

WYKORZYSTANIE POLA ELEKTROSTATYCZNEGO W SEPARACJI ROZDROBNIONYCH MATERIAŁÓW ROŚLINNYCH

Grzegorz Szwed¹, Jacek Majcher²

¹Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: g.szwed@pollub.pl

²Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin

Streszczenie. Jednym z etapów przetwórstwa rozdrobnionych materiałów roślinnych jest wcześniejsza separacja składników o zróżnicowanej przydatności. W pracy przedstawiono metodę rozdzielania rozdrobnionych materiałów roślinnych (nasion rzepaku) wykorzystując zachowanie się ich w polu elektrostatycznym. Badania wstępne przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, uwzględniając stopień rozdrobnienia nasion i natężenie pola elektrostatycznego. Zastosowana metoda pozwoliła z rozdrobnionych nasion rzepaku odseparować cząstki łupin nasion, jako materiał mało przydatny do dalszych procesów przetwórczych (pozyskiwanie oleju, wykorzystanie śruty rzepakowej jako karmy dla zwierząt). Przeprowadzone badania potwierdzają, że pole elektrostatyczne w zróżnicowany sposób oddziałuje na materiał sypki pochodzenia roślinnego. Intensywność oddziaływania zależy ściśle od parametrów elektrycznych danego materiału oraz od natężenia pola. Badania wykazały, że wraz ze wzrostem pola elektrostatycznego skuteczność separacji wzrasta.

Słowa kluczowe: rzepak, elektroseparator, łupina, zarodek, separacja

WSTĘP

Na konkurencyjnym światowym rynku produktów żywnościowych, jakość stała się istotną i wyróżniającą cechą. Jedną z konsekwencji uprzemysłowienia i zwiększania skali produkcji żywności jest to, że gdy w procesie technologicznym zanieczyszczenia w niedostatecznym stopniu zostaną oddzielone od wytwarzanego produktu, to zagrożona może być znaczna liczba konsumentów. Dbłość o jakość powinna być realizowana w całym systemie produkcji, aby raczej zapobiegać niż korygować błędy. Jednym więc z istotnych warunków zapewniających

wysoką jakość produktu finalnego pochodzenia roślinnego, w wielu przypadkach, jest możliwość rozdzielania (separacji) frakcji różniące się wartością użytkową.

Istnieje wiele metod separacji, które rozdzielają materiał na podstawie jego kształtu, masy czy koloru. W przypadku rozdrobnionych materiałów stosowanie powyższych metod jest niekiedy mocno ograniczone.

W agrotechnice np. podczas pozyskiwania nasion, od wielu lat stosuje się różne metody separacji nasion i ziarna zbóż. Potrzeby te wynikają stąd, że pozyskiwany surowiec nie zawsze stanowi jednorodną masę nasienną z uwagi na zróżnicowaną zawartość zanieczyszczeń oraz nasion niedojrzałych i niewykształconych, które zwykle mają małą wartość biologiczną i technologiczną. W procesie separacji wykorzystuje się takie cechy rozdzielcze nasion jak: wymiary, masę, kształt czy też rodzaj powierzchni. Procesy te są nazywane przez hodowców i magazynierów jako „czyszczenie” nasion i są wykorzystywane przed ich dalszą konserwacją i magazynowaniem. Do chwili obecnej opracowano znaczną ilość metod i środków pozwalających na rozwiązanie problemu czyszczenia nasion w sposób zadawalający hodowców. Istotnym problemem do tej pory wciąż oczekującym na skuteczne rozwiązanie, jest separacja frakcji nasion słabo wykształconych lub w taki sposób uszkodzonych (nie przydatnych w dalszym procesie przetwórczym), które posiadają identyczne, wykorzystywane dotychczas właściwości rozdzielcze, od pozostałych zebranych nasion. Dotyczy to zwłaszcza frakcji o znacznym stopniu rozdrobnienia (przetwórstwo), gdy wymienione cechy rozdzielcze wykorzystywane w separacji całych nasion nie mogą być brane pod uwagę. Należy w tym wypadku sięgnąć po opracowania nowych metod, poszukując innowacyjnych rozwiązań na skuteczne rozdzielanie rozdrobnionych frakcji.

NAJCZĘŚCIEJ SPOTYKANE METODY SEPARACJI MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH

Separacja materiałów drobnoziarnistych, polega na rozdzieleniu surowca na grupy, różniące się cechami fizycznymi takimi jak: wielkość, kształt czy masa jednostkowa (Dłużewski i Dłużewska 2001) i można wykonać ją za pomocą metod mechanicznych.

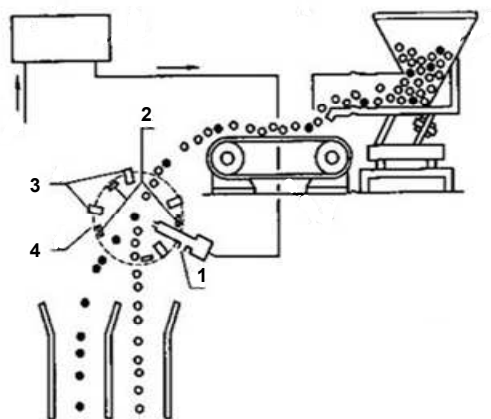
Sortowanie według długości przeprowadza się zazwyczaj w sortownikach kaskadowych, w których materiał przesuwa się pod wpływem wibracji po nachylonych pod określonym kątem rynnach z kaskadowymi przerwami. W zależności od swojej długości materiał wpada w te przerwy lub przemieszcza się na kolejną rynnę.

Separację względem masy jednostkowej można wykonać w urządzeniach, w których rozdział na frakcje lżejsze od cięższych odbywa się przy pomocy strumienia powietrza. Frakcje lżejsze są przenoszone dalej natomiast frakcje cięższe spadają wcześniej. Wśród metod separacji względem masy jednostkowej zastosowanie znaj-

duże metoda flotacji polegająca na rozdzieleniu ziarnistych materiałów, różniących się gęstością i zwilżalnością przez przepływającą wodę lub jej roztwory.

Inną metodą separacji materiałów drobnoziarnistych jest metoda wykorzystująca jednocześnie kształt i wielkość frakcji. Do separacji tą metoda wykorzystywane są sита, w których otwory dobierane są do wielkości materiału oraz frakcji którą chcemy odseparować.

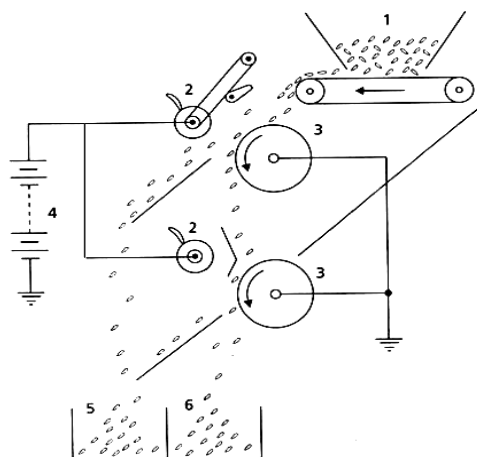
Oprócz wyżej wymienionych cech fizycznych rozróżniających materiał stosuje się również separację względem koloru. Taka separacja jest realizowana przy pomocy urządzeń wyposażonych w elementy elektroniczne jak i pneumatyczne. Zasadę działania takiego urządzenia pokazano na rysunku 1. Separowany materiał przemieszcza się przed fotokomórką, w której następuje pomiar światła odbitego. Następnie wielkość zmierzona zostaje porównana z sygnałem wzorcowym i jeśli jest ona w granicach wzorca nie jest podejmowana żadna akcja, w innym przypadku uruchamiany jest strumień powietrza, który przemieszcza cząstkę niespełniającą określonych wymagań do innej komory.



Rys. 1. Schemat działania pneumatycznego sortownika fotokomórkowego: 1 – sprężone powietrze, 2 – kolorowe tło, 3 – fotokomórka, 5 – optyczna komora (Dłużewski i Dłużewska 2001)

Fig. 1. Pneumatic photocell sorter working scheme: 1 – compressed air, 2 – colourful background, 3 – photocell, 5 - optical chamber (Dłużewski and Dłużewska 2001)

Oprócz wyżej wymienionych sposobów separacji pod względem cech zewnętrznych istnieje możliwość rozróżnienia materiałów pod względem ich składu chemicznego. Taki sposób rozróżniania materiałów zastosowano w procesie separacji liści herbaty od ich ogonków (rys. 2.). W procesie tym wykorzystano niewielką różnicę wilgotności liści i ogonków a tym samym różnice w ich przewodnictwie elektrycznym i przenikalności elektrycznej najlepsze rezultaty separacji osiągnięto przy wilgotności mieszaniny około 7% (Masui 1982).



Rys. 2. Separator elektrostatyczny do oddzielania liści i ogonków herbaty (Chang i in. 1995)

1 – mieszanina liści i ogonków herbaty, 2 – wysokonapięciowe elektrody, 3 – bębny, 4 – zasilacz wysokonapięciowy, 5 – liście herbaty, 6 – ogonki herbaty

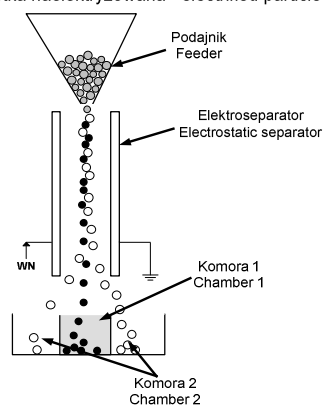
Fig. 2. Electrostatic separation of tea leaves and stems (Chang *et al.* 1995)

1 – mixture of tea leaves and stems, 2 – high voltage electrode, 3 – drum, 4 – high voltage power source, 5 – tea leaves, 6 – tea stems

Separacji rozdrobnionych materiałów pochodzenia roślinnego, np. nasion rzepaku, można dokonać również przy pomocy pola elektrostatycznego. Separacja elektrostatyczna wykorzystuje właściwości cząstek wynikające z różnic w ich ładunku elektrycznym, przewodnictwie elektrycznym oraz przenikalności elektrycznej (Gajewski 2000). Jest możliwa głównie dzięki sile elektroforezy – oddziaływaniu pola elektrycznego na cząstkę posiadającą ładunek, znajdującą się w tym polu. Pole elektryczne wytwarzane jest przez równoległe elektrody zasilane wysokim napięciem, a ładunek zgromadzony jest na powierzchni rozdrobnionych nasion. Ładunek „powierzchniowy” otrzymujemy poprzez elektryzację cząstek. W zależności od warunków i sposobu elektryzacji ładunek ten może mieć różną wartość oraz znak. Na rysunku 3 przedstawiony został model elektroseparatora z elektryzacją nasion poprzez indukcję (Šimorda i Staroba 1970).

Separacja elektrostatyczna jest możliwa dzięki sile F_{el} (N) działającej na ziarno posiadające ładunek powierzchniowy Q_t (C). Siła ta przemieszcza ziarno w zależności od wielkości i znaku ładunku elektrycznego Q_t na ziarnie, a jej wielkość zależy od natężenia pola elektrycznego E ($V \cdot m^{-1}$) (Dodbiba i in. 2001).

● - cząstka nienaektryzowana - nonelectrified particle
○ - cząstka naektryzowana - electrified particle



Rys. 3. Zasada separacji materiałów sypkich w polu elektrycznym

Fig. 3. The principle of separation of loose materials in the electric field

$$F_{el} = Q_t \cdot E = A \cdot q \cdot E \quad (1)$$

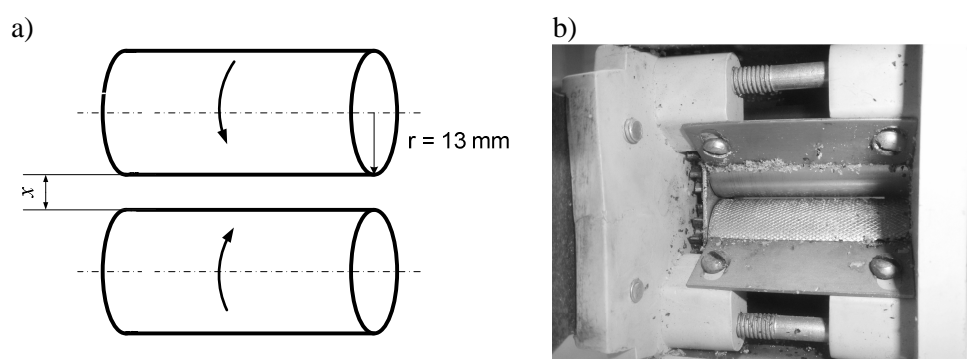
gdzie: A – powierzchnia ziarna (m^2), E – natężenie pola elektrycznego ($V \cdot m^{-1}$), q – jednostkowy ładunek powierzchniowy ziarna ($C \cdot m^{-2}$), Q_t – ładunek powierzchniowy (C).

CEL I ZAKRES PRACY

Celem przeprowadzonych badań było zapoznanie się z możliwościami wykorzystania właściwości pola elektrostatycznego w separacji cząstek rozdrobnionego materiału roślinnego. Materiałem modelowym były rozdrobnione nasiona rzepaku ozimego z których oddzielano okrywę owocowo-nasienną (łupinę) od rozdrobnionej pozostałej masy. Zakres pracy obejmuje rozdrabnianie nasion rzepaku o określonej wilgotności na odpowiednim stanowisku, a następnie oddzielanie niepożądanych cząstek łupin od cząstek liścieni i korzonka zarodkowego (zarodka), stosując zróżnicowane natężenie pola elektrostatycznego. Stopień rozdrobnienia i wielkość natężenia pola elektrostatycznego są punktem wyjścia do poszukiwania optymalnych warunków dalszych badań.

MATERIAŁ I METODY

Jako materiał badawczy wykorzystano nasiona rzepaku średniowczesnej odmiany Bazyl. Próbkę nasion przygotowane zostały na odpowiedniej kruszarce walcowej (rys. 4b). Stopień rozdrobnienia zmieniano w ten sposób, że nasiona przepuszczano pomiędzy walcami o odpowiedniej chropowatości ich powierzchni stosując różny rozstaw walców (rys 4a). Poszczególne frakcje wymiarowe uzyskiwano przepuszczając nasiona przez walce o rozstawie zmieniającej się co

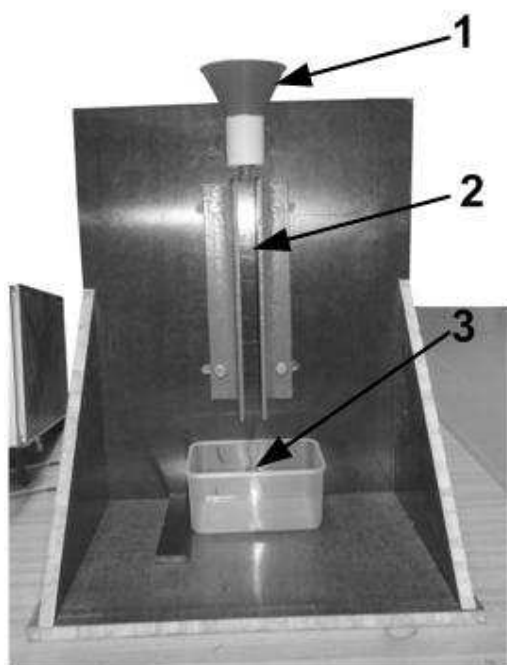


Rys. 4. Kruszarka walcowa a) schemat, b) model rzeczywisty
Fig. 4. The cylindrical crusher a) schematic diagram, b) real model

0,1mm zaczynając od rozstawu $x_1 = 3$ mm, a kończąc na rozstawie $x_2 = 1$ mm. Uzyskano w ten sposób 21 rozdrobnionych frakcji.

Taki sposób regulacji pozwolił rozkruszyć nasiona rzepaku nie powodując nadmiernego wyciskania z nich oleju i zapobiec sklejeniu rozdrobnionych frakcji. Następnie z każdej frakcji ręcznie rozdzielono fragmenty łupiny od pozostałych fragmentów nasion, umożliwiając tym samym w dalszych badaniach przeanalizowanie wpływu rozdzielczości pola elektrostatycznego na każdy z tych składników. Ze względu na różnicę składu chemicznego łupiny i pozostałych fragmentów nasion, postanowiono wykorzystać tę właściwość w separacji elektrostatycznej tych składników.

Badania prowadzone były na elektroseparatorze przedstawionym na rysunku 5.

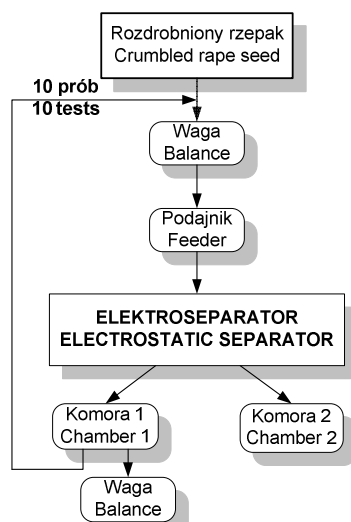


Rys. 5. Stanowisko badawcze: 1 - podajnik, 2 – elektroseparator, 3 – komory 1 i 2 oddzielone przegrodami
Fig. 5. The research station: 1 - feeder, 2 – electrostatic separator, 3 - chambers 1 and 2 separated with dams

Rozdrobniony materiał odpowiedniej frakcji po wcześniejszym zważeniu wsypywano do podajnika, a następnie przemieszczając się w polu elektroseparatora podlegał rozdzielaniu na frakcje różniące się przenikalnością elektryczną (rys. 6).

Cząstki słabo lub nienaektryzowane trafiały do komory 1, a naelektryzowane w wyniku oddziaływania pola elektrostatycznego wpadały do komory 2, w efekcie odchylenia toru spadania cząstek. W następnej kolejności ważono materiał umieszczony w komorze 1, co pozwoliło obliczyć procentowo ilość materiału w komorze 2 (reagowało na oddziaływaniu pola elektrostatycznego). Proces ten powtarzano i w kolejnych próbach materiał z komory 1 trafiał ponownie do podajnika i tak przez kolejne 10 prób. Wyniki doświadczeń przedstawione zostały na rysunku 7.

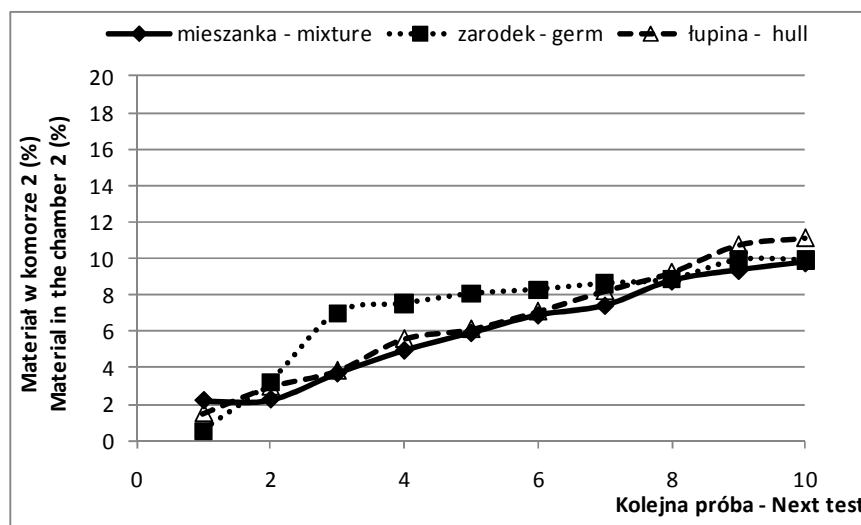
Badania prowadzono dla 4 różnych wartości napięć zasilających elektroseparator a tym samym różnych wartości natężeń pola elektrostatycznego.



Rys. 6. Schemat blokowy sposobu prowadzenia badań

Fig. 6. Block diagram of the test procedure

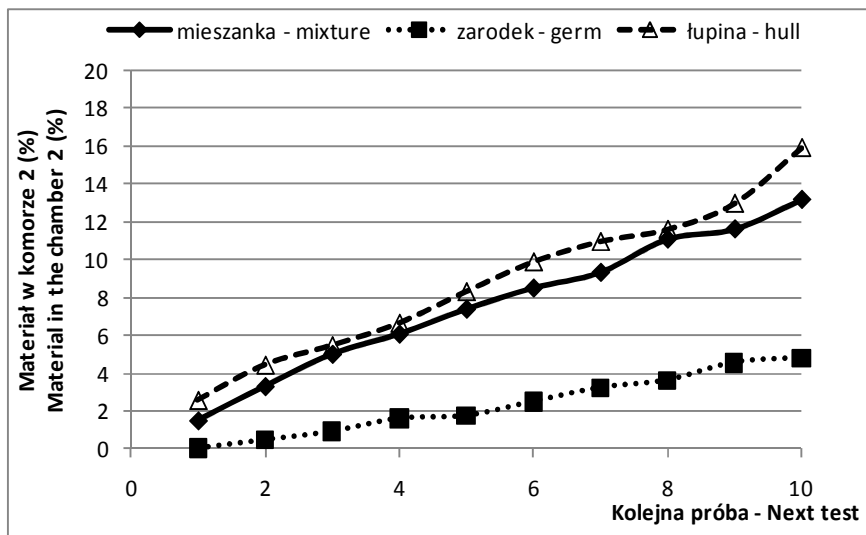
a)



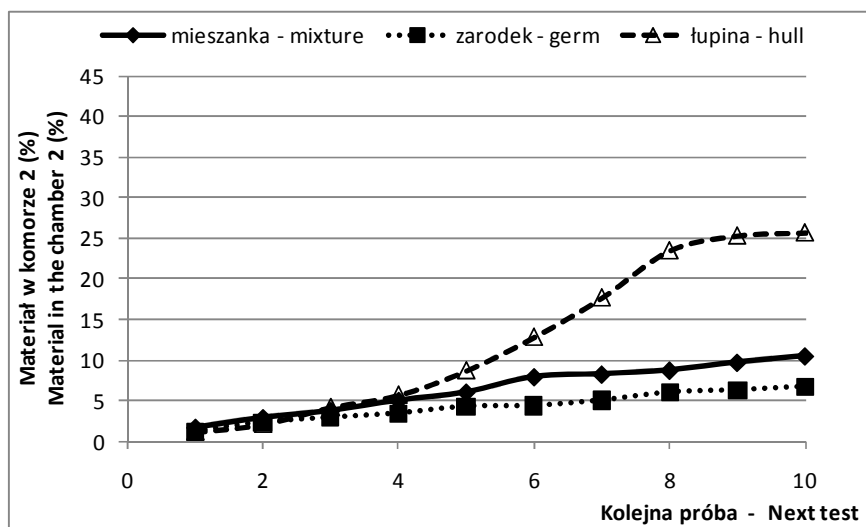
Rys. 7. Ilość materiału w komorze 2 (%) w funkcji kolejnych prób dla różnych wartości natężeń pola elektrycznego: a) $0 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, b) $0,64\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, c) $1,94\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, d) $4,52\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$

Fig. 7. Quantity of material in chamber 2 (%) in the function of successive tests for various values of electric field intensity: a) $0 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, b) $0.64\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, c) $1.94\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, d) $4.52\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$

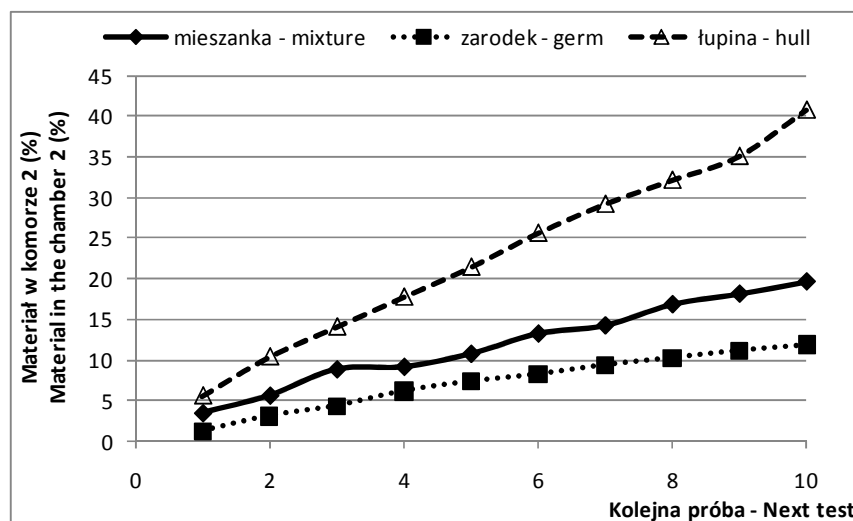
b)



c)



d)



Rys. 7. cd. Ilość materiału w komorze 2 (%) w funkcji kolejnych prób dla różnych wartości natężeń pola elektrycznego: a) $0 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, b) $0,64\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, c) $1,94\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, d) $4,52\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$

Fig. 7. Cont. Quantity of material in chamber 2 (%) in the function of successive tests for various values of electric field intensity: a) $0 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, b) $0.64\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, c) $1.94\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, d) $4.52\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania potwierdzają, że pole elektrostatyczne w zróżnicowany sposób oddziałuje na rozdrobnione elementy nasion rzepaku, niezależnie od stopnia rozdrobnienia. Intensywność oddziaływania zależy ściśle od parametrów elektrycznych danego materiału (przenikalność elektryczna, przewodnictwo elektryczne) oraz od natężenia pola elektrostatycznego. Badania pokazują, że wartość natężenia pola wpływa na intensywność separacji. Im pole elektrostatyczne jest silniejsze tym więcej cząstek znajduje się w komorze 2 (tor cząstek jest bardziej zakrzywiony).

Potwierdziły się założenia, że w przypadku rozdrobnionych nasion rzepaku istnieje możliwość separacji łupin nasion ze względu na ich zróżnicowany skład chemiczny. Z przeprowadzonych badań przedstawionych na rysunkach 7a-d) można zauważyć, że pole elektrostatyczne wpływa silniej na łupinę, mniej zaś na mieszaninę a najslabiej na elementy zarodka. Dzięki temu istnieje możliwość oddzielenia łupiny nasion od pozostałych elementów. Zauważono również, że wraz ze wzrostem natężenia pola elektrostatycznego więcej łupiny znajduje się w komorze 2. W przypadku większych natężeń pola równych $4,52\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ około 40% łupiny znajduje się w komorze 2 po 10 próbach, natomiast pozostałych

składników nasion około 12%. Powyższe różnice pozwalają stwierdzić, że istnieje możliwość odseparowania łupiny nasion od pozostałej części rozdrobnionej masy.

Pojedyncza próba nie pozwala osiągnąć wysokich sprawności elektroseparatora ze względu na wzajemne oddziaływanie cząstek zarówno elektrostatyczne jak i mechaniczne. Gdyby cząstki podawane były pojedynczo istniała by możliwość precyzyjnego określenia wartości natężenia pola elektrostatycznego, która zapewniła by odchylenie toru cząstki tak by trafiła ona do komory 2. W niniejszych badaniach cząstki podawane były zbyt gęstym strumieniem, co sprzyjało, że oddziaływały one na siebie (przekazując między sobą ładunek) lub cząstki słabo naelektryzowane stanowiły przeszkodę mechaniczną dla cząstek naelektryzowanych, nie pozwalając im tym samym na odchylenie toru opadania zgodnie z wartością posiadającego ładunku tak by trafiały one do komory 2. Przykład takiej sytuacji stanowi mieszanina łupiny i pozostałej części nasion. Z tego też właśnie powodu kilkakrotnie (10x) przepuszczano materiał z komory 1 przez pole elektrostatyczne elektroseparatora.

Przeprowadzone badania wstępne uzasadniają potrzebę ich rozszerzenia w kierunku:

- sposobu podawania materiału do elektroseparatora,
- odpowiedniej konstrukcji komory elektroseparatora (wymiały, kształt),
- poszukiwania bardziej skutecznych sposobów elektryzacji cząstek.

PIŚMIENNICTWO

- Chang J-S., Kelly A., Crowley J., 1995. Handbook of electrostatic processes. Marcel Dekker Inc. New York.
- Dłużewski M., Dłużewska A., 2001. Technologia żywności cz 2. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Dodbiba G., Shibayama A., Miyazaki T., Fujita T., 2001. Electrostatic separation of the shredded plastic mixtures using a tribo-cyclone. Magnetic and Electrical separation, Vol. 11, No. 1-2, 63-92.
- Gajewski A., 2000. Procesy i technologie elektrostatyczne. Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa-Kraków.
- Masui N., 1982. Electrostatic separation for removal from green tea of stems and from food of impurities. Proceedings of the IEJ, 6(3).
- Šimorda J., Staroba J., 1970. Elektrostatyczność statyczna w przemyśle. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

APPLICATION OF ELECTROSTATIC FIELD IN SEPARATION PROCESS
OF CRUSHED PLANT MATERIAL

Grzegorz Szwed¹, Jacek Majcher²

¹Department of Fundamentals of Technology, Lublin University of Technology
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: g.szwed@pollub.pl

²Department of Computer and Electrical Engineering, Lublin University of Technology
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin

Abstract. One of the stages of processing of crumbled or shredded plant materials is earlier separation of components with varied usability. The paper presents a method of separation of crumbled plant materials (rape seeds) through the utilisation of the behaviour of their particles in the electrostatic field. Preliminary investigations were conducted in laboratory conditions, taking into account the degree of crumbling of the seeds and the intensity of the electrostatic field. The method applied allowed to separate particles of the seed coat from crumbled rape seeds, as material with little value for further processing (expression of oil, utilisation of rapeseed meal as fodder for animals). Conducted investigations confirm that the electrostatic field has a diversified effect on loose material of plant origin. The intensity of the influence depends closely on the electric parameters of the given material and on the intensity of the field. The investigations proved that with the growth of the electrostatic field, the effectiveness of separation increases.

Keywords: rape seed, electrostatic separator, hull, germ, separation