

WPLYW CIŚNIENIA POWIETRZA W WIBRATORZE NA WYBRANE PARAMETRY TECHNOLOGICZNE DOZOWNIKA RYNNOWEGO PRZY PODAWANIU NASION BURAKA ĆWIKŁOWEGO

*Joanna Kaniewska, Marek Domoradzki, Krzysztof Żywociński
Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu Chemicznego i Spożywczego
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy*

Streszczenie. Dozownik z wibratorem pneumatycznym wykorzystywany był do zasilania skaryfikatora nasionami buraka ćwikłowego. Badano szybkość dozowania nasion w zależności od podawanego do wibratora powietrza w zakresie ciśnień 0,1-0,4 MPa. Ponadto wyznaczono prędkość nasion buraka w rynnie dozownika. Badania wykazały, że prędkość nasion jest praktycznie niezależna od ich średnicy. Wyznaczono równania opisujące zależność prędkości nasion w rynnie dozownika od ciśnienia powietrza zasilającego wibrator pneumatyczny. W dalszej części pracy skupiono się nad wyznaczeniem współczynnika napełniania. Obliczone zależności podstawiono do równania opisującego wydajność dozowania. Wartości obliczone na podstawie tego równania porównano z danymi doświadczalnymi i stwierdzono, że wyznaczone równanie bardzo dobrze opisuje wydajność dozowania w tym przypadku.

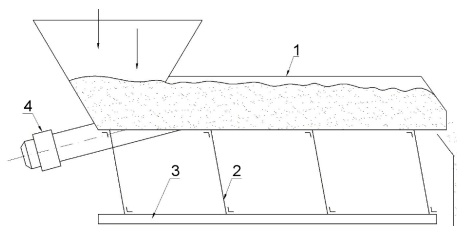
Słowa kluczowe: nasiona buraka, dozownik wibracyjny, wibrator pneumatyczny, wydajność dozowania

Wprowadzenie

Dla prawidłowego przebiegu każdego procesu konieczne jest doprowadzenie odpowiedniej, wymaganej w danym procesie ilości materiału [Zawiślak i in. 2009]. Powoduje to konieczność zastosowania urządzeń służących do okresowego lub ciągłego równomiernego doprowadzenia ściśle określonej ilości surowców w prowadzonym procesie, czyli dozowników [Grochowicz 1994; Błasiński, Młodziński 1971]. W przemyśle spotyka się wiele typów dozowników. Ze względu na zasadę działania wyróżnia się dozowniki cięgnowe, obrotowe i drgające [Serwiński 1971].

Do grupy dozowników drgających należy dozownik wibracyjny rynnowy (rys. 1). Ma on zastosowanie do materiałów suchych, nie klejących się [Koch, Noworyta 2006]. Dozownik składa się z kosza zasypowego i umieszczonej pod nim rynny. Rynna drgająca,

do której zamocowano elektryczny lub pneumatyczny wibrator, jest osadzona na elastycznym zawieszeniu. Jest ona wprowadzana w drgania generujące ruchy posuwisto-zwrotne o określonej amplitudzie. Podczas drgań materiał zostaje poderwany do góry. Rynna wówczas cofa się, ale materiał opada w miejscu dalej położonym. Dzięki temu materiał sukcesywnie przesuwa się w kierunku wysypu.



Rys. 1. Dozownik wibracyjny: 1 – rynna, 2 – zawieszenie, 3 – rama nieruchoma, 4 – wibrator

Fig. 1. Vibrating dispenser 1 – chute, 2 – suspension, 3 – immobile frame, 4 – vibrator

Wydajność dozowników wibracyjnych oblicza się ze wzoru [Błasiński, Młodziński 1971]:

$$Q_m = \varphi \cdot b \cdot h \cdot n \cdot l_s \cdot \rho_u = \varphi \cdot V \cdot u \cdot \rho_u = \varphi \cdot f \cdot u \cdot \rho_u \quad (1)$$

gdzie:

- φ – współczynnik równomierności napełnienia [-],
- b – szerokość rynny [m],
- h – wysokość materiału w rynnie [m],
- $f = b \cdot h$ – powierzchnia poprzeczna materiału w rynnie [m²],
- n – częstość drgań [Hz],
- l_s – skok rynny [s⁻¹],
- ρ_u – gęstość usypowa materiału podawanego [kg·m⁻³],
- u – prędkość liniowa materiału w rynnie [m·s⁻¹].

Zaletą dozowników wibracyjnych z wibratorami pneumatycznymi oraz elektrycznymi jest równomierność doprowadzania materiału, a także prosta budowa. Stąd dozowniki wibracyjne znajdują zastosowanie w rolnictwie, w liniach do przerobu nasion i w liniach technologicznych wielu przemysłów, w tym przemysłu spożywczego. Wydajność dozowania w takich urządzeniach jest kontrolowana poprzez amplitudę drgań rynny zasilającej oraz odległość otworu kosza zasypowego od rynny [Tardos, Lu 1996].

Dozowniki są przedmiotem wielu badań. Prowadzono badania wibracyjnego dozownika sitowego do zasilania przesiewacza do kalibracji nasion warzyw [Poćwiardowski i in. 2011]. Zawisłak i współpracownicy [2009] badali dozownik ślimakowy do precyzyjnego dodawania komponentów paszy.

W przypadku nasion buraka wskazane jest zeszlifowanie powłoki korkowej w celu poprawienia ich zdrowotności [Domoradzki i in. 2007]. Operację tą przeprowadza się w urządzeniach zwanych skaryfikatorami. Bardzo ważnym aspektem szlifowania nasion buraka jest precyzyjne dozowanie, które zapewni właściwy przebieg skaryfikacji. Stąd poszukuje się dozownika pozwalającego na prawidłowe prowadzenie operacji, a w rezultacie zapewniającego poprawę jakości nasion buraka.

Cel pracy

Celem pracy było określenie parametrów pracy pneumatycznego dozownika wibracyjnego z przeznaczeniem do zasilania skaryfikatora do nasion buraków ćwikłowych. Ustalenie ciśnienia powietrza doprowadzanego do wibratora pozwoli na dostosowanie badanego dozownika do wymaganej wydajności dozowania nasion buraków, która powinna zawierać się od 20 do 40 kg·h⁻¹.

Materialy i metody

Do badań użyto nasion buraka ćwikłowego odmiany Astar. Nasiona rozdzielono na frakcje w wielopokładowym ciągłym kalibratorze do nasion [Domoradzki i in. 2002]. Do dalszych badań użyto te o średnicach nasion zawierających się w granicach 2,5-3,0; 3,0-3,5; 3,5-4,0 i 4,0-4,5 mm.

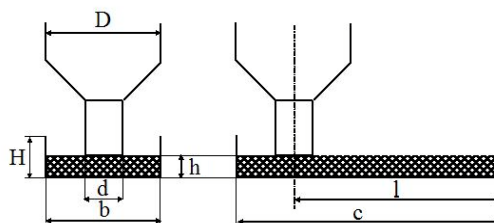
Badania prowadzono w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki opisywano równaniami, a istotność ich współczynników analizowano statystycznie stosując test t-Studenta. Do obliczeń posłużono się programem MS Excel.

Aparatura

Zbudowano dozownik wibracyjny z wibratorem pneumatycznym przedstawiony na fotografii (rys. 2) i schemacie (rys. 3).



Rys. 2. Dozownik wibracyjny z wibratorem pneumatycznym
Fig. 2. Vibrating dispenser with a pneumatic vibrator



Rys. 3. Schemat i wymiary rynny dozownika
Fig. 3. Scheme and dimensions of a dispenser's chute

Urządzenie składało się ze zbiornika zasypowego o średnicy $D=355$ mm i wysokości części cylindrycznej 200 mm. Całkowita wysokość zbiornika wynosiła 490 mm. Otwór wysypowy zbiornika miał średnicę $d=32$ mm (3/4"). Jako generatora drgań rynny użyto wibratora pneumatycznego osadzonego na sprężynach płaskich. Rynna, po której przemieszczał się dozowany materiał, miała wymiary: szerokość $b=59$ mm, wysokość $H=28$ mm i długość $l=600$ mm.

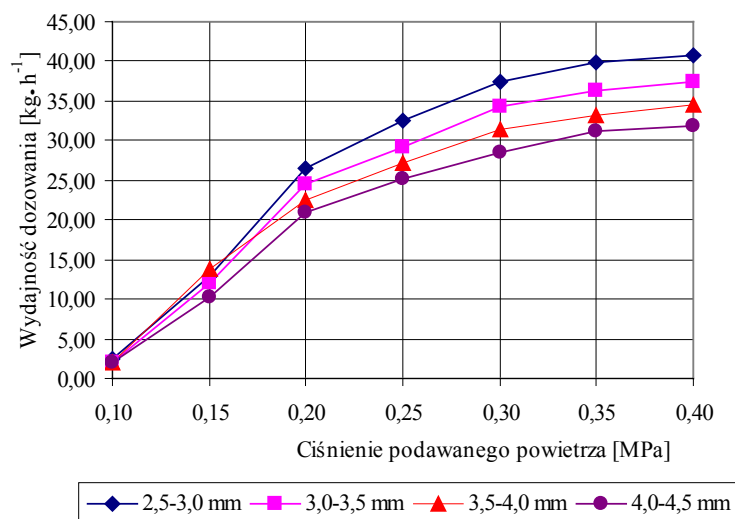
Częstość drgań rynny była regulowana reduktorem ciśnienia powietrza podawanego do wibratora pneumatycznego w zakresie od 0,1 do 0,4 MPa. Wysokość wysypu od dna rynny ustalono na $h=10$ mm.

Wyniki

Poszukiwano parametrów pracy dozownika dla szybkości dozowania do 20 do 40 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$. Wydajność dozowania regulowano poprzez zmianę ciśnienia powietrza doprowadzanego do wibratora pneumatycznego. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

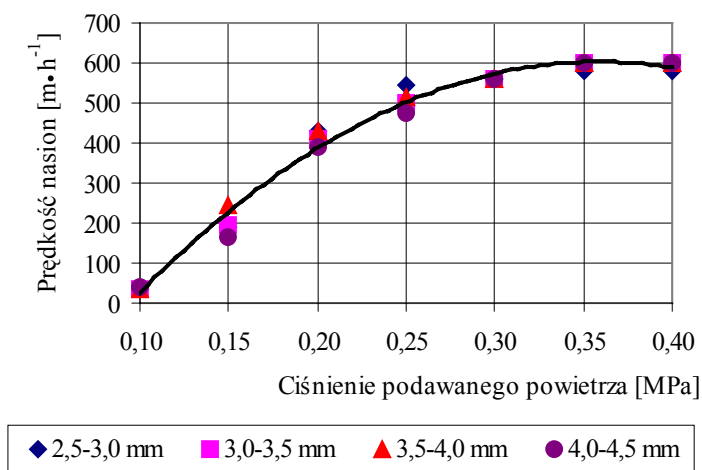
Tabela 1. Wyniki badań dozownika pneumatycznego
Table 1. Research results of a pneumatic dispenser

Lp.	Frakcja nasion	Ciśnienie powietrza P	Prędkość materiału w rynnie U	Wydajność masowa Q_m	Gęstość usypowa ρ_u	Wydajność objętościowa Q_v
	[mm]	[Mpa]	[$\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$]	[$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$]	[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	[$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]
1.1.	2,5-3,0	0,10	35,43	2,34	422,5	0,0055
1.2.	2,5-3,0	0,15	191,49	12,98	422,5	0,0307
1.3.	2,5-3,0	0,20	428,57	26,55	422,5	0,0628
1.4.	2,5-3,0	0,25	545,45	32,52	422,5	0,0770
1.5.	2,5-3,0	0,30	562,50	37,35	422,5	0,0884
1.6.	2,5-3,0	0,35	580,65	39,90	422,5	0,0944
1.7.	2,5-3,0	0,40	580,65	40,80	422,5	0,0966
2.1.	3,0-3,5	0,10	33,71	1,98	421,8	0,0047
2.2.	3,0-3,5	0,15	195,65	12,08	421,8	0,0286
2.3.	3,0-3,5	0,20	409,09	24,45	421,8	0,0580
2.4.	3,0-3,5	0,25	500,00	29,10	421,8	0,0690
2.5.	3,0-3,5	0,30	562,50	34,20	421,8	0,0811
2.6.	3,0-3,5	0,35	600,00	36,30	421,8	0,0861
2.7.	3,0-3,5	0,40	600,00	37,50	421,8	0,0889
3.1.	3,5-4,0	0,10	34,48	2,10	421,7	0,0050
3.2.	3,5-4,0	0,15	243,24	13,88	421,7	0,0329
3.3.	3,5-4,0	0,20	428,57	22,50	421,7	0,0534
3.4.	3,5-4,0	0,25	514,29	27,15	421,7	0,0644
3.5.	3,5-4,0	0,30	562,50	31,50	421,7	0,0747
3.6.	3,5-4,0	0,35	600,00	33,30	421,7	0,0790
3.7.	3,5-4,0	0,40	600,00	34,50	421,7	0,0818
4.1.	4,0-4,5	0,10	39,30	2,06	421,6	0,0049
4.2.	4,0-4,5	0,15	163,64	10,20	421,6	0,0242
4.3.	4,0-4,5	0,20	391,30	20,85	421,6	0,0495
4.4.	4,0-4,5	0,25	473,68	25,20	421,6	0,0598
4.5.	4,0-4,5	0,30	562,50	28,50	421,6	0,0676
4.6.	4,0-4,5	0,35	600,00	31,20	421,6	0,0740
4.7.	4,0-4,5	0,40	600,00	31,80	421,6	0,0754



Rys 4. Zależność wydajności dozowania od ciśnienia powietrza podawanego do wibratora pneumatycznego dozownika dla kolejnych frakcji nasion buraka

Fig. 4. Relation of dispenser efficiency to air pressure supplied to a pneumatic vibrator of a dispenser for subsequent fractions of beetroot seeds



Rys. 5. Zależność prędkości liniowej nasion od ciśnienia powietrza podawanego do wibratora pneumatycznego

Fig. 5. Relation of the linear speed of seeds to air pressure supplied to a pneumatic vibrator

Na wykresie (rys. 4) przedstawiono zależność wydajności dozowania materiału od ciśnienia powietrza podawanego do wibratora pneumatycznego dla wybranych czterech frakcji nasion. Średnica nasion ma wpływ na wydajność dozowania. Najwyższą wydajnością dozowania w dozowniku wibracyjnym charakteryzowały się nasiona z frakcji o średnicy 2,5-3,0 mm. Taki sam rezultat uzyskano w badaniach dozownika ślimakowego w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie [Zawiślak i in. 2009]. Tardos i Lu [1996], którzy prowadzili badania dozowników ślimakowego i wibracyjnego, uznali wyższość tego drugiego za względu na precyzję i większy zakres wydajności dozowania.

Jak wynika z wykresu przedstawionego na rysunku 5 prędkość liniowa nasion buraka ćwikłowego w rynnie jest praktycznie niezależna od ich średnicy. Prędkość przemieszczania się nasion w rynnie w zależności od ciśnienia powietrza w wibratorze pneumatycznym można opisać wzorem:

$$u = -2,3937 \cdot P^2 + 1,7166 \cdot P - 0,1401 \quad R^2=0,993 \quad (2)$$

gdzie:

P – ciśnienie powietrza doprowadzanego do wibratora pneumatycznego [MPa].

Testowane współczynniki równania są istotne przy $p < 0,05$.

W dalszej części badań podjęto się wyznaczenia współczynnika równomierności napełnienia rynny dozownika. W tym celu należało wyznaczyć powierzchnię przekroju rynny, którą w tym przypadku stanowi iloczyn szerokości rynny $b = 0,059$ m i wysokości warstwy nasion. Nasiona tworzą warstwę równą odległości otworu wysypowego zbiornika od dna rynny, czyli $h = 0,01$ m. Stąd powierzchnia przekroju rynny można przedstawić jako:

$$f = b \cdot h \quad (3)$$

i wówczas $f = 0,00059$ m². Tak wyliczona zależność wraz z gęstością usypową i prędkością liniową nasion w rynnie pozwoliła na obliczenie poszczególnych współczynników równomierności napełnienia rynny wg wzoru:

$$\varphi_n = \frac{Q_m}{\rho_u \cdot f \cdot u} \quad (4)$$

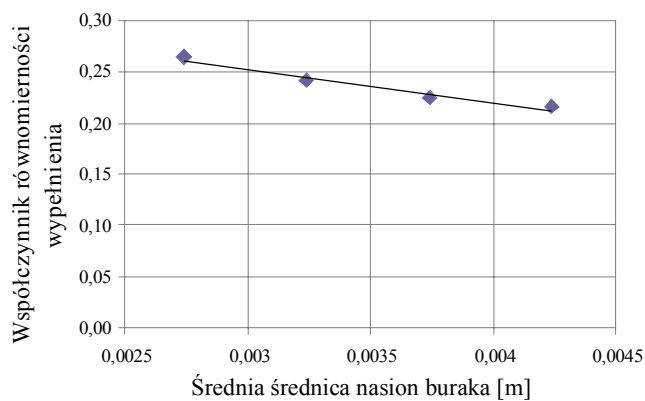
Tabela 2. Obliczenia wydajności dozowania w dozowniku wibracyjnym

Table 2. Calculations of dispenser efficiency in a vibrating dispenser

Lp.	Frakcja nasion	Wydajność masowa Q_m pomiar	Prędkość materiału w rynnie u	Powierzchnia przekroju rynny f	Gęstość usypowa ρ_u	Współczynnik równomierności wypełnienia φ	Wydajność masowa Q_m obliczona
	[mm]	[kg·h ⁻¹]	[m·s ⁻¹]	[m ²]	[kg·m ⁻³]	[-]	[kg·h ⁻¹]
1.1.	2,5-3,0	2,34	0,010	0,00059	422,5	0,265	1,85
1.2.	2,5-3,0	12,98	0,053	0,00059	422,5	0,272	15,40
1.3.	2,5-3,0	26,55	0,119	0,00059	422,5	0,249	26,05
1.4.	2,5-3,0	32,52	0,152	0,00059	422,5	0,239	33,80
1.5.	2,5-3,0	37,35	0,156	0,00059	422,5	0,266	38,64
1.6.	2,5-3,0	39,9	0,161	0,00059	422,5	0,276	40,59
1.7.	2,5-3,0	40,8	0,161	0,00059	422,5	0,282	39,64

Lp.	Frakcja nasion	Wydajność masowa Q_m pomiar	Prędkość materiału w rynnie u	Powierzchnia przekroju rynny f	Gęstość usypowa ρ_u	Współczynnik równomierności wypełnienia φ	Wydajność masowa Q_m obliczona
	[mm]	[kg·h ⁻¹]	[m·s ⁻¹]	[m ²]	[kg·m ⁻³]	[-]	[kg·h ⁻¹]
2.1.	3,0-3,5	1,98	0,009	0,00059	421,8	0,236	1,73
2.2.	3,0-3,5	12,08	0,054	0,00059	421,8	0,248	14,40
2.3.	3,0-3,5	24,45	0,114	0,00059	421,8	0,240	24,35
2.4.	3,0-3,5	29,1	0,139	0,00059	421,8	0,234	31,60
2.5.	3,0-3,5	34,2	0,156	0,00059	421,8	0,244	36,13
2.6.	3,0-3,5	36,3	0,167	0,00059	421,8	0,243	37,95
2.7.	3,0-3,5	37,5	0,167	0,00059	421,8	0,251	37,06
3.1.	3,5-4,0	2,1	0,010	0,00059	421,7	0,245	1,61
3.2.	3,5-4,0	13,88	0,068	0,00059	421,7	0,229	13,42
3.3.	3,5-4,0	22,5	0,119	0,00059	421,7	0,211	22,69
3.4.	3,5-4,0	27,15	0,143	0,00059	421,7	0,212	29,45
3.5.	3,5-4,0	31,5	0,156	0,00059	421,7	0,225	33,67
3.6.	3,5-4,0	33,3	0,167	0,00059	421,7	0,223	35,37
3.7.	3,5-4,0	34,5	0,167	0,00059	421,7	0,231	34,54
4.1.	4,0-4,5	2,06	0,011	0,00059	421,6	0,211	1,49
4.2.	4,0-4,5	10,2	0,045	0,00059	421,6	0,251	12,44
4.3.	4,0-4,5	20,85	0,109	0,00059	421,6	0,214	21,04
4.4.	4,0-4,5	25,2	0,132	0,00059	421,6	0,214	27,30
4.5.	4,0-4,5	28,5	0,156	0,00059	421,6	0,204	31,21
4.6.	4,0-4,5	31,2	0,167	0,00059	421,6	0,209	32,79
4.7.	4,0-4,5	31,8	0,167	0,00059	421,6	0,213	32,02

Dla poszczególnych frakcji nasion buraka obliczono średni współczynnik równomierności napełnienia rynny dozownika pneumatycznego. Wielkości współczynnika dla kolejnych średnich średnic badanych nasion przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność współczynnika φ od średniej średnicy nasion w kolejnych frakcjach
 Fig. 6. Relation of φ coefficient to a mean seeds diameter in subsequent fractions

Dla obliczeń dozownika wibracyjnego nasion buraka otrzymano zależność współczynnika równomierności napełnienia rynny od średnicy frakcji sitowej wyrażoną równaniem liniowym, którego współczynniki są istotne przy $p < 0,05$:

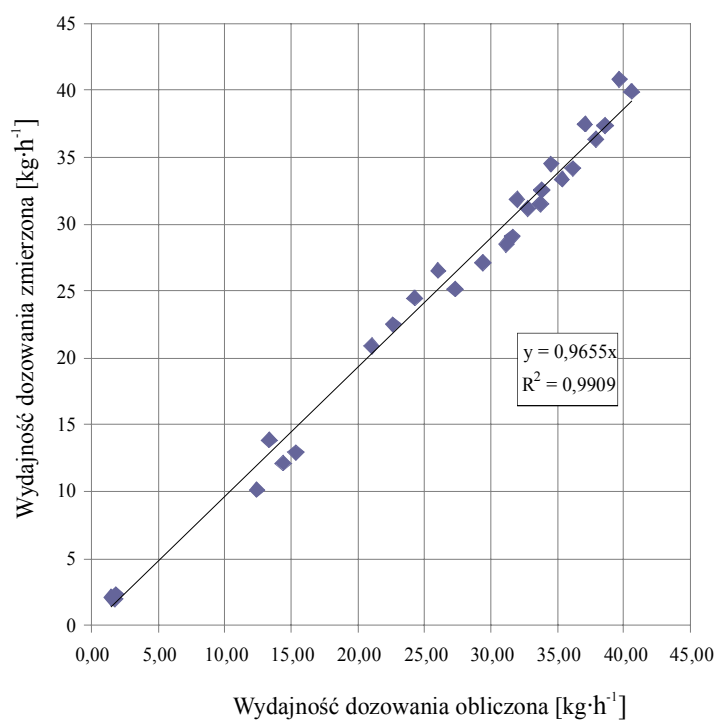
$$\varphi = -34,222 \cdot d_e + 0,3638 \quad R^2 = 0,968 \quad (7)$$

Wówczas podstawiając zależność współczynnika φ do równania opisującego wydajność dozowania nasion buraka za pomocą pneumatycznego dozownika wibracyjnego otrzymuje się:

$$Q_m = (0,0384 \cdot d_e + 0,3598) \cdot u \cdot f \cdot \rho_u \quad (8)$$

Postać uwzględniającą ciśnienie doprowadzanego do wibratora powietrza (2) wygląda następująco:

$$Q_m = (-34,222 \cdot d_e + 0,3638) \cdot (-2,3937 \cdot P^2 + 1,7166 \cdot P - 0,1401) \cdot f \cdot \rho_u \quad (9)$$



Rys. 7. Zależność wyników pomiarów i wyników obliczeń z równania (9)
 Fig. 7. Relation of measurements results and calculation results from the equation (9)

Wnioski

1. Wydajność dozowania nasion buraka dozownikiem pneumatycznym przy wysokości otworu wysypowego 10 mm i w zakresie zmiany ciśnienia powietrza w wibratorze od 0,1 do 0,4 MPa zawiera się w przedziale od ok. 1,7 do 38 kg·h⁻¹
2. Zależność współczynnika równomierności napełnienia nasion w rynnie od średnicy falki nasion miała charakter liniowy ($R^2=0,968$).
3. Opracowane równanie opisujące wydajność dozowania nasion buraków w pneumatycznym dozowniku wibracyjnym bardzo dobrze charakteryzuje badany proces ($R^2=0,96$).
4. Przebadany dozownik pneumatyczny z rynną o szerokości 59 mm i zasobnikiem z otworem wysypowym o średnicy 32 mm działa precyzyjnie dla badanych 4 frakcji nasion buraka ćwikłowego.

Bibliografia

- Błasiński H., Młodziński B.** (1971): Aparatura przemysłu chemicznego. WNT, Warszawa.
- Domoradzki M., Korpala W., Weiner W.** (2002): Badania kalibracji nasion warzyw. Inżynieria Rolnicza, 9(42), 75-82.
- Domoradzki M., Korpala W., Weiner W., Witek Z.** (2007): Wpływ operacji szlifowania na jakość nasion buraka ćwikłowego. Inżynieria Rolnicza, 5(93), 123-130.
- Grochowicz J.** (1994): Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. WAR, Lublin, ISBN 83-901612-9-X.
- Koch R., Noworyta A.** (2006): Procesy mechaniczne w inżynierii Chemicznej. WNT, Warszawa, ISBN 83-204-2262-0.
- Poćwiardowski W., Kaniewska J., Domoradzki M.** (2011): Wibracyjny dozownik sitowy. Cz. 1. Wysyp masowy nasion. Inżynieria Rolnicza, 1(126), 205-213.
- Serwiński M.** (1971): Zasady inżynierii chemicznej. Operacje jednostkowe. WNT, Warszawa.
- Tardos G.I., Lu Q.** (1996): Precision dosing of powders by vibratory and screw feeders: an experimental study. Advanced Powder Technology, Vol. 7, No. 1, 51-58.
- Zawiślak K., Sobczak P., Panasiewicz M.** (2009): Wpływ rozdrabniania materiału na proces dozowania. Inżynieria Rolnicza, 2(111), 201-205.

INFLUENCE OF AIR PRESSURE IN A VIBRATOR ON SELECTED TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A CHUTE DISPENSER DURING SUPPLY OF BEETROOT SEEDS

Abstract. A dispenser with a pneumatic vibrator was used to supply scarifier with beetroot seeds. The speed of supplying seeds in relation to air supplied to a vibrator within the range of pressures 0.1-0.4 MPa was researched. Moreover, the speed of beetroot seeds in a dispenser's chute was determined. The research has proved that the speed of seeds does not practically depend on their diameter. Equations describing relations of the seeds speed in a dispenser's chute to air pressure supplying a pneumatic vibrator were determined. The authors concentrated on determination of the volumetric efficiency in a further part of the paper. The equation describing efficiency of dosing was replaced with the calculated relations. The values calculated on the basis of this equation were compared to experimental data and it was concluded that the determined equation describes efficiency of dosing very well in this case.

Key words: beetroot seeds, vibrating dispenser, pneumatic vibrator, dosing efficiency

Adres do korespondencji:

Marek Domoradzki; e-mail: marek.domoradzki@utp.edu.pl
Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu Chemicznego i Spożywczego
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Seminaryjna 3
85-326 Bydgoszcz