

WIBRACYJNY DOZOWNIK SITOWY. CZ. 1. WYSYP MASOWY NASION

Wojciech Poćwiardowski, Joanna Kaniewska, Marek Domoradzki

Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu chemicznego i Spożywczego,

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Streszczenie. W pracy badano wibracyjny dozownik sitowy. Do regulacji dozowania zastosowano przesłonę zmniejszającą powierzchnię czynną sita do 0,15; 0,30; 0,45; i 1,00 całkowitej czynnej powierzchni sita. Wyznaczono równanie opisujące dozowanie materiału i stwierdzono, że gęstość strumienia masowego wysypu dla poszczególnych frakcji i sit jest funkcją średnicy otworu sita w potęgę 2,5, powierzchni i przesłonięcia sita.

Słowa kluczowe: dozownik materiałów ziarnistych, dozownik wibracyjny, strumień masowy przesyłu nasion

Wykaz oznaczeń

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad - \text{całkowita powierzchnia sita [m}^2\text{]},$$

$$F_{cz} = F \cdot P \cdot Q \quad - \text{powierzchnia czynna sita w przypadku stosowania przesłony [m}^2\text{]},$$

$$n_{cz} = \frac{Q \cdot P \cdot F}{f_o} \quad - \text{ilość czynnych otworów w sicie o powierzchni F,}$$

$$n_s = \frac{P \cdot F}{f_o} \quad - \text{ilość otworów w sicie o powierzchni F,}$$

$$\rho_u \quad - \text{gęstość usypowa [kg \cdot m}^{-3}\text{]},$$

$$f_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \quad - \text{pole powierzchni otworu wysypowego lub pole powierzchni otworu w sicie [m}^2\text{]},$$

A, a - stałe w równaniach,

D - średnica sita, przez którą następuje wysyp [m],

d_o - średnica otworu wysypowego lub pojedynczego otworu w sicie [m],

d_z - średnica ziaren nasion [m],

n - wykładnik potęgi,

P - prześwit sita, stosunek pola powierzchni otworów do pola powierzchni sita,

Q - ułamek czynnej odsłoniętej powierzchni sita w przypadku stosowania przesłony,

u - liniowa prędkość wysypu materiału w otworze [m·s⁻¹],

- V – strumień objętościowy [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 V_i – strumień objętościowy dla jednego otworu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ otw.}^{-1}$],
 W – strumień masowy wysypu [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$].

Wstęp

Podczas badań wielositowego kalibratora wibracyjnego zauważono, że strumień masowy wysypu dla poszczególnych sit jest różny w zależności od składu przesiewanego materiału, ale także jest stosunkowo mały, co mogłoby być wykorzystane w operacjach precyzyjnego dozowania. W trakcie tych badań zauważono także, że dla pewnych kształtów i średnic nasion następowało stopniowe blokowanie powierzchni czynnej sit. W oparciu o te informacje powstał pomysł zastosowania pojedynczego pokładu kalibratora jako dozownika sitowego materiałów ziarnistych. Dozowniki służą do równomiernego podawania materiałów sypkich i nasion [Grochowicz 1994]. Najprostszym dozownikiem jest zbiornik z pojedynczym otworem wysypowym skierowanym w dół.

Masowy strumień wysypu można przedstawić w postaci:

$$W = V \cdot \rho_u, \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

Objętościowy strumień wysypu przez pojedynczy otwór można przedstawić jako:

$$V_i = \frac{V}{n_s}, \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ otw.}^{-1}] \quad (2)$$

Na podstawie danych konstrukcyjnych można obliczyć ilość czynnych otworów w sicie:

$$Q \cdot P \cdot F = n_{cz} \cdot f_o \quad (3)$$

stąd
$$n_{cz} = \frac{Q \cdot P \cdot F}{f_o}, \quad [\text{szt. otw.}] \quad (4)$$

Prędkość nasion przesypujących się przez jeden otwór to:

$$V_i = u \cdot f_o \quad (5)$$

oraz
$$u = a \cdot (d_o)^n \quad (6)$$

dla sita z liczbą otworów n_s zależność wygląda następująco:

$$W = a \cdot (d_o)^n \cdot f_o \cdot n_s \cdot \rho_u \quad (7)$$

Uwzględniając zależność (3) otrzymano równanie łączące strumień masowy wysypu z cechami konstrukcyjnymi sita:

$$W = a \cdot (d_o)^n \cdot Q \cdot P \cdot F \cdot \rho_u \quad (8)$$

Równanie (6) obowiązuje dla wysypu normalnego, gdzie prędkość materiału w otworze zależy od średnicy otworu, a nie zależy od wysokości złoża, co obowiązuje dla $d_o > 6$ do $7d_z$. Drugim skrajnym przypadkiem jest wysyp hydrauliczny, dla którego prędkość w otworze wylotowym zależy od wysokości złoża nad otworem. W rozważanym przypadku średnica ziarna niewiele się różni od średnicy otworu, a całe złożo podlega wstrząsaniu, które niweczy tarcie wewnętrzne w złożu. W związku z tym należy doświadczalnie sprawdzić poprawność równania (8).

Cel pracy

Celem pracy było określenie wykładnika potęgi n w równaniu (8) dla sita o średnicy otworów d_o , co umożliwia projektowanie precyzyjnego wibracyjnego dozownika sitowego o małej wydajności.

Materiały

Badania przeprowadzono na nasionach marchwi odmiany Perfekcja. Nasiona rozdzielono na 8 frakcji, z czego do badań pobrano 5 frakcji. 1,2-1,4; 1,4-1,6; 1,6-1,8; 1,8-2,0 oraz 2,0-2,2 mm.

Tabela 1. Właściwości zastosowanych frakcji sitowych nasion marchwi
Table 1. Properties of carrot seed sieve fractions used

Zakres średnic nasion we frakcji	Średnica oczka sita d_o	Średnia Średnica frakcji d_z	Gęstość usypowa min.	Gęstość usypowa max.
[mm]	[mm]	[mm]	[kg·m ⁻³]	[kg·m ⁻³]
1,0-1,2	1,2	1,1	456,9	505,6
1,2-1,4	1,4	1,3	424,5	473,7
1,4-1,6	1,6	1,5	386,2	418,5
1,6-1,8	1,8	1,7	350,9	386,5
1,8-2,0	2,0	1,9	323,9	357,1
2,0-2,2	2,2	2,1	286,6	313,2

Gęstość usypowa badanych nasion marchwi zależy również od średniej średnicy frakcji nasion:

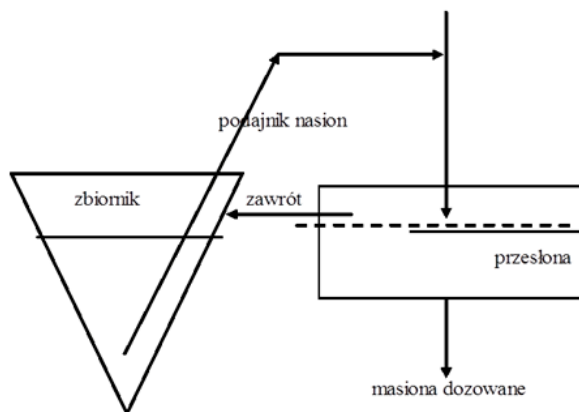
$$\rho_{min} = 3,724 \cdot d_z^{-0,71}, [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad R^2 = 0,9772 \quad \text{dla} \quad 0,0011 < d_z < 0,0021 [\text{m}]$$

$$\rho_{max} = 3,626 \cdot d_z^{-0,73}, [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad R^2 = 0,9758 \quad \text{dla} \quad 0,0011 < d_z < 0,0021 [\text{m}]$$

Do dalszych obliczeń przyjęto gęstość usypową minimalną.

Aparatura

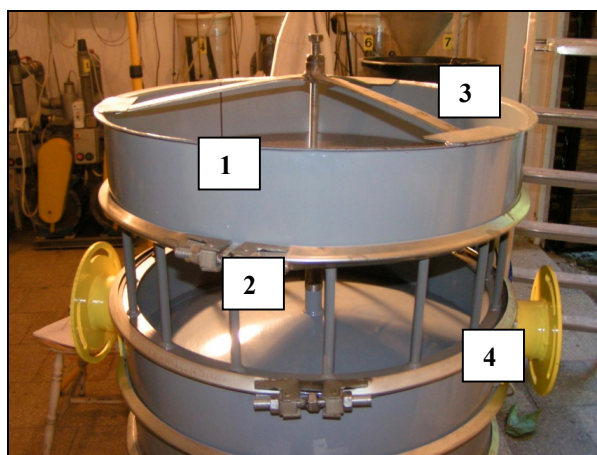
Zasadę działania dozownika sitowego przedstawiono na rysunku 1. Materiał ze zbiornika jest dostarczany podajnikiem do dozownika sitowego. Nadmiar materiału z dozownika sitowego może być zwracany do zbiornika magazynowego (by-pass).



Rys. 1. Schemat pracy dozownika sitowego
Fig. 1. Sieve batcher operation scheme

Na potrzeby badań wykorzystano elementy kalibratora wibracyjnego, które uzupełniono o nadstawkę pierścieniową (1), nadstawkę żebrową (2) umożliwiającą obserwację przesypania nasion przez sito, docisk (3) oraz stożek odbierający (4).

Badania prowadzono dla kąta ustawienia wibratorów: 45° i dla różnej wielkości otworów sit od 1,2 do 2,0 mm. Na metalowej podstawie przesiewacza wspartej na 12 sprężynach zamontowano sita o średnicy 0,538 m. Powierzchnia całkowita sita wynosiła $0,2272 \text{ m}^2$. Widok przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Stanowisko badawcze (1 – nadstawka pierścieniowa, 2 – nadstawka żebrowa, 3 – docisk sita, 4 – stożek odbierający przesypanie)
Fig. 2. Test stand (1 – ring top, 2 – finned top, 3 – sieve clamp, 4 – cone receiving pour)

Szybkość dozowania jest regulowana przesłonięciem sita. Pod sitem zamontowano ruchomą przesłonę, która pozwoliła na modyfikowanie powierzchni czynnej sita. Do badań szybkości przejścia poszczególnych frakcji nasion przez kolejne otwory sit użyto sit okrągłych, osadzonych w ramach. Zastosowano centralne podparcie sit celem wy tłumienia niekontrolowanych drgań.

Metodyka

Porcję nasion marchwi rozdzielono na 5 frakcji na sitach zgodnie z tabelą 1. Dla wybranej frakcji np. 1,2-1,4 stosowano sito o wymiarze otworu 1,4. Po zamocowaniu sita w nadstawce pierścieniowej wsypywano stopniowo ok. 5 kg nasion marchwi i uruchamiano wibrator i pomiar czasu. Wysokość warstwy nasion na sicie wynosiła ok. 5 mm. Pomiar kończono w momencie przesypu ok. 3 kg nasion. Na podstawie masy nasion i czasu trwania przesiewania określano strumień masowy przesypu. Badania wykonano dla wszystkich wcześniej wymienionych frakcji i sit z tabeli 1. Ponadto badania dozownika sitowego wykonano przy kilku przesłonięciach powierzchni sit, dla których powierzchnia czynna sita, wolna dla przesypu, stanowiła: 0,15, 0,30, 0,45 i 1,00 całkowitej czynnej powierzchni sita. We wszystkich badaniach stosowano dobraną na podstawie wcześniejszych pomiarów częstotliwość drgań wibratorów równą 25 s^{-1} (1500 min^{-1}) i kąt ustawienia równy 45° . Takie ustawienie kąta pochylenia wibratorów zapewniało minimalny podrzut nasion na sicie przy maksymalnej amplitudzie drgań poziomych i było odwzorowywane śladem promienia lasera na ekranie.

Tabela 2. Charakterystyka sit o otworach okrągłych
Table 2. Characteristics of sieves with round meshes

Średnica otworu sita d_o	Średnica otworu sita d_o	Powierzchnia tworu f_o	Prześwit sita P	Powierzchnia sita F	Powierzchnia otworów P·F	Ilość otworów w sicie n_s
[mm]	[m]	[m ²]		[m ²]	[m ²]	
1,2	0,0012	$1,1304 \cdot 10^{-6}$	0,109	0,2272	0,0247	21 908
1,4	0,0014	$1,5386 \cdot 10^{-6}$	0,145	0,2272	0,0330	21 412
1,6	0,0016	$2,0096 \cdot 10^{-6}$	0,165	0,2272	0,0375	18 654
1,8	0,0018	$2,5434 \cdot 10^{-6}$	0,200	0,2272	0,0417	17 866
2,0	0,0020	$3,1400 \cdot 10^{-6}$	0,210	0,2272	0,0476	15 195
2,2	0,0022	$3,7994 \cdot 10^{-6}$	0,274	0,2272	0,0623	16 385

Wyniki i ich omówienie

Badania dozownika wykonano dla przesłonięć powierzchni sita równej $Q= 0,15, 0,30, 0,45$ i $1,0$. Obliczano masę nasion, która przeszła przez sito w danym czasie i na tej podstawie w oparciu o gęstość usypową minimalną i ilość otworów w sicie obliczano prędkość w otworze wysypowym dla poszczególnych przesłonięć sita.

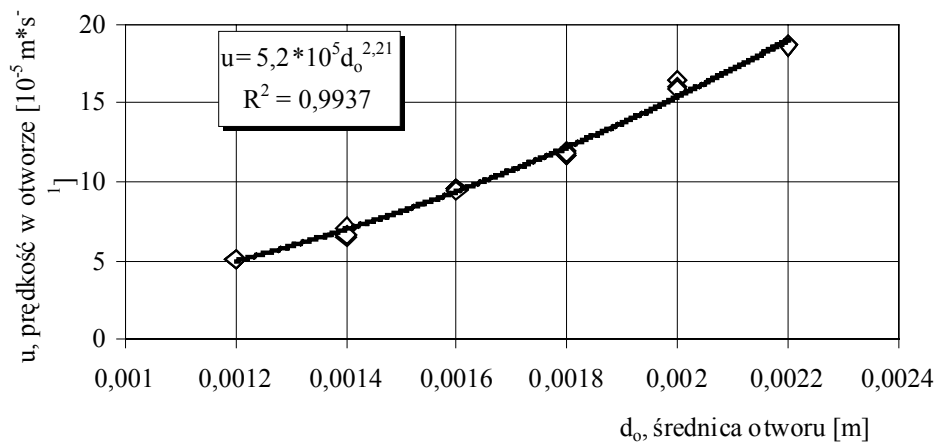
$$u = \frac{W}{Q \cdot F \cdot P \cdot \rho_{min}} = A \cdot (d_o)^n, [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (9)$$

Wyniki badań przesypu nasion przez kolejne sита przedstawiono na rysunku 3 i 4 oraz w tabeli 3. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że strumień masowego przesypu dla poszczególnych sit jest funkcją średnicy otworu sита. Jak wynika z tabeli 3 najwolniej przesypują się nasiona przez sito o najmniejszej średnicy otworów.

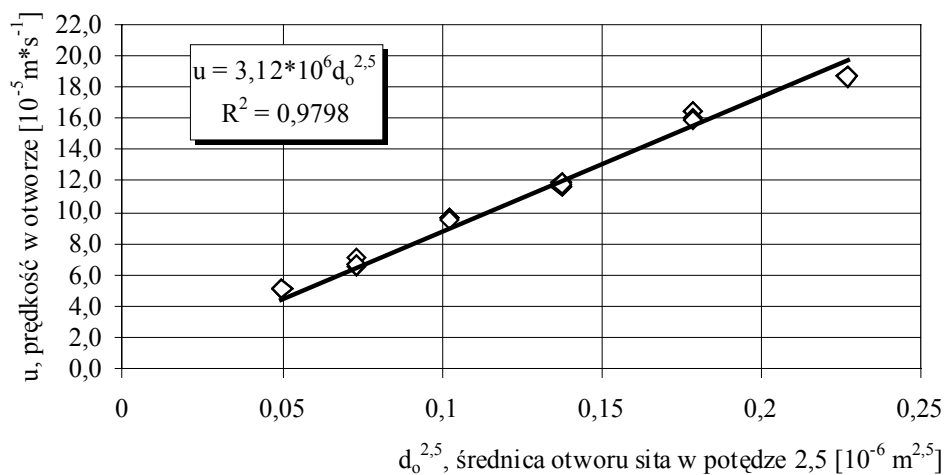
Założono na podstawie danych literaturowych [Błasiński i Młodziński 1971, Ciborowski 1965], że predkość zależy od średnicy otworu sита w potęgze 2,5 (równanie 9).

Tabela 3. Strumień masowy i gęstość strumienia masowego przesypu nasion przez poszczególne sита
Table 3. Mass stream and stream density of seed mass pour through individual sieves

Lp.	d_s [m]	P -	Q [%]	F·P·Q -	u [$10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]	W pomiar [$10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$]	W oblicz. [$10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$]	Błąd [%]
1.1	0,0012	0,109	15	0,00371	5,0833	8,3333	6,8333	18,1
2.1	0,0014	0,145	15	0,00494	6,5361	12,7778	11,9722	6,4
3.1	0,0016	0,165	15	0,00562	9,6111	19,4444	17,3056	11,1
4.1	0,0018	0,200	15	0,00682	11,6972	26,3889	25,8889	1,9
5.1	0,0020	0,210	15	0,00716	16,4311	36,1111	32,8056	9,1
6.1	0,0022	0,274	15	0,00934	18,6556	50,0000	50,7778	-1,6
1.2	0,0012	0,109	30	0,00743	5,0833	16,6667	13,6389	18,1
2.2	0,0014	0,145	30	0,00988	6,5361	27,7778	23,9444	13,8
3.2	0,0016	0,165	30	0,01125	9,6111	38,8889	34,5833	11,1
4.2	0,0018	0,200	30	0,01363	11,6972	52,7778	51,7500	1,9
5.2	0,0020	0,210	30	0,01431	16,4311	72,2222	65,6389	9,1
6.2	0,0022	0,274	30	0,01868	18,6556	100,0000	101,5556	-1,6
1.3	0,0012	0,109	45	0,01114	5,0833	25,0000	20,4722	18,1
2.3	0,0014	0,145	45	0,01482	6,5361	38,8889	35,8889	7,7
3.3	0,0016	0,165	45	0,01687	9,6111	58,3333	51,8889	11,1
4.3	0,0018	0,200	45	0,02045	11,6972	80,5556	77,6389	3,6
5.3	0,0020	0,210	45	0,02147	16,4311	105,5556	98,4444	6,7
6.3	0,0022	0,274	45	0,02801	18,6556	150,0000	152,3333	-1,6
1.4	0,0012	0,109	100	0,02476	5,0833	55,5556	45,5000	18,1
2.4	0,0014	0,145	100	0,03294	6,5361	86,1111	79,7778	7,4
3.4	0,0016	0,165	100	0,03749	9,6111	127,7778	115,2778	9,8
4.4	0,0018	0,200	100	0,04544	11,6972	177,7778	172,5278	3,0
5.4	0,0020	0,210	100	0,04771	16,4311	233,3333	218,7500	6,2
6.4	0,0022	0,274	100	0,06225	18,6556	333,3333	338,5278	-1,6



Rys. 3. Zależność prędkości nasion w otworze wysypowym od średnicy otworu w sicie
 Fig. 3. The relationship between seeds velocity in pour out hole and sieve mesh diameter



Rys. 4. Zależność przesypu od średnicy otworów wysypowych w potęgę 2,5
 Fig. 4. Pour dependence on the diameter of pour out holes raised to the power of 2.5

Dla sita o liczbie otworów n_s można nsapisać równanie prędkości nasion marchwi w otworze:

$$u = 3,12 \cdot 10^6 \cdot d_o^{2,5}, [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \text{ dla } 0,0012 \leq d_o \leq 0,0022 \text{ [m]} \quad (10)$$

Obliczony strumień masowy przesypu nasion przez otwory jest opisany zależnością:

$$W = 3,12 \cdot 10^6 \cdot d_o^{2,5} \cdot F \cdot P \cdot Q \cdot \rho_u, \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad \text{dla} \quad 0,0012 \leq d_o \leq 0,0022 \quad [\text{m}] \quad (11)$$

Równania (11) pozwala obliczyć dane konstrukcyjne dla dozownika sitowego o określonym wydatku dozowania dla nasion o średnicy d_o . Przeprowadzony test t-studenta istotności współczynnika determinacji pozwala stwierdzić, że obliczona zależność strumienia masowego przesypu nasion od średnicy otworu wysypowego jest istotna przy $p=0,05$, co świadczy o dobrym dopasowaniu równania do danych doświadczalnych. Uzyskana zależność (11) dobrze opisuje pracę wibracyjnego dozownika sitowego. Przeprowadzone badania przejścia nasion przez sita pozwalają na zaprojektowanie przemysłowego dozownika sitowego.

Wnioski

1. Uzyskane równanie dość dobrze opisuje pracę wibracyjnego dozownika sitowego. Równanie sprawdza się przy stosowaniu sit o średnicy otworów w zakresie 1,2÷2,2 mm i przedstawia się następująco:
$$W = 3,12 \cdot 10^6 \cdot d_o^{2,5} \cdot F \cdot P \cdot Q \cdot \rho_u, \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad \text{dla} \quad 0,0012 \leq d_o \leq 0,0022 \quad [\text{m}] \quad (11)$$
2. Maksymalne odchylenia wartości mierzonej w stosunku do wartości obliczonej wynosi od <+18,1 do -1,6%>.
3. Przeprowadzone badania przejścia nasion przez sita pozwalają na zbudowanie dozownika wibracyjnego z dokładnością ok. $\pm 6\%$ z wyjątkiem otworu 1,2 mm.
4. Największe odchylenie od wartości obliczeniowej występuje dla otworu 1,2 mm i wynosi 18,1% co jest zgodne z obserwacją, że sita najmniejsze pracują najwolniej.
5. Precyzyjny dozownik sitowy wymaga stosowania nasion kalibrowanych o średnicy niewiele mniejszej od średnicy otworów sita.

Bibliografia

- Błański H., Młodziński B.** 1971. Aparatura przemysłu chemicznego. WNT Warszawa.
- Ciborowski J.** 1965. Podstawy Inżynierii Chemicznej. WNT Warszawa.
- Domoradzki M., Weiner W., Korpala W.** 2004. Badania sprawności przesiewacza wibracyjnego. XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Postęp w Inżynierii Żywności”. Suwałki.
- Grochowicz J.** 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Wyd. AR Lublin. ISBN 83-901612-9-X
- Kanzleiter T.** 1971. Die Taumelsiebmaschine. Maschinendynamik und Guttransport. 3,7, Auber.-Tech.
- Koch R., Noworyta A.** 1998. Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej. Warszawa. ISBN 83-204-2262-0
- Planowski A. N., Ramm W. M., Kagan S. Z.** 1974. Procesy i aparaty w technologii chemicznej. WNT Warszawa.
- Schmidt P.** 1966. Taumelsiebenmaschinen. 7. Aufber.-Tech.
- Serwiński M.** 1971. Zasady inżynierii chemicznej. Operacje jednostkowe. WNT Warszawa.
- Wodziński P.** 1997. Przesiewanie i przesiewacze. Wyd. PŁ. Łódź. ISBN: 83-87198-06-4.

VIBRATION TYPE SIEVE BATCHER P. 1. VOLUMETRIC POUR OF SEEDS

Abstract. A vibration type volumetric sieve batcher was examined in this work. A screen plate was used to control batching, which reduced the active sieve surface to 0.15; 0.30; 0.45 and 1.00 of its total surface. An equation specifying material batching was determined. It has been observed that the density of pour mass stream for individual fractions and sieves is a function of the sieve hole/mesh diameter raised to the power of 2.5, area, and covered the sieve area percentage.

Key words: grainy material batcher, vibration type batcher, seed pour mass stream

Adres do korespondencji:

Wojciech Poćwiardowski; e-mail: wojciehpocwiardowski@wp.pl
Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu chemicznego i Spożywczego
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Seminaryjna 3
85-326 Bydgoszcz