 % până la 98 % în 2050 față de 2005/2007. Agricultorii din întreaga lume vor trebui să crească producția agricolă în condiții de deteriorare a solului, de scădere a disponibilității terenurilor și de fluctuații climatice tot mai mari. Presiunea treptată a cererii de produse agricole impune noi cerințe industriei agricole, atât în ceea ce privește tehnologiile pentru cultivarea culturilor, cât și în ceea ce privește utilajele utilizate. Randamentul culturilor de cereale depinde în mare măsură de calitatea lucrărilor agricole, iar aceasta din urmă depinde de construcția componentelor mașinilor. Principalele tendințe la nivel mondial se referă la adaptarea treptată a mașinilor agricole la nevoile industriei agricole 4.0 (Industria 4.0, Agricultura 4.0) [1, 4, 9, 22]. Atingerea acestui obiectiv implică modernizarea mașinilor și echiparea acestora cu sisteme mecatronice digitale pentru controlul proceselor tehnologice [5, 10, 11, 19], creând astfel posibilitatea creșterii preciziei și vitezei de lucru a mașinilor de semănat fără a modifica construcția dispozitivelor mecanice. Gestionarea digitală a sistemelor mecatronice de distribuție la semănători implică luarea de decizii cu privire la modul în care trebuie să evolueze cantitățile implicate în funcționarea acelui proces și, prin urmare, emiterea de comenzi pentru a asigura evoluția dorită. Deciziile de gestionare pot fi luate numai pe baza informațiilor obținute din cadrul procesului gestionat, informații care se referă la valorile

parametrilor semnificativi pentru caracterizarea procesului. Informațiile respective sunt obținute ca rezultat al unor operațiuni de măsurare.

Uniformitatea fluxului de semințe distribuit de cilindrul canelat este un aspect critic în construcția semănătorii, deoarece determină modul în care semințele sunt semănate de-a lungul rigolei și, prin urmare, poate afecta randamentul culturii. Prin utilizarea unui sistem mecatronic cu control digital, semănătoarea poate asigura un flux uniform de semințe și la o viteză constantă a cilindrului canelat, astfel încât fiecare canelură să distribuie aceeași cantitate de semințe [12, 13]. În plus, senzorii pot fi utilizați pentru a detecta potențiale blocaje sau probleme în fluxul de semințe și pentru a regla parametrii de menținere a uniformitatea distribuției semințelor. În acest sens, instalarea unui sistem mecatronic cu control digital poate îmbunătăți semnificativ uniformitatea distribuției semințelor.

În ciuda numeroaselor studii în acest domeniu [2, 3, 4, 13, 21, 22], există încă multe probleme legate de asigurarea calității funcționale a sistemelor de distribuție. Astfel, conform cercetărilor efectuate în cadrul Laboratorului de Mașini Agricole [6, 7, 8, 22], distribuția neuniformă a semințelor de-a lungul rândului în sistemele de distribuție ale semănătorilor pentru culturi cerealiere poate ajunge până la 70-80% [6, 7, 17, 22]. Această situație este cauzată în principal de procesul de funcționare a dispozitivelor de dozare și a sistemele de transport către organele de încorporare.

Cercetarea efectuată are ca scop reducerea coeficientul de variație al spațiului dintre semințe prin utilizarea unui sistem mecatronic de distribuție a semințelor cu control digital, fără intervenție omului, și utilizarea dispozitivului de dozare și dispozitivului de conversie a fluxului de semințe cu parametrii constructivi modificați, imprimate 3D.

2. MATERIALE ȘI METODE

Pentru a elimina erorile subiective care pot fi comise de cercetător, standul pentru efectuarea experimentelor pe sistemul de distribuție a fost organizat și automatizat în conformitate cu schema de principiu, cu proces automat de organizare a experimentelor (Figura 1).

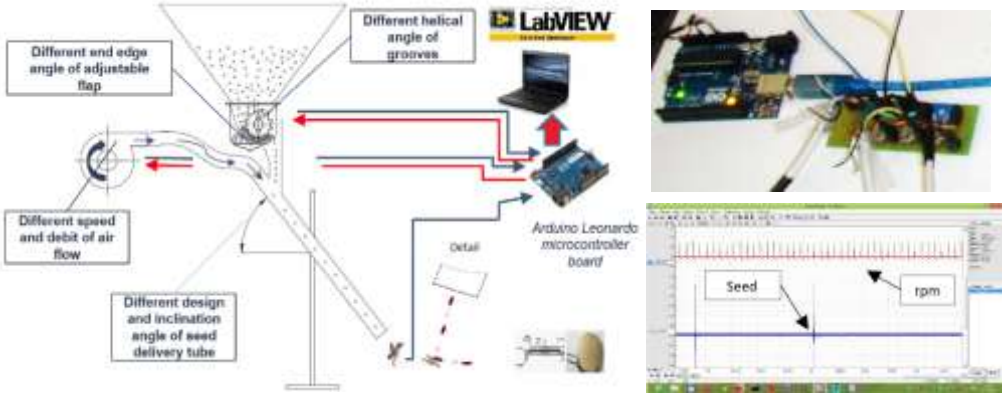


Figura 1. Schema principială de organizare a experiențelor pentru determinarea uniformității distribuției la sistemul mecatronic de distribuție a semințelor cu control digital semințelor.

Experimentele au fost realizate la instalației de cercetare a sistemului de distribuție elaborată în baza schemei principale de organizare a experimentelor în cadrul Laboratorului de Mașini Agricole. Controlul digital al experiențelor a fost efectuat de la calculator prin intermediul plăcilor electronice (microcontroler) de tip Arduino și al software-ului LabVIEW iar întreg procesul de control și achiziție de date la cercetarea experimentală a fost automatizat, iar eroarea umană exclusă.

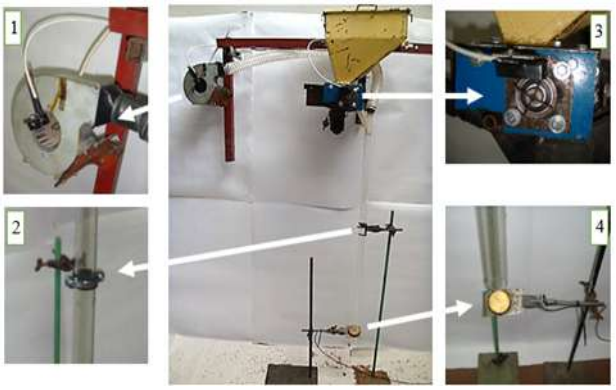


Figura 2. Sistem de distribuție a semințelor mecatronic cu control digital:
1 – ventilator, 2 – tub de refulare din sticlă cu dispozitiv de fixare, 3 – dispozitiv de menținere și înregistrare a rotațiilor arborelui de antrenare a cilindrul canelat, 4 – senzor piezoelectric cu dispozitiv de fixare.

Instalația a fost fixată pe un cadru metalic (Figura 2) la o înălțime de 1,5 metri de podeaua laboratorului pentru a asigura posibilitatea instalării tuburilor de alimentare de dimensiuni reale, precum și o mai bună accesibilitate și vizibilitate. Senzorul piezoelectric (3) este situat în zona de descărcare a semințelor. Controlul digital era realizat prin intermediul plăcii de procesare de tip Arduino Nano 3.0 bazată pe microcontrolerul ATMega 328, conectată la un notebook HP Probook 6310, a fost utilizată pentru a acționa și regla regimurile de funcționare ale motoarelor electrice.

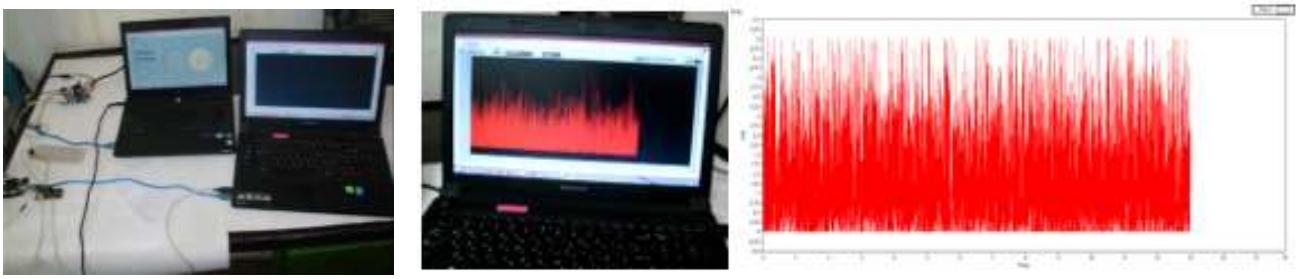


Figura 3. Sistemul automatizat de control și achiziție al sistemului mecatronic.

Motorul de curent continuu de 12-24 V era alimentat și controlat prin modularea lățimii de impuls (PWM) cu un amplificator de semnal de 5 V de la placa de achiziție prin optoizolator de tip 4n35 conectat la tranzistor MOSFET IRF530. Tranzistorul modula curentul care trecea de la sursă la drenaj în funcție de factorul de umplere al curentului aplicat la bază. Achiziția datelor de la senzorul piezoelectric a fost realizată prin placa de procesare Arduino Uno R3.0 (Figura 3) bazată pe microcontrolerul ATMega 328. Pentru a asigura comunicarea între LabVIEW și placa electronică Arduino, codul sursă Linx a fost compilat și încărcat în memoria plăcii electronice din interfața LabVIEW MakerHub.

Codul este prezentat în diagrama bloc (Figura 4), dezvoltat pentru achiziția și prezentarea datelor și reprezintă nodurile programului, precum și structurile decizionale, operatorii matematici, funcțiile de procesare logică prin care aplicația efectua calculele necesare pentru controlul și achiziția de date.

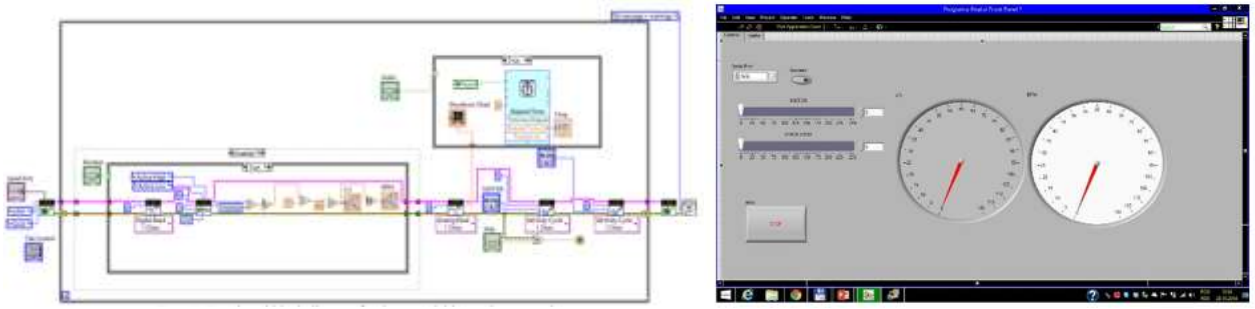


Figura 4. Diagrama bloc și panoul frontal de comandă.

Panoul frontal (Figura 4) constă dintr-un panou de control cu două file. Prima filă este utilizată pentru a controla viteza motorului electric. Pe aceasta sunt amplasate două indicatoare pentru a simula factorul de umplere al tipului de glisieră cu o scală de la 0 la 255.

Piesele fabricate 3D erau proiectate cu ajutorul programului DS Soliworks, au fost exportate în format STL, iar cu ajutorul programului AXON (Figura 5) au fost importate către imprimanta 3D.



Figura 5. Elaborarea elementelor constructive cu imprimanta 3D.

Fabricarea pieselor sistemului de distribuție (Figura 5), care ulterior au fost supuse încercărilor, s-a realizat la imprimanta 3D BfB, cu suprafața de printare 275x275x210 mm. Acest printer 3D permite realizarea modelelor din materiale plastice sau compozite ABS și Polylactic acid (PLA) cu definiție și rezoluție de până la 0,125 mm.

Studiul experimental privind sistemul mecatronic de distribuție cu dispozitivul de recepție și convertire a fluxului de semințe imprimat 3D și transportarea semințelor forțată prin folosirea fluxului de aer cu suprapresiune creată de ventilator a fost efectuat pe instalația experimentală pentru canalul cu sol (Figura 6).



Figura 6. Vederea generală a instalației experimentale pentru canalul cu sol și determinarea uniformității de repartizare a semințelor în rigolă.

La baza încercărilor în canalul cu sol a stat principiul deplasării relative a sistemului de distribuție față de sol. Experiențele în canalul de sol au fost realizate la treapta II, III și a IV (respectiv de 1; 2,1; 3,2

m/s) asigurându-se astfel deplasarea căruciorului cu o viteza de până la 11,2 km/h. Transportarea materialului semincer către brăzdar se efectua atât sub acțiunea gravitației cât și forțat în flux de aer cu suprapresiune, viteza acestuia fiind stabillită la 4; 8 m/s. Frecvența de rotație a cilindrului canelat (n) era setată prin intermediul software-ului LabVIEW instalat în Notebook la 20; 40 și 60 min^{-1}.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

3.1. Analiza repartizării semințelor la instalația de laborator.

Datele au fost prelucrate conform metodologiei și prezentate sub formă de diagrame pentru fiecare obiect al cercetărilor la regimurile respective de lucru. În figura 7 este prezentată influența turației cilindrului canelat asupra coeficientului de variație a timpului dintre semințe în funcție de tipul aparatului de distribuție.

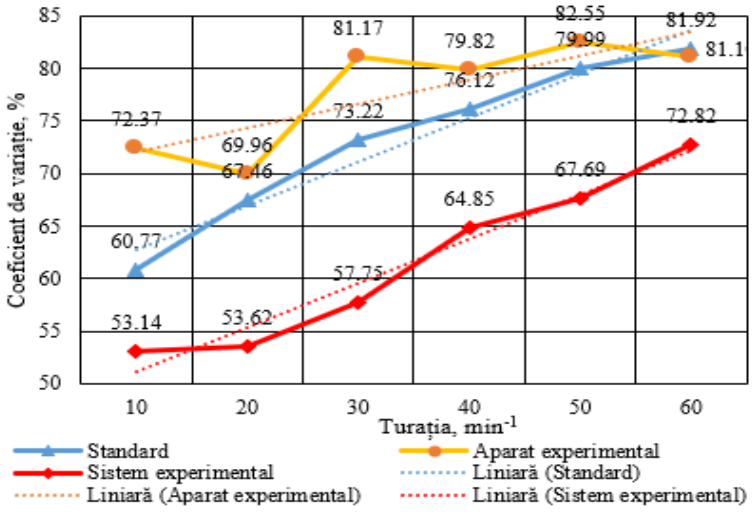


Figura 7. Influența turației asupra coeficientului de variație a timpului dintre semințe în funcție de tipul aparatului utilizat

Din analiza diagramei se observă că, cu cât este mai mare turația cilindrului canelat, cu atât mai mult crește aproximativ liniar coeficientul de variație a timpului la toate cele trei tipuri de aparate de distribuție. Cel mai mare coeficient de variație, în funcție de turație, se atestă la aparatul de distribuție experimental, având o fluctuație mai mare dintre valori la diferite turații. Polilinia formată de aparatul experimental de distribuție are caracterul cel mai puțin ascendent în comparație cu celelalte două tipuri de aparate de distribuție. La o privire pe ansamblu se observă că cele mai mici valori ale coeficientului de variație a timpului sunt la sistemul de distribuție experimental, care formează o linie aproximativ dreaptă, cu caracter ascendent mai puțin pronunțat, în comparație cu aparatul de distribuție standard, pe intervalul turației 10-60 min-1. Valoarea cea mai mică a coeficientului de variație a timpului este 53,14% la turația de 10 min-1 a cilindrului canelat al sistemului de distribuție experimental.

În baza rezultatelor experimentale obținute la cercetarea sistemului de distribuție experimental, în componența căruia intră și dispozitivul de recepție și convertire a fluxului de semințe prin care se refula un flux de aer cu viteze (v_a) în intervalul 0, 2, …8 m/s, la rotații a cilindrului canelat 10 ... 60 rot a fost obținut modelul matematic al frecvenței statistice a coeficientului de variație a distanței dintre semințele distribuite în dependență de valorile factorilor prestabiliți, care se descrie prin următoarea relație:

$$C_v = 54{,}2156 + 0{,}451258 \cdot n + 2{,}33255 \cdot V_a + 0{,}000197568 \cdot n^2 - 0{,}03251 \cdot n \cdot V_a - 0{,}499644 \cdot V_a^2 \quad (1)$$

Din analiza suprafețelor de răspuns (Figura 8) se observă că factorul respectiv tinde să-i atribuie suprafeței de răspuns o formă încovoiată. Valoarea cea mai mică a coeficientului de variație a timpului este atinsă la valoarea maximă a vitezei aerului, de 8 m/s.

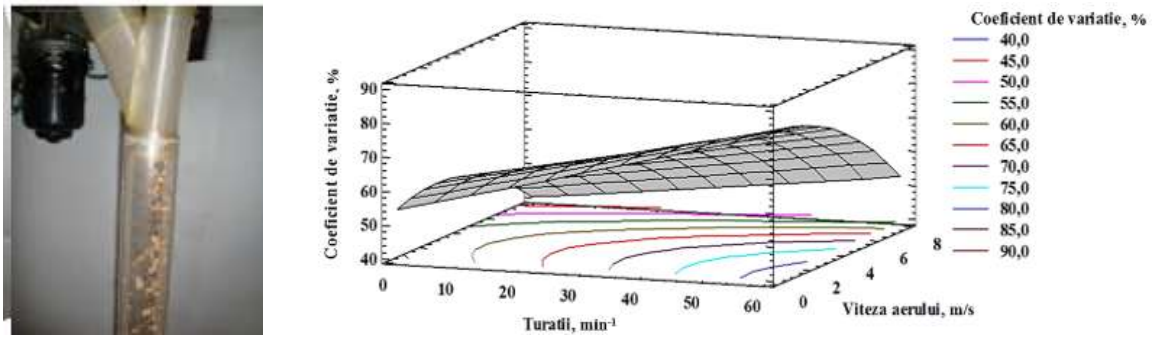


Figura 8. Uniformitatea distribuției semințelor și suprafața de răspuns a coeficientului de variație în raport cu turațiile cilindrului canelat și viteza aerului din tub la sistemul mecatronic

Valoarea optimă a coeficientului de variație a timpului C_v, după minim, este egală cu 42,83% pentru următoarele valori ale factorilor: turații – **10,0 min^{-1}**; viteza aerului – **8,0 m/s**.

3.2. Analiza repartizării boabelor de-a lungul rândului în canalul cu sol.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate la canalul cu sol asupra sistemului de distribuție experimental la diferite regimuri de lucru au fost prelucrate conform metodologiei și prezentate sub formă de diagrame pentru fiecare regim de lucru. Reprezentarea grafică a influenței vitezei aerului din tubul de conducere asupra coeficientului de variație a distanței dintre semințe (Figura 9) este descrisă de o parabolă ale cărei ramuri descresc puțin pe intervalul vitezei aerului 0-4 m/s – de la 30,02% la 28,98%, cu o diferență de un punct procentual, și capătă caracter de creștere accentuat pe intervalul vitezei aerului 4-8 m/s – de la 28,98% la 35,30%, cu o diferență de 7 puncte procentuale.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate la canalul cu sol asupra sistemului de distribuție experimental la diferite regimuri de lucru au fost prelucrate conform metodologiei și prezentate sub formă de diagrame pentru fiecare regim de lucru.

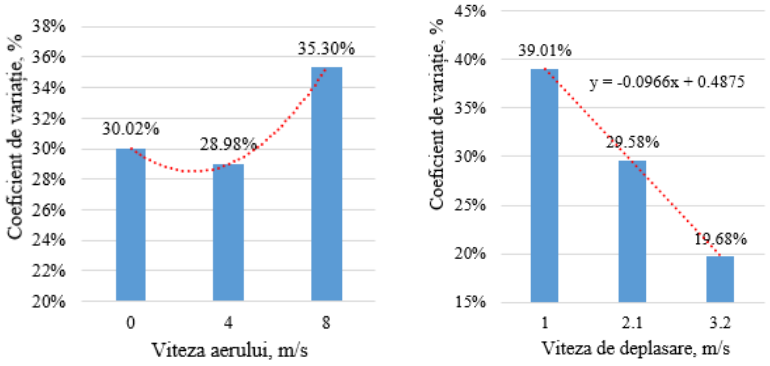


Figura 9. Influența vitezei aerului din tubul de conducere și vitezei de deplasare a căruciorului mobil asupra coeficientului de variație a distanței dintre semințe

Reprezentarea grafică a influenței vitezei aerului din tubul de conducere asupra coeficientului de variație a distanței dintre semințe (Figura 9) este descrisă de o parabolă ale cărei ramuri descresc puțin pe intervalul vitezei aerului 0-4 m/s – de la 30,02% la 28,98%, cu o diferență de un punct procentual, și capătă caracter de creștere accentuat pe intervalul vitezei aerului 4-8 m/s – de la 28,98% la 35,30%, cu o diferență de 7 puncte procentuale.

O vizualizare mai reprezentativă a influenței vitezei aerului la cele trei viteze de deplasare a căruciorului asupra coeficientului de variație a distanței dintre semințe este prezentată în figura 10.

Din analiza diagramei se observă că coeficientul de variație a distanței dintre semințe este descris de o funcție liniară descendentă în funcție de viteza de deplasare a căruciorului mobil la toate trei viteze ale aerului, de 0, 4 și 8 m/s.

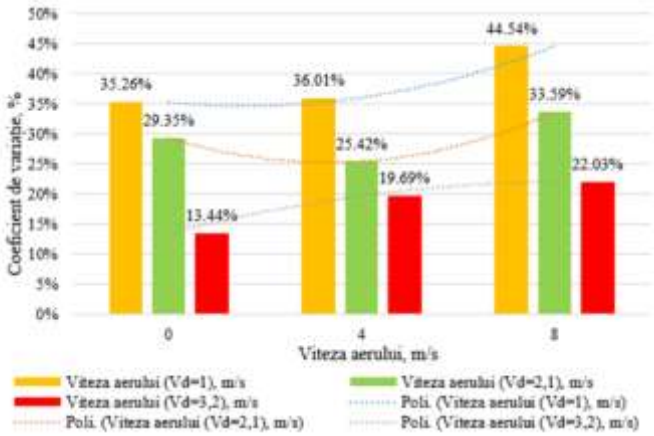


Figura 10. Influența vitezei aerului la diferite viteze de deplasare a căruciorului experimental asupra coeficientului de variație a distanței dintre semințe

Un caracter mai pronunțat de descreștere se observă la viteza aerului de 0 m/s, unde coeficientul de variație a distanței dintre semințe scade de la 35,26%, la viteza de deplasare 1 m/s, la 29,35%, la viteza de deplasare 2,1 m/s, adică cu 6 puncte procentuale, până la 13,44% la viteza de deplasare 3,2 m/s, ceea ce înseamnă o scădere cu aproximativ 16 puncte procentuale. Cele mai mici valori ale coeficientului de variație a distanței dintre semințe sunt la viteza de deplasare a căruciorului mobil de 3,2 m/s pe tot intervalul vitezei aerului de la 8 m/s – 22,03 %, 4 m/s – 19,69 % și 0 m/s – 13,44 %.

În baza rezultatelor experimentale obținute la cercetarea sistemului de distribuție experimental, în componența căruia intră și dispozitivul de recepție și convertire a fluxului de semințe prin care se refula un flux de aer cu viteze (v_a) în intervalul 0, 2, …8 m/s, la deplasarea acestuia față de suprafața solului cu ajutorul căruciorului mobil la viteze (v_d) de 1, 2,1 și 3,2 m/s, a fost obținut modelul matematic al frecvenței statistice a coeficientului de variație a distanței dintre semințele distribuite în dependență de valorile factorilor prestabiliți, care se descrie prin următoarea relație:

$$C_v = 54{,}2156 + 0{,}451258 \cdot \mathrm{n} + 2{,}33255 \cdot V_a + 0{,}000197568 \cdot n^2 - 0{,}03251 \cdot n \cdot V_a - 0{,}499644 \cdot V_a^2 \quad (2)$$

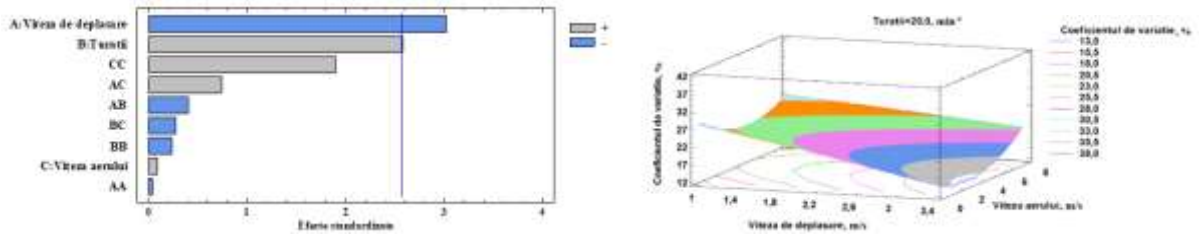


Figura 11. Diagrama standardizată a lui Pareto și estimarea evoluției coeficientului de variație a distanței dintre semințe în raport cu viteza de deplasare a căruciorului experimental și viteza aerului din tub.

Valoarea optimă a coeficientului de variație Cv, după minim, este egală cu 13,38 % pentru următoarele valori ale factorilor: viteza de deplasare – 3,2 m/s; turații – 10,0 min-1; viteza aerului – 2,9 m/s.

CONCLUZII

1. Datorită dispozitivului de recepție și convertire imprimat 3D se micșorează diametrul secțiunii transversale a fluxului de semințe la evacuare din tubul de conducere, care este egal sau mai mic de 20 mm, iar axa repartizării fluxului de semințe este orientată de-a lungul axei rigolei, ceea ce duce la o suprafață de repartizare a semințelor mai mică și mai uniformă de-a lungul rigolei.
2. Pentru a soluționa problema coordonării procesului de dozare a semințelor și transportarea acestora de-a lungul tuburilor de conducere viteza aerului în tubul de conducere a semințelor nu trebuie să o depășească pe cea critică și să fie în intervalul 4-8 m/s [18].
3. Reducerea timpului deplasării semințelor prin tubul de conducere permite majorarea vitezei de deplasare a agregatului cel puțin până la 3,2 m/s (12 km/h).
4. Rezultatele cercetărilor, efectuate asupra sistemului mecatronic de distribuție a semințelor, arată că dispozitivul experimental imprimat 3D, viteza aerului, și viteza de deplasare de 3,2 m/s, reduce coeficientul de variație al uniformității distribuției până la 13–22%.
5. Toate cel menționate mai sus contribuie la îmbunătățirea calității semănatului și, implicit, la creșterea productivității, la reducerea costurilor și pierderilor în producția culturilor cerealiere.

REFERINȚE:

1. LEZOCHE, M., HERNANDEZ, J., ALEMANY D., MARIA DEL MAR E., PANETTO, H., KACPRZYK, J. Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. In: Global Food Security: Elsevier B.V., vol. 117, 2020, 103187. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187.
2. SUGIRBAY, A. M., ZHAO, J., NUKESHEV, S. O., CHEN, J. Determination of pin-roller parameters and evaluation of the uniformity of granular fertilizer application metering devices in precision farming. Computers and Electronics in Agriculture, 179, 2020,105835. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2020.105835.
3. XI, X., GU, C., SHI, Y., ZHAO, Y., ZHANG, Y., ZHANG, Q., JIN, Y., ZHANG, R. Design and experiment of no-tube seeder for wheat sowing. Soil and Tillage Research, 204, 2020, 104724. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2020.104724.
4. XIE, C., YANG, L., ZHANG, D., CUI, T., ZHANG, K., HE, X., DU, Z. Design of smart seed sensor based on microwave detection method and signal calculation model. Computers and Electronics in Agriculture, 199, 2022, 107178. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2022.107178.
5. XIE, C., ZHANG, D., YANG, L., CUI, T., YU, T., WANG, D., XIAO, T. Experimental analysis on the variation law of sensor monitoring accuracy under different seeding speed and seeding spacing. Computers and Electronics in Agriculture, 189, 2021, 106369. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2021.106369.
6. GHEORGHIȚA, A., SERBIN, V. Influenţa unghiului de orientare a canelurilor asupra masei seminţelor distribuite la aparatele de distribuţie cu cilindru canelat. Chişinău: s.n., 2013. pp. 108-112. ISSN 1857-0003.
7. GHEORGHIȚA, A. Rezultatele testării în cîmp a aparatului de distribuție cu cilindri canelați modernizați. Chișinău: Centrul editorial al UASM, 2013. pp. 83-87. Vol. 38. ISBN 978-9975-64-125-8.

8. GHEORGHIŢA, A., SERBIN, VL., BUMACOV, V., GOROBEŢ, V., GADIBADI, M. Aparat de semănat cu cilindru canelat. 989 Moldova, 06 02, 2015. BOPI nr. 1/2016.
9. KLERKX, L., DAVID, R. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. In: International Journal: Elsevier B.V., vol. 24, 2020, pp. 100-107. ISSN 2211-9124. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347.
10. CHEN, C., HE, P., ZHANG, J., LI, X., REN, Z., ZHAO, J., HE, J., WANG, Y., LIU, H., KANG, J. A fixed-amount and variable-rate fertilizer applicator based on pulse width modulation. Computers and Electronics in Agriculture, 148, 2018, pp. 330–336. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.03.033.
11. HE, X., CUI, T., ZHANG, D., WEI, J., WANG, M., YU, Y., LIU, Q., YAN, B., ZHAO, D., YANG, L. Development of an electric-driven control system for a precision planter based on a closed-loop PID algorithm. Computers and Electronics in Agriculture, 136, 2017, pp. 184–192. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2017.01.028.
12. GHEORGHIȚA, A. Optimizarea unghiului de orientare a canelurilor după masa semințelor distribuită la aparatele cu cilindri canelați. În: Lucrări ştiinţifice, UASM. Chişinău, 2013, vol. 38 (Inginerie Agrară și Transport Auto) p. 79-83, 0,2 c.a. ISBN 978-9975-64-251-4.
13. HU, J., ZHAO, X., LIU, W., YAO, M., & ZHAO, J. Development of a Seeding Control Method Based on Seed Height in the Hopper of a Precision Wheat Drill. Applied Engineering in Agriculture, 37(6), 2021, pp. 1131–1138. https://doi.org/10.13031/AEA.14441.
14. HUANG, J. Y., YANG, L. W., ZHANG, J. Q., HU, H., LIU, G. Granular Fertilizer Mass Flow Measurement and Vehicle Experiments Based on Microwave Doppler Method. Applied Engineering in Agriculture, 37(1), 2021, pp. 135–147. https://doi.org/10.13031/AEA.14013.
15. GHEORGHIŢA, A. Influence of seed tube inclination angle and air velocity on the seed flow dosed by devices with fluted rolle. In: Știința Agricolă, nr. 2, 2020, pp. 85-90. ISSN 1857-0003. DOI: 10.5281/zenodo.4321214
16. JIANG, M., LIU, C., DU, X., HUANG, R., DAI, L., YUAN, H. Research on continuous granular material flow detection method and sensor. Measurement, 182, 2021, 109773. https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2021.109773.
17. SERBIN, VL., GHEORGHIŢA, A. Justification of the seed drill machines wheel parameters under the condition of rotation uniformity. In: Știința Agricolă. 2022, nr. 2. ISSN 1857-0003.10.5281.
18. KARAYEL, D., WIESEHOFF, M., ÖZMERZI, A., MÜLLER, J. 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), 2006, pp. 89–96. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2005.05.005.
19. KARIMI, H., NAVID, H., BESHARATI, B., BEHFAR, H., ESKANDARI, I. A practical approach to comparative design of non-contact sensing techniques for seed flow rate detection. Computers and Electronics in Agriculture, 142, 2017, pp. 165–172. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2017.08.027.
20. KUŞ, E. Seed Damage Test for Roller-Type Device Designed at Different Flute Helical Angles. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 7(3), 2021, pp. 495–502. https://doi.org/10.24180/IJAWS.938870.
21. SERBIN, V., GHEORGHIŢA, A. Theoretical researches of seed movement in radial seed tube. In: Ştiinţa Agricolă, nr. 2, 2019, pp. 103-108. ISSN 1857-0003. DOI: 10.5281/zenodo.3611185
22. GHEORGHITA, A., STIOPCA, O., PLATON, A. Evaluation of seed flow uniformity distributed by seed drill inclined fluted roller at computer aided instalation. ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: APPLIED MATHEMATICS, MECHANICS, and ENGINEERING, [S.l.], v. 67, n. 2S, oct. 2024. ISSN 2393–2988. https://atna-mam.utcluj.ro/index.php/Acta/article/view/2428.