

Kazimierz ZAWIŚLAK, Marian PANASIEWICZ, Paweł SOBCZAK, Jacek MAZUR  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

## Ocena pracy separatora pneumatyczno-sitowego do wybranych materiałów sypkich

### Streszczenie

W procesie przetwarzania i konfekcjonowania ziół powstaje frakcja odpadowa, która jest niewykorzystana w produkcji zielarskiej powodując obniżenie zyskowności produkcji. Przeprowadzone badania miały dać odpowiedź czy przy zastosowaniu nowej konstrukcji separatora pneumatyczno-sitowego będzie możliwość pozyskania z frakcji odpadowej wartościowego surowca do przetwórstwa. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły możliwość odzyskania z powstających odpadów około 70% surowca.

**Słowa kluczowe:** separacja, czyszczenie, zioła

### Evaluation of the work pneumatic-sieve separator for chosen loose materials

#### Summary

In the processing and packaging of herbs generates a fraction of waste, which is not used in the manufacture of herbal causing loss of production profitability. The aim of the study was analysis if using the new separator design pneumatic-screens will be able to obtain the raw material for processing. Results of this study confirmed the possibility of recovery of waste generated about 70% of the raw material.

**Key words:** separation, cleaning, herbs

#### Wstęp

Wzrost zainteresowania medycyną naturalną, zdrową żywnością oraz dodatkiem ziół i przypraw do wielu produktów żywnościowych spowodowało znaczny wzrost zapotrzebowania na surowce zielarskie. Dlatego, prowadzone są badania nad usprawnieniem techniki ich zbioru i przygotowania do użytku, poprzez projektowanie coraz nowszej generacji wydajnych maszyn i urządzeń. Dostępne wyniki badań skutecznego (100%) wydzielenia zanieczyszczeń z badanych mieszanin okazały się bardzo trudne do zrealizowania, ponieważ znaczna ilość poszczególnych zanieczyszczeń charakteryzowała się bardzo zbliżonymi (w porównaniu do cech gatunku podstawowego) właściwościami, które trudno było usunąć zarówno w samym strumieniu powietrza jak i na stanowiskach dotychczas stosowanych urządzeń sitowo pneumatycznych i wibracyjnych. Wynika stąd wniosek, że zioła wymagają specjalnego podejścia technologicznego i wykorzystania często specyficznego i niekonwencjonalnego zestawu maszyn czyszcząco-separujących. Separacja pneumatyczna, obok sitowej, jest najczęściej wykorzystywaną metodą czyszczenia w przemyśle spożywczym. Proces rozdziału przebiega pod wpływem strumienia powietrza, jako czynnika wywołującego różnicę w aerodynamicznych cechach cząstek mieszanin ziarnistych. Dzięki działaniu jednego lub kilku strumieni powietrza można dokonać podziału surowca pod względem jakościowym, geometrycznym, gęstościowym czy masowym (Grochowicz 1994).

W porównaniu do innych metod separacji, metody pneumatyczne charakteryzują się wieloma zaletami (Tylek, Walczyk 2002):

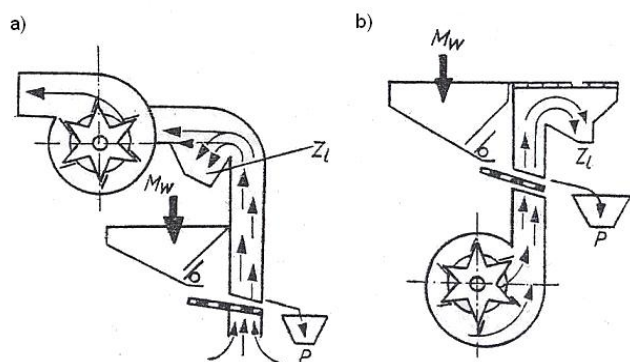
- nie zapyłają powietrza (w przypadku aspiratorów omówionych poniżej);
- umożliwiają jednoczesne sortowanie i czyszczenie surowca,
- emitują niewielki poziom hałasu;

- nie uszkadzają surowca;
- nie wpływają na zmianę cech fizycznych i biologicznych surowca w procesie separacji;
- umożliwiają bezstopniową regulację parametrów separacji;
- charakteryzują się dużą wydajnością przy małych gabarytach i niskim poborze mocy.

Proces pneumatycznego rozdziału mieszanin przebiega zazwyczaj pod kątem 90° względem płaszczyzny poziomej (pionowy strumień powietrza) oraz w zakresie 0 – 90° (strumień powietrza ukośny). Najbardziej spotykanym rozwiązaniem jest zastosowanie strumienia poziomego. W przypadku strumienia pionowego cząstki cięższe przełamują opór powietrza i opadają na dół, cząstki lżejsze są porywane i unoszone ku górze. Praca separatora o ukośnym ruchu powietrza polega na odchyleniu trajektorii spadających cząstek mieszaniny – zróżnicowane właściwości aerodynamiczne powodują różnice w odchyleniu toru lotu poszczególnych ziaren i w konsekwencji podział na frakcje (Kramkowski 1997).

Głównym kryterium klasyfikacji separatorów pneumatycznych jest umiejscowienie wentylatorów generujących strumień powietrza. Determinuje to budowę i sposób rozdziału mieszaniny. Wyróżnia się separatory:

- podciśnieniowe (aspiratory), w których powietrze jest zasysane do komory roboczej przez wentylator umieszczony za nią (rys. 1a);
- nadciśnieniowe, w których powietrze jest włączane do komory roboczej przez wentylator umieszczony na początku układu (rys. 1b);
- kombinowane, w których zastosowanie dwóch wentylatorów, przed i za komorą roboczą, umożliwia, w zależności od ich charakterystyk, pracę w warunkach podciśnienia lub nadciśnienia.



Rys. 1. Schemat kanałów pneumatycznych z różnie umieszczonymi wentylatorami, a) aspirator z wentylatorem umieszczonym za kanałem, b) kanał nadciśnieniowy z wentylatorem na początku systemu (Grochowicz 1994)

Fig. 1. Scheme of pneumatic channels with differently fans arranged, a) aspirator fan is arranged downstream of the channel, b) the overpressure channel with a fan at the beginning of the system

Na proces separacji pneumatycznej zasadniczy wpływ mają (Grochowicz 1994):

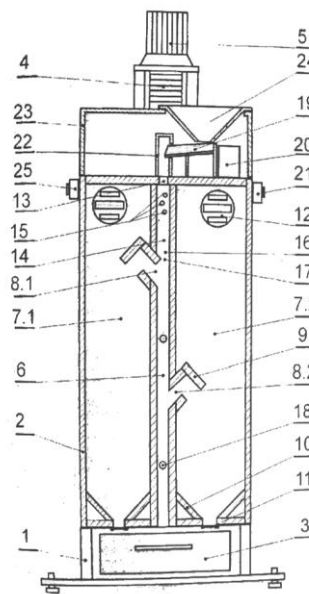
- charakterystyka materiału wejściowego (skład materiału, ilość i rodzaj zanieczyszczeń – skuteczność separacji jest tym większa, im większa jest różnica prędkości krytycznych (przy których surowiec w kanale pneumatycznym przechodzi w stan fluidalny – zawieszenia) materiału podstawowego i zanieczyszczeń;
- obciążenie kanału roboczego – im więcej materiału zostanie podane w jednostce czasu w tych samych warunkach, tym mniejsza będzie skuteczność;
- prędkość początkowa materiału wejściowego;
- czas przebywania mieszaniny wejściowej w strumieniu powietrza;
- wymiary kanału pneumatycznego;
- prędkość i równomierność strumienia powietrza.

Samodzielne czyszczalnie pneumatyczne zazwyczaj dzieli się według systemu obiegu powietrza, na: czyszczalnie z obiegiem otwartym i czyszczalnie z obiegiem zamkniętym (Grochowicz 1994).

W pierwszym przypadku powietrze pobierane jest z otoczenia i następnie, po przejściu przez układ zostaje oddane do atmosfery. W drugim przypadku powietrze krąży w zamkniętym obiegu, dzięki czemu zanieczyszczenia i pyły nie mają możliwości wydostania się do otoczenia.

Separatory pneumatyczne, sitowe oraz kombinowane znajdują szerokie zastosowanie m.in.: w przemyśle, leśnictwie i rolnictwie – najczęściej wykorzystane są do czyszczenia ziaren zbóż przy usuwaniu wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia czy uszkodzonych nasion, obniżających wydajność i jakość surowca. Na skalę przemysłową wykorzystuje się czyszczalnie uniwersalne, których wydajność mierzy się w tonach na godzinę, w małych indywidualnych gospodarstwach rolnych od lat do separacji stosowany jest młynek, urządzenie wykorzystujące ukośny strumień powietrza do odchylenia trajektorii lotu cząstek o różnych masach i prędkościach krytycznych, co prowadzi do rozdziału mieszaniny na frakcje. Separatory o pionowym strumieniu powietrza odgrywają dużą rolę w procesach czyszczenia nasion drzew, krzewów i warzyw – ich zróżnicowanie pod względem budowy, masy, kształtu i właściwości aerodynamicznych wymusza ciągły postęp i daje pole do popisu konstruk-

torom urządzeń czyszczących. Wynika stąd ogromny wybór w rozwiązaniach technicznych – kształtach komór rozdzielczych i osadzących, sposobów dozowania czy odbioru surowca i zanieczyszczeń – wszystkie zmiany w celu maksymalizacji wydajności, jakości procesu separacji i minimalizacji zanieczyszczenia środowiska oraz szkodliwego wpływu na ludzi (Choszcz i in. 2008; Sobczak i in. 2011).



Rys. 2. Schemat separatora pneumatycznego: 1 – podstawa, 2 – kolumna separacyjna, 3 – pojemnik, 4 – rura wentylacyjna, 5 – wentylator ssący, 6 – kanał separacyjny, 7 – komora osadowa, 8 – ustnik wlotu, 9 – przegroda, 10 – lej zsypany, 11 – zastawka, 12 – kratka otworu wylotowego, 13 – otwór zasypowy, 14 – komora zasypowa, 15 – pręty otrzepujące, 16 – konfuzor, 17 – dysza wylotowa, 18 – otwór rewizyjny, 19 – rynna zsypana, 20 – cewka, 21 – regulator cewki, 22 – kominek, 23 – pokrywa zasypowa, 24 – kosz zasypowy, regulator wentylatora (Tylek, Walczyk 2002)

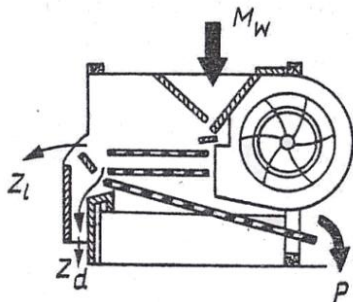
Fig. 2. Scheme of pneumatic separator: 1 – base, 2 – column separation, 3 – container, 4 – ventilation tube, 5 – suction fan, 6 – channel separation, 7 – sludge chamber, 8 – mouthpiece inlet, 9 – compartment, 10 – hopper, 11 – valve, 12 – outlet, 13 – charging hole, 14 – filling chamber, 15 – bars brushing, 16 – confuser, 17 – nozzle, 18 – opening hole, 19 – chute, 20 – coil, 21 – control coil, 22 – firebrick, 23 – Filling cover, 24 – hopper, fan controller (Tylek, Walczyk 2002)

Rysunek 2 przedstawia jedno z nowszych rozwiązań separatora służących do oddzielania drobnych nasion. Materiał dozowany jest w małych ilościach przy pomocy wibracyjnego dozownika (zwiększa to precyzję i równomierność podawania surowca), następnie trafia na elementy otrzepujące, które pozbawiają mieszaninę części lekkich frakcji. Mieszanina nabiera następnie prędkości, którą zwiększa strumień zasysany wraz z nią. Konfuzor, wzmacnia prędkość przepływu powietrza przy górnym wlocie do komory osadczącej, natomiast przy wylocie zmniejsza się ciśnienie statyczne, co powoduje separację zanieczyszczeń lekkich. W dolnym wlocie, do drugiej komory osadczącej przedostają się nasiona frakcji średniej na podobnej zasadzie. Frakcja właściwa, najcięższa, opada na dno kanału pionowego (Tylek, Walczyk 2002).

Aby zintensyfikować czy ulepszyć procesy czyszczenia często stosuje się oba rozwiązania w ramach jednego urządzenia lub zespołu urządzeń – można przy tym wyróżnić (Grochowicz 1994):

- rozdzielacze z niezależnym układem sitowym i pneumatycznym;
- rozdzielacze z układem sitowym przedmuchiwany powietrzem.

Jednym z podstawowych przykładów pierwszego typu urządzeń może być wialnia stosowana w gospodarstwach rolnych, w której po procesie separacji pneumatycznej i oddzieleniu zanieczyszczeń lekkich mieszanina spada na sita dzielące ją na frakcje pod względem rozmiaru cząstek (rys. 3). Urządzeniami o dużo bardziej złożonej budowie i o większej wydajności są czyszczalnie wykorzystujące naprzemiennie układy sitowe i pneumatyczne, przeznaczone do wstępnego oddzielania zanieczyszczeń oraz separacji różnorodnych gatunków nasion.



Rys. 3. Schemat wialni trzysitowej (Grochowicz 1994)  
Fig. 3. Scheme of three screen cleaner

W celu dokładnego czyszczenia nasion i ziaren stosuje się oba typy separacji jednocześnie, i wówczas sita, często wyposażone w napęd wibracyjny wyposaża się w system przedmuchiwania strumieniem powietrza. Układy takie (tzw. czyszczalnie uniwersalne), często wyposaża się dodatkowo w tryjery. Urządzenia te mają zazwyczaj kształt cylindrów wyposażonych w żłobkowane wgłębienia o wymiarach odpowiednich dla czyszczonych gatunków nasion. Zasada rozdziału polega na wykorzystaniu różnic długości poszczególnych cząstek – nasiona dłuższe wypadają wcześniej z obracającego się bębna tryjera, nasiona połamane, niedorozwinięte i zanieczyszczenia krótsze od ziaren celnych są przenoszone wyżej i spadają do oddzielnych komór (Grochowicz 1979). W czyszczalniach uniwersalnych czynnikiem sortującym zazwyczaj są sita, układ pneumatyczny pełni natomiast funkcję pomocniczą, porywając zanieczyszczenia lekkie i oczyszczając zbyt obciążone sito. Rozwiązanie to stosowane jest szeroko także w kombajnach zbożowych. Badania laboratoryjne dowodzą, że w przypadku odpowiedniego dobrania częstotliwości drgań sita oraz prędkości strumienia powietrza można uzyskać dużo większą wydajność procesu separacji (Feder i in. 2002; Kęska i in. 2005).

### Cel badań

Badania miały na celu określenie przydatności separatora sitowo-pneumatycznego do pozyskiwania frakcji użytecznej ziół z odpadów powstałych w procesie ich przetwarzania.

### Metodyka

Zgodnie z założeniami opracowano metodykę obejmującą przygotowanie surowców do badań oraz warunki przeprowadzonych doświadczeń.

W pracy zestawiono i porównano wybrane właściwości fizyczne tj.:

- zawartość wody, wg normy (PN-EN ISO 712:2009);
- gęstość usypową, wg normy (PN-EN ISO 8460:1999);
- rozkład granulometryczny, wg normy (PN-89/R-64798).

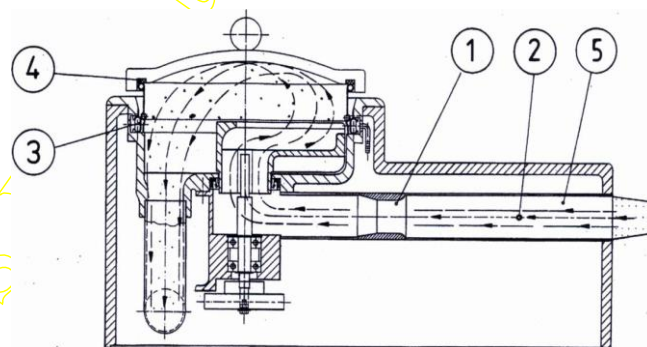


Rys. 4. Materiał użyty do badań  
Fig. 4. Testing material

Do separacji wykorzystano separator pneumatyczno sitowy LPS200MC, którego schemat działania przedstawia rysunek 5.

Badania wykonano stosując następujące parametry:

- prędkość obrotowa dyszy: 5 – 50 obr·min<sup>-1</sup>;
- zakres pomiaru: 10 – 75 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>;
- zakres ciśnień: 0 – 250 Pa;
- średnica sita: 200 mm;
- podział na frakcje: od 20 do 2000 μm.



Rys. 5. Przekrój obudowy sita i przepływu powietrza w separatorze LPS200MC: 1 – wężka Venturiego, 2 – czujnik temperatury i wilgotności, 3 – pierścieniowa uszczelka pneumatyczna, 4 – uszczelka pokrywy, 5 – zasysanie powietrza z filtrem

Fig. 5. Housing cross-section screen and air flow in the separator LPS200MC: 1 – venturi, 2 – temperature and moisture content, 3 – pneumatic seal ring, 4 – seal the cover, 5 – exhausting air from the filter

Na rysunku 6 przedstawiono stanowisko separatora sitowego LPS200MC z układem rejestrującym.



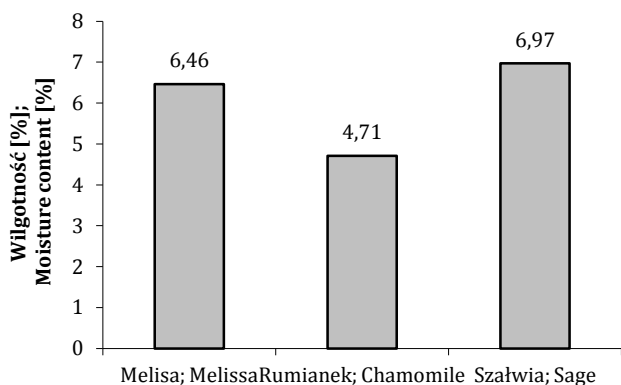
Rys. 6. Stanowisko badawcze separatora sitowego z przedmuchem sit strumieniem powietrza LPS200MC z układem rejestrującym

Fig. 6. The testing separator sieve with sieve air stream purging LPS200MC and recording system



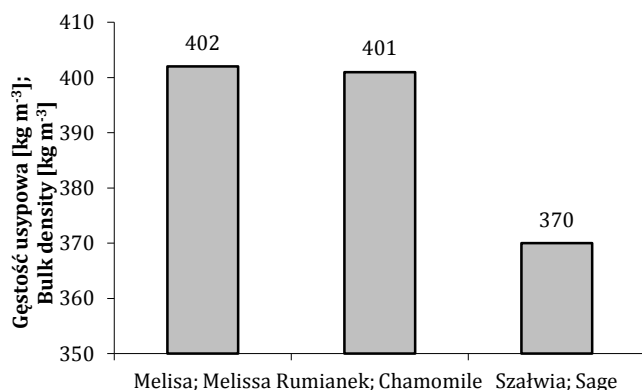
## Wyniki badań

W prawidłowym procesie separacji ziół wymagana jest znajomość właściwości fizycznych badanej mieszaniny. Jedną z takich właściwości jest wilgotność badanego materiału. Wyniki z przeprowadzonych oznaczeń przedstawiono na rysunku 7. Najniższą wilgotność miał rumianek, a najwyższą szalwia. Wilgotność tych surowców mieściła się w granicach wilgotności uznanej za bezpieczną w procesie magazynowania.



Rys. 7. Wyniki wilgotności badanych materiałów

Fig. 7. Moisture content of testing material



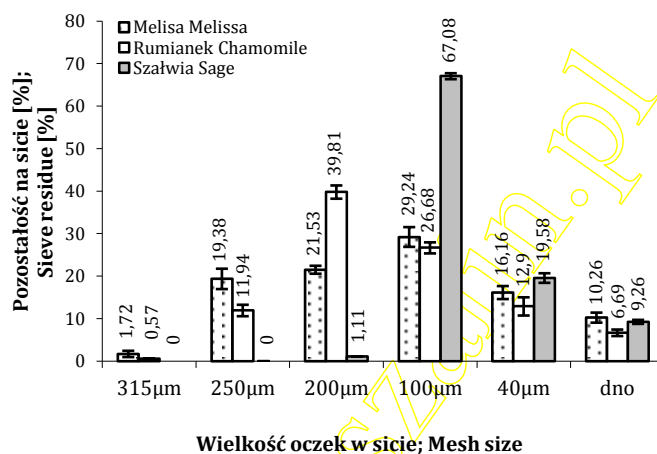
Rys. 8. Wyniki gęstości usypowej badanych materiałów

Fig. 8. Bulk density of testing material

Na rysunku 8 przedstawiono gęstość usypową poszczególnych ziół użytych do badań. Szałwia charakteryzowała się najmniejszą gęstością, co wynika z mniejszego stopnia jej rozdrobnienia (rys. 9).

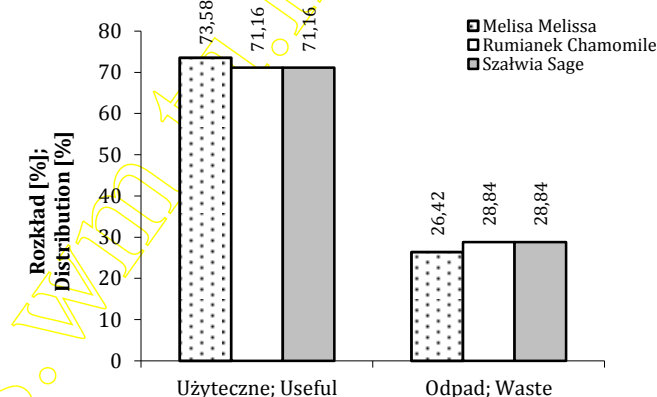
Zarówno stopień rozdrobnienia jak i gęstość mają duży wpływ na proces separacji zwłaszcza sitowo-pneumatycznej. Przedstawiony skład granulometryczny (rys. 9) surowców użytych do testowania separatora pozwala na stwierdzenie, że w badanym materiale odpadowym znajduje się około 70% cząstek powyżej 100 µm, które można wykorzystać do produkcji np. herbatek ziołowych.

Wyniki badań separacji wykonanej na separatorze pneumatyczno-sitowym przedstawia rysunek 10. Zastosowanie sita o oczkach 100 µm pozwoliło zgodnie z oczekiwaniami na odzyskanie z odpadów około 70% materiału do wykorzystania.



Rys. 9. Skład granulometryczny materiałów użytych do badań

Fig. 9. Particle size distribution of testing material



Rys. 10. Odzyskana frakcja ziół w procesie separacji na testowanym separatorze

Fig. 10. The recovered fraction of herbs in the separation process of the tested separator

## Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały celowość zastosowania tego typu systemu do doczyszczania odpadów z separacji ziół.
2. Zastosowane urządzenie pneumatyczno-sitowe pozwala na odzyskanie około 70% ziół z produktu traktowanego, jako odpad.
3. Uzyskane praktyczne efekty pokazują, że istnieje potrzeba opracowania takiego urządzenia na skalę produkcyjną.

## Literatura

1. Choszcz D., Jadwisieńczyk K., Konopka S. 2008. *Efektywność czyszczenia nasion marchwi (daucus carota L.)*. Inżynieria Rolnicza, 9(107), 33-38.
2. Feder S., Kęska W., Kośmicki Z. 2002. *Metoda symulacyjnego badania ruchu warstwy ziarna na powierzchni sita*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 486(2), 325-331.
3. Grochowicz J. 1979. *Mechanizacja rolnictwa: podręcznik dla techników rolniczych*. Tom 3, PWRiL, Warszawa.
4. Grochowicz J. 1994. *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*. Wyd. Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin.
5. Kęska W., Feder S., Włodarczyk K. 2005. *Wstępne wyniki badań nad pneumatyczną intensyfikacją procesu sortowania mieszanin ziarnistych na sicie wibracyjnym*. Inżynieria Rolnicza, 3(63), 235-242.

6. Kramkowski R. 1997. *Inżynieria i aparatura przemysłu spożywczego*. Skrypt AR Wrocław, Wrocław.
7. Sobczak P., Panasiewicz M., Zawiślak K., Mazur J. 2011. *The assessment of the process of pneumatic separation of de-husked rapeseeds*. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, V. XIC, 371-376.
8. Tylek P., Walczyk J. 2002. *Separator pneumatyczny do nasion drzew leśnych*. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 10, 16-25.

**Badania wykonano w ramach projektu NN 313757140**

**Kazimierz Zawiślak**  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie