



Przesiewanie materiałów biologicznych w przesiewaczach rotacyjnych

Wojciech Poćwiardowski

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

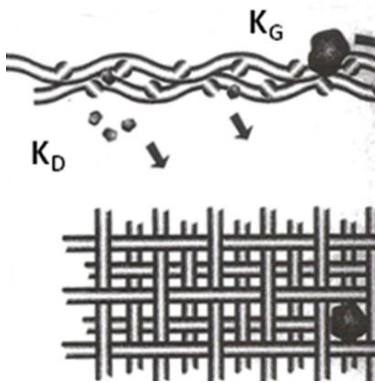
Piotr Wodziński

Politechnika Łódzka

1. Wstęp

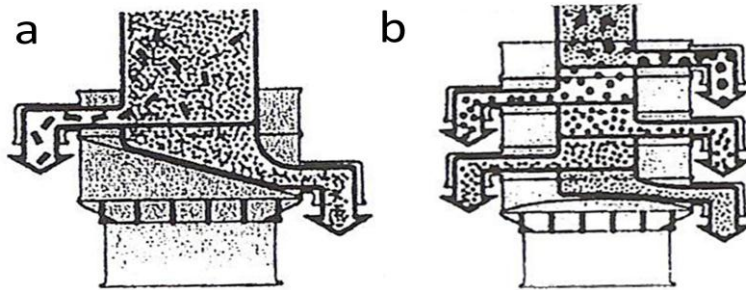
W technice przesiewania najbardziej rozpowszechnione są przesiewacze o liniowym przepływie materiału przesiewanego przez maszyny. Rzeszota przesiewaczy mają na ogół prostopadłościenny kształt i materiał porusza się po sicie ruchem prostoliniowym. Ruch ten jest niezbędny do zaistnienia procesu przesiewania, polegającego na przechodzeniu ziaren małych, stanowiących rozmiarowo klasę dolną K_D , przez otwory sitowe (rys. 1).

Przesiewacze rotacyjne składają się z walcowych kasetonów sitowych, umieszczonych jeden nad drugim tak, iż sita o największych otworach umieszczone są najwyżej, natomiast niższe sita mają stopniowo zmniejszające się otwory. Materiał do przesiewania (nadawa) jest kierowany na sito (lub sita) centralnie (w osi symetrii sita), co przedstawiono na rys. 2. Przesiewacze rotacyjne mogą być jednopokładowe (rys. 2a) lub wielopokładowe (rys. 2b).



Rys. 1. Rozdział mieszaniny ziarnistej na sicie

Fig. 1. Grain mixture separation on screen



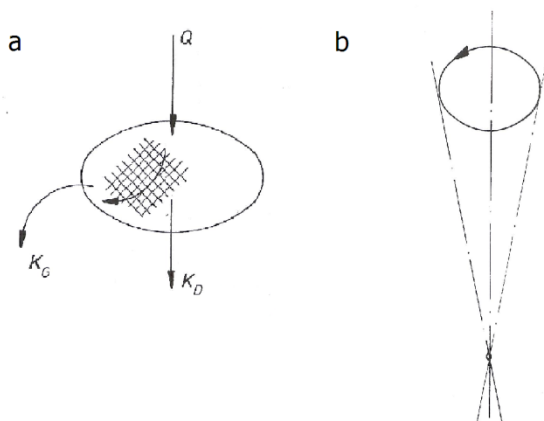
Rys. 2. Proces przesiewania w przesiewaczu rotacyjnym;

a – jednopokładowym, b – wielopokładowym

Fig. 2. Sieving process in rotary screen; a – singlelayer, b – multilayer

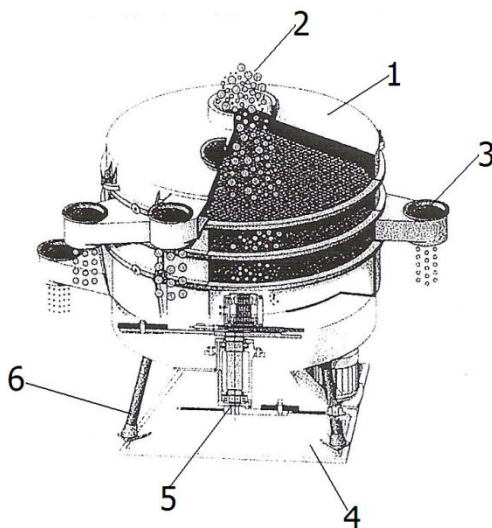
Schematycznie przebieg procesu przesiewania na sicie przesiewacza rotacyjnego pokazano na rys. 3a, gdzie uwidoczniono spiralny ruch materiału ziarnistego po sicie. Ruch taki uzyskujemy za pomocą precyzyjnego ruchu sita (zestawu sit), co pokazano na rys. 3b.

Kompletny przesiewacz rotacyjny przedstawiono na rys. 4 i składa się z sit, które umieszcza się w pakiecie jedno nad drugimi. Nadawca do przesiewania kierowana jest przez otwór (2) umieszczony nad najwyższym sitem, natomiast produkty przesiewania odbierane są przez wyspy boczne (3), każdy dla właściwego sita. Maszyna oparta jest na podstawie (4), a kasetony sitowe znajdują się na zawieszaniu sprężystym (6) i wprawione są w ruch rotacyjny za pomocą układu napędowego (5).



Rys. 3. Tory sit przesiewaczy rotacyjnych; a – proces przesiewania, b – ruch sita (Q – nadawa, K_G – klasa górna, K_D – klasa dolna)

Fig. 3. Sieves' tracks in rotary screen; a – sieving process, b – sieve's movement (Q – feeding material, K_G – upper degree, K_D – lower degree)



Rys. 4. Rotacyjny przesiewacz korbowy; 1 – kasetony sitowe, 2 – otwór centralny, 3 – wysypy boczne, 4 – rama, 5 – układ napędowy, 6 – zawieszenie sprężyste

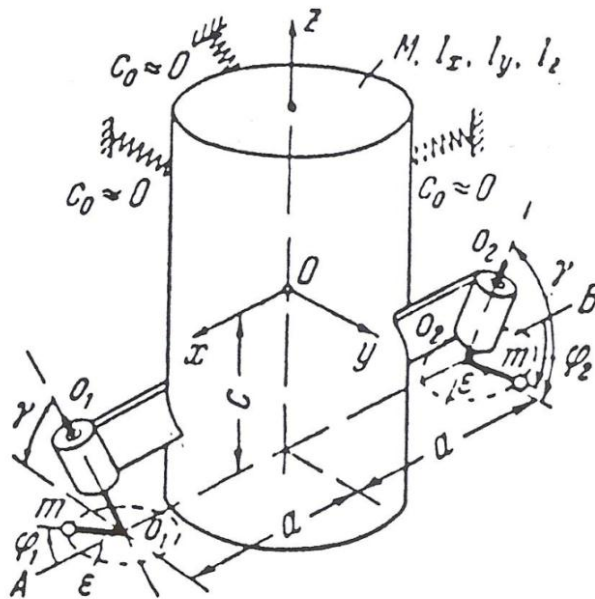
Fig. 4. Rotary crank screen; 1 – coffer sieves, 2 – central opening, 3 – side outlets, 4 – frame, 5 – propulsive system, 6 – spring suspension

2. Ruch sita w procesie przesiewania w przesiewaczu rotacyjnym

Przesiewacze rotacyjne różnią się między sobą układami napędowymi, co może się wiązać z ruchem drgającym wykonywanym przez sita. Spotykane są trzy rodzaje układów napędowych:

1. napęd korbowy,
2. napęd z pojedynczym wibratorem centralnym o mocowaniu kołnierзовym,
3. napęd dwoma nachylonymi wibratorami elektrycznymi rotacyjnymi, umieszczonymi symetrycznie po obu stronach rzeszota.

Autorzy niniejszego opracowania zajmować się będą przesiewaczem rotacyjnym, napędzanym dwoma zsynchronizowanymi wibratorami elektrycznymi. Układ napędowy został przedstawiony schematycznie na rys. 5.



Rys. 5. Schemat kinematyczny przesiewacza doświadczalnego
Fig. 5. Kinematic scheme of empirical screen

Model kinematyczny przesiewacza rotacyjnego pokazano w formie walca o masie M i momentach bezwładności I_x , I_y i I_z – względem osi układu współrzędnych O_{xyz} (układ kartezjański jest umieszczony tak, iż środek ciężkości bryły drgającej przesiewacza pokrywa się z środkiem O układu odniesienia). Do napędu maszyny zastosowano dwa wibratory rotacyjne, które są elektrycznymi silnikami z masami niewyważonymi.

Wibratory elektryczne pracują w warunkach samosynchronizacji dynamicznej. Wibratory rotacyjne są urządzeniami doczepnymi, produkowanymi seryjnie w różnych wielkościach (typoszeregach). Są to silniki elektryczne z wałem wyprowadzonym poza stojan z obu stron silnika (rys. 6).



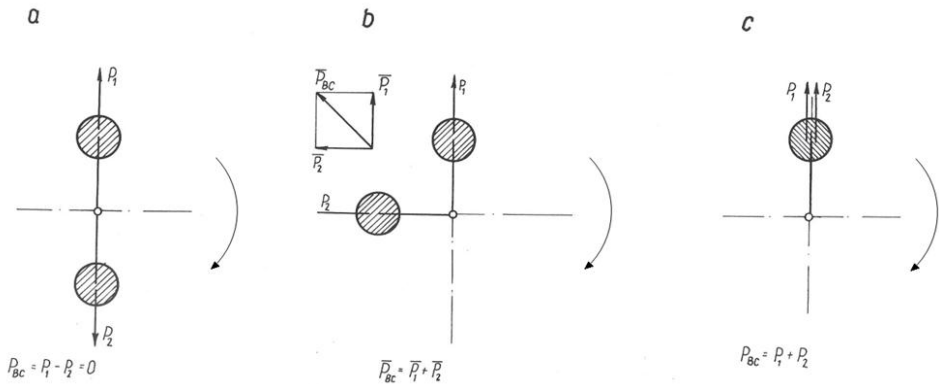
Rys. 6. Wibratory elektryczne rotacyjne, sposób regulacji sił
Fig. 6. Electric rotary vibrators, method of force regulation

Na wale, symetrycznie po obu stronach silnika, znajdują się po dwie masy (rys. 6a), które umożliwiają regulację ich wzajemnego położenia i masy. Ustawienie różnych położenia mas służy do regulacji siły wymuszającej drgania wibratorów i tym samym przesiewacza. Siła wymuszająca jest regulowana za pomocą kąta ustawienia mas. Zasadę regulacji siły wymuszającej pokazano na rys. 7.

Gdy masy ustawione są naprzeciw siebie, to sumaryczna siła odśrodkowa wynosi 0. Gdy masy niewyważone „pokrywają się”, to mamy do czynienia z maksymalną możliwą siłą wymuszającą dla danego wibratora (rys. 7c). Na rys. 7b. pokazano położenie pośrednie, w którym osiągamy pośrednią wartość siły wymuszającej pomiędzy wartością minimalną i maksymalną. Masy wirujące osłonięte są pokrywami dla bezpieczeństwa obsługi (rys. 6b).

Ruch rzeszota przesiewacza rotacyjnego, składa się z dwóch drgań:

- drgań skrętnych wokół osi O_z .
- drgań pionowych w osi O_z .



Rys. 7. Regulacja wartości siły wymuszającej wibratora z podwójnymi masami
Fig. 7. Control of vibrator with double mass coercive force value

3. Badania przesiewania rotacyjnego

3.1. Cel pracy

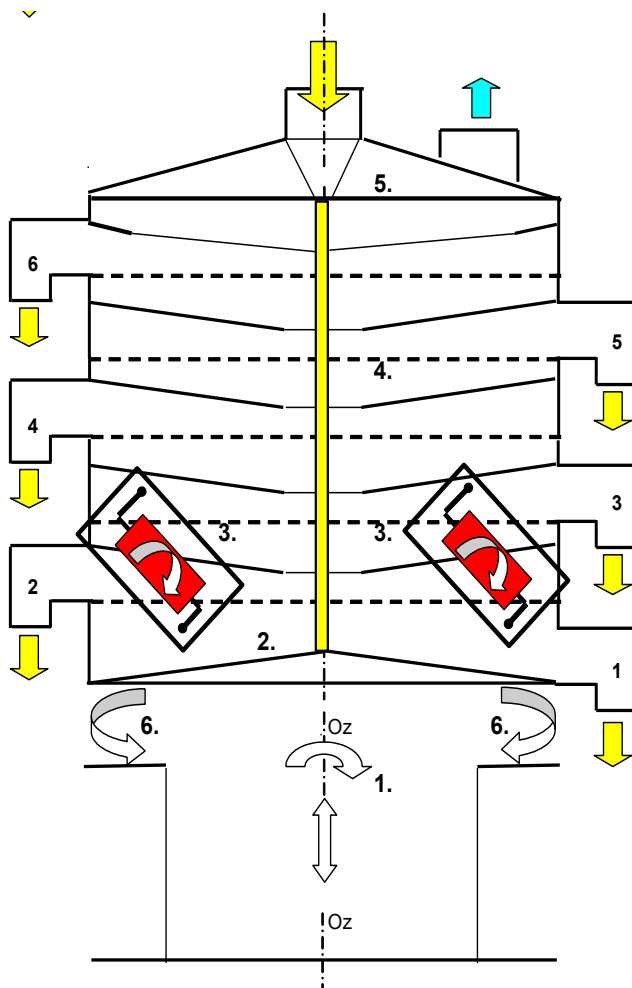
Celem pracy jest określenie wydajności przesiewania poszczególnych sit przesiewacza rotacyjnego z dwoma wibratorami elektrycznymi nachylonymi pod kątem 45° dla wydzielonych frakcji ziarnistych materiałów biologicznych. Sprawdzano też hipotezę opisu masowej prędkości przesiewania równaniami stosowanymi dla wysypu materiału ze zbiornika.

3.2. Aparatura

Przesiewacz ma kształt walcowej kolumny, składającej się z kilku elementów – rzeszota. Na metalowej podstawie przesiewacza zamontowano kolumnę sit o średnicy 0,538 m wspartą na 16 sprężynach. Powierzchnia całkowita sita 0,223 m².

Kolumnę montuje się z sześciu segmentów, między którymi są umieszczane sita i urządzenia do ich czyszczenia. Z powierzchni sita wysypy odprowadzają materiał do króćców przesypowych i dalej do odbieralników frakcji. Na podstawie spoczywa pierwszy segment dolny

z lejem stożkowym. Kolumnę zakrywa płaska pokrywa z króćcami o średnicy 2" doprowadzającymi nasiona. Schemat przesiewacza przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Schemat modelu przesiewacza rotacyjnego; 1 – podstawa przesiewacza, 2 – podstawa kolumny sitowej, 3 – wibratory, 4 – rzeszota kolumny sitowej, 5 – pokrywa, 6 – zawieszenie sprężynowe
Fig. 8. Scheme of rotary screen type; 1 – screen's base, 2 – sieve column's base, 3 – vibrators, 4 – sieves column, 5 – lid, 6 – spring suspension

3.3. Materiały do badań

Badania przeprowadzono na ziarnistych materiałach biologicznych (nasiona), które rozdzielono w przesiewaczu na 6 frakcji: 1,0÷1,2; 1,2÷1,4; 1,4÷1,6; 1,6÷1,8; 1,8÷2,0; 2,0÷2,2 mm.

Tabela 1. Charakterystyka materiału modelowego

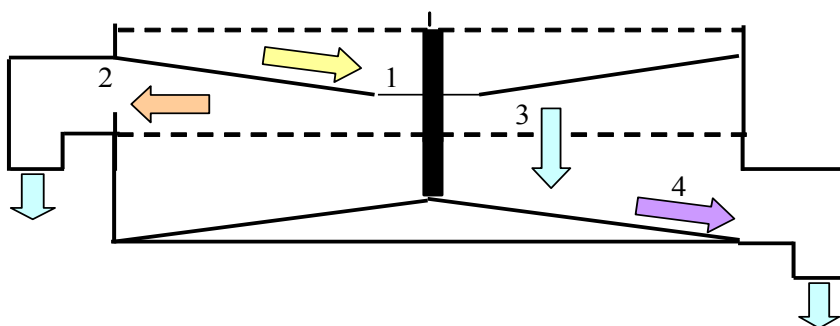
Table 1. Characteristic of model material

Lp.	Średnica sita d_o , mm	Średnia średnica frakcji d_z , mm	Gęstość usypowa minimalna, kg/m^3	Gęstość usypowa maksymalna, kg/m^3
1	1,0	1,1	0,4569	0,5056
2	1,2	1,3	0,4245	0,4737
3	1,4	1,5	0,3862	0,4185
4	1,6	1,7	0,3509	0,3865
5	1,8	1,8	0,3239	0,3571
6	2,0	2,1	0,2866	0,3132

Do badań wydajności przesiewania materiału użyto sit blaszanych z otworami okrągłymi.

Materiał modelowy z sita górnego (1) sływa do leja i dalej na środek sita dolnego. Pod wpływem drgań materiał ten rozplywa się po całym sicie. Frakcja o średnicy mniejszej od wymiarów otworów sita przechodzi przez nie (3), a frakcja grubsza przemieszcza się razem z dopływającym materiałem ziarnistym do otworu przesypowego (2) i dalej do odbieralnika frakcji. Na segmencie dolnym następuje odprowadzanie materiału modelowego o najmniejszej średnicy do otworu przesypowego.

Budowę segmentu i sita przedstawiono na rys. 9. Charakterystyki sit zestawiono w tabeli 2.



Rys. 9. Schemat przepływów materiału w segmencie przesiewacza; 1 – ruch poszczególnych frakcji nasion po leju stożkowym przesuwającym materiał do środka sита, 2 – ruch poszczególnych frakcji nasion od środka sита do wysypu, 3 – przesypanie poszczególnych frakcji nasion przez oczka sита, 4 – ruch poszczególnych frakcji nasion po dolnym elemencie stożkowym kalibratora do wysypu

Fig. 9. Measuring segments of the calibrator; 1 – seeds movement on the conical funnel, 2 – material transportation along the sieve, 3 – dumping through the sieve, 4 – material movement to the dump

Tabela 2. Charakterystyka sit o otworach okrągłych

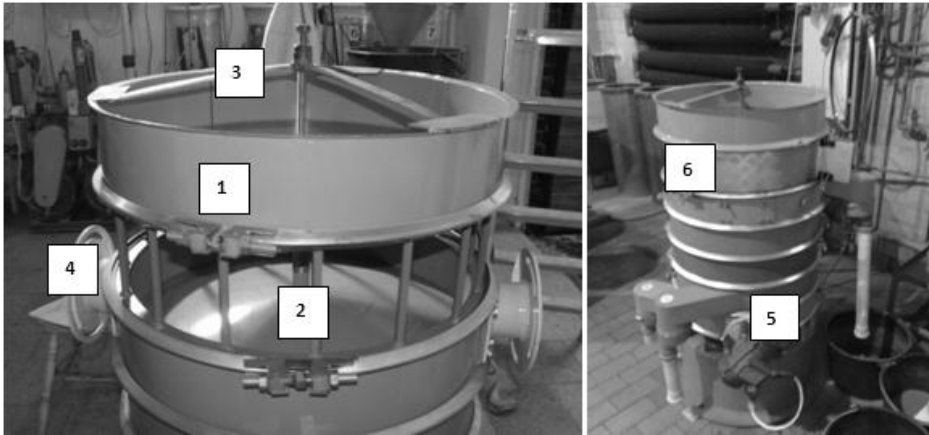
Table 2. Characteristic of sieves with round holes

Lp.	Średnica oczka sита d_o , m	Powierzchnia otworów f_o , m ²	Prześwit sита P	Powierzchnia sита F, m ²	Powierzchnia otworów P·F, m ²	Ilość otworów w sicie n_s , szt
1	0,0012	$1,1304 \cdot 10^{-6}$	0,109	0,2272	0,0247	21 908
2	0,0014	$1,5386 \cdot 10^{-6}$	0,145	0,2272	0,0330	21 412
3	0,0016	$2,0096 \cdot 10^{-6}$	0,165	0,2272	0,0375	18 654
4	0,0018	$2,5434 \cdot 10^{-6}$	0,200	0,2272	0,0417	17 866
5	0,0020	$3,1400 \cdot 10^{-6}$	0,210	0,2272	0,0476	15 195
6	0,0022	$3,7994 \cdot 10^{-6}$	0,274	0,2272	0,0623	16 385

3.4. Metodyka badań

W celu obserwacji przejścia materiału modelowego przez sito, podczas badania wydajności poszczególnych sit (rys. 10), zamontowano nadstawkę pierścieniową (1) i żebrową (2).

Materiał przesiewano przez sita o różnej średnicy otworów sit od 1,2 do 2,2 mm (tabela 3.). Wsypywano porcję rozszanego wcześniej na frakcje materiału w ilości ok. 3 kg o $d_z = 1,1$ mm do 2,1 mm i po czasie τ zatrzymywano aparat. Ważono masę biologicznego materiału ziarnistego, która przeszły przez sito. Badania prowadzono dla kąta ustawienia wibratorów elektrycznych 45° .



Rys. 10. Stanowisko badawcze; 1 – nadstawka pierścieniowa, 2 – nadstawka żebrowa, 3 – docisk sita, 4 – uchwyty do wibratorów elektrycznych, 5 – wibratory boczne, 6 – osłona nadstawki żebrowej

Fig. 10. Investigation stand; 1 – ring segment, 2 – costal segment, 3 – sieve's pressure, 4 – electrical vibrators holders, 5 – side vibrators, 6 – cover of costal segment

Tabela 3. Algorytm przesiewania frakcji nasion przez kolejne sита
Table 3. Algorithm of seeds fractions' sieving by particular sieves

Średnia średnica frakcji nasion, mm	Średnica otworu sита mm					
	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
d_z/d_o						
1,10	X	X	X	X	X	X
1,30	X	X	X	X	X	
1,50	X	X	X	X		
1,70	X	X	X			
1,90	X	X				
2,10	X					

4. Wyniki i ich omówienie

Mierzono masę biologicznego materiału ziarnistego, która przeszła przez sito w określonym czasie.

Obliczano wydajność przesiewania zgodnie z zależnością 1.

$$\text{Wydajność przesiewania: } W_i = \frac{M_n}{\tau_p}, [\text{kg} \cdot (\text{h})^{-1}] \quad (1)$$

Wyniki badań przejścia poszczególnych frakcji materiału modelowego przez kolejne sита przedstawiono na rys. 11.

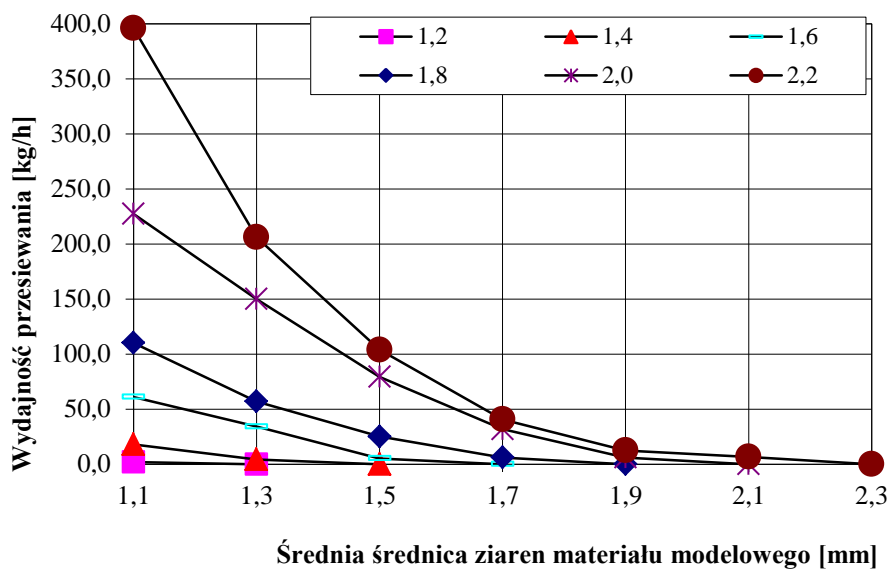
Na podstawie wykonanych badań obliczono masową prędkość przesypu i masową prędkość przesypu przez otwory sита dla frakcji, która już raz była odsiana na tym sicie.

$$\text{Powierzchnia kalibratora: } F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, [\text{m}^2] \quad (2)$$

$$\text{Powierzchnia otworów sита: } f_{i,o} = P_i \cdot F, [\text{m}^2] \quad (3)$$

$$\text{Masowa prędkość przesypu: } G_i = \frac{W_i}{F}, [\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}] \quad (4)$$

$$\text{Masowa prędkość przesypu przez otwory } g_{i,o} = G_i \cdot P_i, [\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}] \quad (5)$$

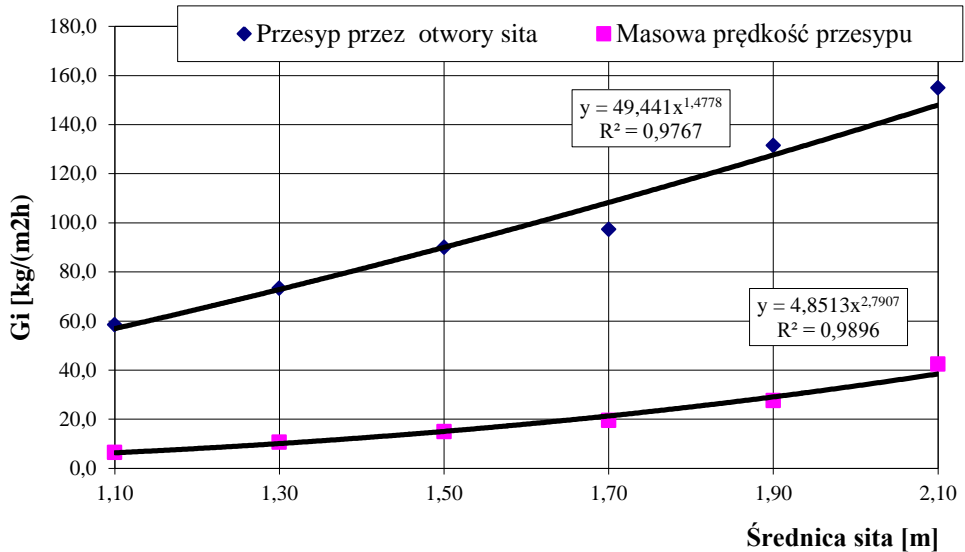


Rys. 11. Wydajność przesiewania materiału odsianego przez poszczególne sита w funkcji średniej średnicy nasion dla różnych średnic otworów sита

Fig. 11. Sieving efficiency of material screened by particular sieves related with function of medium seed diameter for different sieve hole diameter

Tabela 4. Wydajność przesiewania materiału danej frakcji przez najmniejsze sito
Table 4. Sieving efficiency of given fraction by the smallest sieve

Średnica ziaren	Średnica sita	Średnica $d_s^{2,5}$	Prześwit sita	Strumień masowy	Powierzchnia sita	Gęstość strumienia przesiewu	Gęstość strumienia przez otwory sita
d^z	d_s	$(d_s)^{2,5}$	P_i	W_i	F	G_i	g_{oi}
mm	mm		%	$kg \cdot (h)^{-1}$	m^2	$kg \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$	$kg \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$
1,10	1,20	1,27	0,109	1,803	0,283	6,37	58,4
1,30	1,40	1,93	0,145	3,005	0,283	10,62	73,2
1,50	1,60	2,76	0,165	4,205	0,283	14,86	90,1
1,70	1,80	3,77	0,200	5,507	0,283	19,46	97,3
1,90	2,00	4,98	0,210	7,810	0,283	27,60	131,4
2,10	2,20	6,39	0,274	12,016	0,283	42,46	155,0



Rys.12. Przesyp materiału modelowego przez najmniejsze sito dla danej frakcji w zależności od średnicy otworów sita

Fig. 12. Dumping of model material by the smallest sieve of given fraction in dependence on sieve hole diameter

Wysyp materiału ziarnistego przez otwór ze zbiornika przez otwór w dnie jest opisany zależnością [Błasiński i Młodziński 1971]:

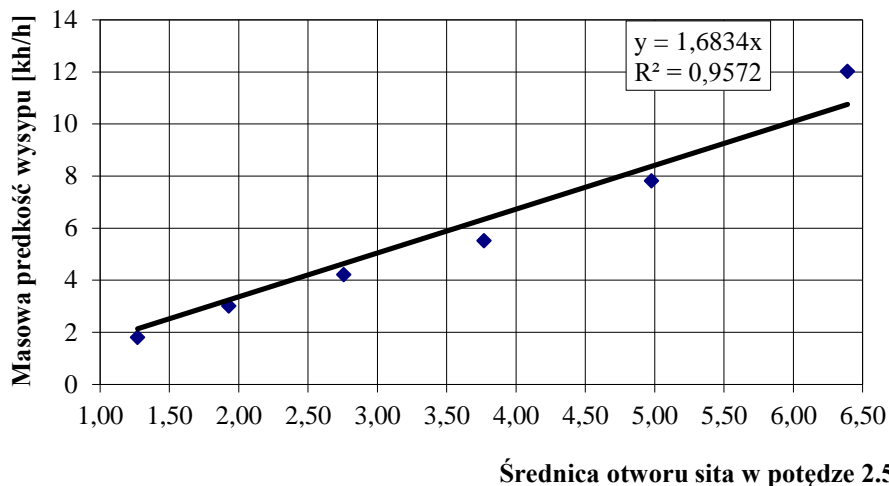
$$W_i = f_i \cdot u = n \cdot \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot \varphi \sqrt{a \cdot g \cdot d_o} = A \cdot d_o^{2,5}, \text{ [kg} \cdot (\text{h})^{-1}] \quad (6)$$

i jest on analogiczny do wyników uzyskanych w przeprowadzonych badaniach.

Uzyskano dla sit równania analogiczne jak równania opisujące wysyp materiału ze zbiornika, z tym że nie ma tutaj ograniczenia równomierności wysypu dla $\frac{d_o}{d_z} \leq 6$:

$$W_i = 1,472 \cdot d_o^{2,5}, R^2 = 0,9434$$

dla średnicy otworów sita: $1,2 \text{ mm} < d_z < 2,2 \text{ mm}$.



Rys.13. Wydajność przesiewania materiału modelowego przez najmniejsze sito dla danej frakcji w zależności od średnicy otworów sita

Fig. 13. Sieving efficiency of model material by the smallest sieve of given fraction in dependence on sieve hole diameter

5. Podsumowanie

1. Wydajność przesiewania dla poszczególnych sit jest uwarunkowana średnią średnicą zastępczą ziaren materiału modelowego.
2. Najwolniej przesypują się frakcje materiału przez sito, na którym następuje odsianie danej frakcji. (W badaniach frakcja odsiana wraca na sito do ponownego przesiania).
3. Obliczona wydajność przesiewania materiału przez otwory (wysyp) jest opisana równaniami analogicznymi jak w przypadku wysypu materiału ziarnistego przez otwór ze zbiornika:

$$W_i = 1,683 \cdot d_s^{2,5}, R^2 = 0,9572$$

dla średnicy otworów sita: $1,2 \text{ mm} < d_z < 2,2 \text{ mm}$.

Oznaczenia

$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ – całkowite pole powierzchni sita, m^2 ,

ρ_u – gęstość usypowa, $kg \cdot (m)^{-3}$,

$n_s = \frac{P \cdot F}{f_o}$ – ilość otworów w sicie o powierzchni F , szt,

$F_{CZ} = F \cdot P$ – powierzchnia czynna sita, m^2 ,

$d_z = \sqrt{d_{zi} \cdot d_{zi+1}}$ – średnia średnica ziaren frakcji nasion, mm,

$f_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4}$ – pole powierzchni otworu wysypowego, lub pojedynczego otworu w sicie, m^2 ,

A, a – stałe w równaniach,

D – średnica sita, m,

d_o – średnica otworu wysypowego lub pojedynczego otworu w sicie, mm,

m – masa niewyważona, kg,

M – masa przesiewacza rotacyjnego,

M_n – masa nasion, która przeszła przez sito, kg,

n – wykładnik potęgi,

O_1-O_1 i O_2-O_2 – osie wibratorów,

P – prześwit sita,

u – liniowa prędkość wysypu materiału w otworze, $m \cdot (s)^{-1}$,

V – strumień objętościowy, $m^3 \cdot (s)^{-1}$,

V_i – strumień objętościowy dla jednego otworu, $kg \cdot (h \text{ otw.})^{-1}$,

W – strumień masowy wysypu, $kg \cdot (h)^{-1}$,

γ – kąt nachylenia osi wibratora do poziomu, $^\circ$,

ε – promień niewyważona, m,

τ – czas przejścia przez sito, h,

ω – prędkość obrotowa sinika, $(s)^{-1}$.

Literatura

1. **Blechman I.I.:** *Sinchronizacja dynamiczeskich sistem.* Moskwa-Leningrad 1976.
2. **Błasiński H., Młodziński B.:** *Aparatura przemysłu chemicznego.* WNT, Warszawa 1971.

3. **Domoradzki M., Weiner W., Korpala W.:** *Badania sprawności przesiewacza wibracyjnego*. XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Postęp w Inżynierii Żywności”, Suwałki 2004.
4. **Kanzleiter T.:** *Die Taumelsiebmaschine*. Maschinendynamik und Guttransport. 3,7, Auber.-Tech., 1971.
5. **Schmidt P.:** *Taumelsiebenmaschinen*. 7, Auber.-Tech. 1966.
6. **Wodziński P.:** *Przesiewanie i przesiewacze*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej ISBN 83-87198-06-4. Łódź 1997.

Biological Material Sieving in Rotary Screen

Abstract

In the screening technology most common screens are ones with linear flow of material screened by machines. Riddle of screens generally have a rectangular shape and the material moves on sieve in a straight line movement. This movement is essential to the existence of the screening process, involving the passage of small grains, which are in size of the lower class KD, through sieve holes.

This paper concerns use of rotary screen for precise classification and separation of biological grain material.

In this research work sieving efficiency of multideck rotary vibrating screen with electrical side vibratos adjusted on angle of 45° were presented. Efficiency of sieving process by particular sieves (G_i) and material sieving by holes of those sieves (g_i) were calculated.

Equation of dumping rate through sieve holes are parallel to grain material dumping out of container through bottom hole.:

$$W_i = 1,683 \cdot d_s^{2,5}, R^2 = 0,9572$$

where sieve hole diameter is: $1.2 \text{ mm} < d_z < 2.2 \text{ mm}$.

Carried out research allows to make a statement that the separation of seeds is the slowest on the sieve with a hole diameter equal to the diameter of the seed of the given fraction. Rate of going through the sieve raised to increases with increase of sieve hole diameter raised to 2.5 power.

