

Maja Jakubowska, Leon Kukielka
Katedra Maszyn Roboczych
Politechnika Koszalińska

OPTIMALIZACJA PROCESU ROZRÓŻNIANIA SKŁADNIKÓW MIESZANINY KAMIENI I BULW ZIEMNIAKA METODĄ EMISJI AKUSTYCZNEJ

Streszczenie

Za podstawę rozróżnienia kamieni od bulw ziemniaka przyjęto różnicę poziomów natężenia dźwięku generowanego podczas ich uderzenia o stalowy element sprężysty. Przedstawiono wyniki badań rozpoznawczych (eliminujących) zrealizowanych zgodnie z planem Placketta-Burmana. Następnie przeprowadzono właściwe badania optymalizacyjne. Stosując metodę graficzną określono zbiór rozwiązań dopuszczalnych, optymalizacyjnych metody emisji akustycznej.

Słowa kluczowe: rozróżnianie kamieni i ziemniaków, badania rozpoznawcze, optymalizacja

Wstęp

Dokładność rozróżniania kamieni i ziemniaków (analogicznie jak dokładność separacji kamieni, brył ziemi i bulw ziemniaka [Karwowski 1982]) określono ogólnym wskaźnikiem dokładności rozróżniania η_r . Wyraża on stosunek liczbowy lub masowy prawidłowo rozróżnionych kamieni i ziemniaków do ogólnej zawartości tych składników w separowanym materiale, według wzoru:

$$\eta_r = \left(1 - \frac{z_n + k_n}{z_c + k_c} \right) 100\% = \frac{z_d + k_d}{z_c + k_c} 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- η_r – ogólny wskaźnik dokładności rozróżniania,
- z_c – całkowita liczba sztuk ziemniaków,
- k_c – całkowita liczba sztuk kamieni,

- k_n – całkowita liczba sztuk ziemniaków rozróżnionych nieprawidłowo,
- z_n – liczba sztuk kamieni rozróżnionych nieprawidłowo,
- z_d – liczba sztuk ziemniaków rozróżnionych prawidłowo,
- k_d – liczba sztuk kamieni rozróżnionych prawidłowo.

Rozróżnienie bulw ziemniaka od kamieni w metodzie emisji akustycznej odbywa się poprzez pomiar poziomu dźwięku (hałasu), natomiast w metodzie drgań rezonansowych – pomiar poziomu drgań, wytworzonych przez badane ciała, podczas ich spadania na element sprężysty.

Do badań przyjęto następujące założenie: składniki mieszaniny powinny być różniane niezależnie od: udziału poszczególnych składników w mieszaninie, wymiarów składników (małe, średnie, duże), stanu powierzchni (mokre, suche, zanieczyszczone ziemią), kształtu (okrągły, płaski, owalny itp.) oraz stereometrii powierzchni (ostra, chropowata, gładka).

Przedstawiono wyniki eksperymentalnych badań optymalizacyjnych metody emisji akustycznej. Za podstawę rozróżnienia kamieni od bulw ziemniaka przyjęto różnicę poziomów natężenia dźwięku generowanego podczas ich uderzenia o stalowy element sprężysty. Z dotychczasowych badań autorów wynika, że w celu zapewnienia rozróżniania składników mieszaniny, różnica ta powinna być jak największa, lecz nie mniejsza niż 20 dB:

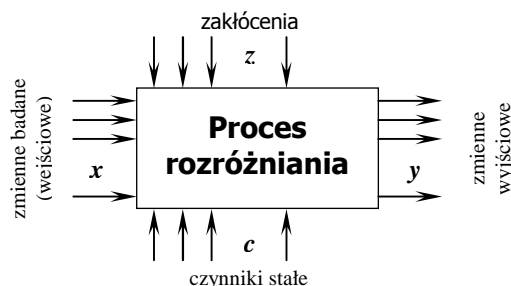
$$\Delta L = L_k - L_z > 20 \text{ dB}, \quad (2)$$

gdzie:

L_k, L_z poziomy natężenia dźwięku generowane odpowiednio przez kamienie i ziemniaki.

Badania rozpoznawcze (eliminujące)

Badania rozpoznawcze przeprowadzono w celu określenia istotności wpływu czynników badanych na poziom hałasu. Wykorzystując zasadę „czarnej skrzynki” ogół czynników podzielono na czynniki: wejściowe (badane), stałe, zakłócające i wyjściowe (rys. 1). Materiał badawczy stanowiły bulwy ziemniaka średniowczesnej odmiany „Ronda” i kamienie, zebrane z pól Pomorza Środkowego. Liczność próby badawczej wynoszącej $n=60$ wyznaczono na podstawie teorii pobierania prób [Kukielka 2002].



Rys. 1. Model „czarnej skrzynki”

Fig. 1. Model of „black box”

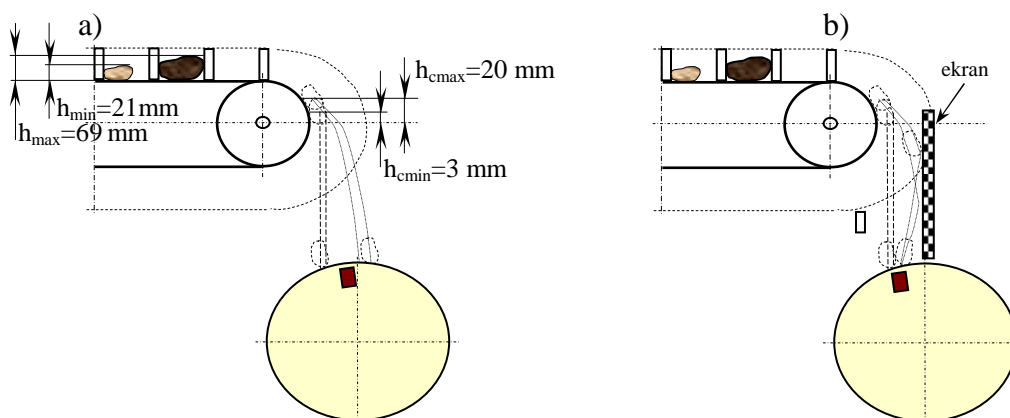
Pobrane losowo (z pomocą tablic liczb losowych) próbki ziemniaków i kamieni o szerokim zakresie wielkości gabarytowych, masowych i różnym stanie powierzchni, zostały sklasyfikowane według masy, długości, szerokości i grubości. Pomiaru masy oraz gęstości składników dokonano na urządzeniu RADWAG. Zakres zmienności masy bulw wynosił 29–176 g, a kamieni 50–850 g.

Do zbioru czynników badanych zaliczono: prędkość taśmy przenośnika podającego $v=0,1-0,7$ m/s, długość ziemniaka $l_z=39-92$ mm, szerokość ziemniaka $s_z=32-67$ mm, grubość ziemniaka $h_z=25-55$ mm, długość kamienia $l_k=31-199$ mm, szerokość kamienia $s_k=17-90$ mm, grubość kamienia $h_k=21-69$ mm, gęstość bulw $\gamma_z=1,005-1,209$ g/cm³, gęstość kamienia $\gamma_k=2,23-2,84$ g/cm³, chropowatość powierzchni kamienia S_{pk} (1 - gładki, 2 - chropowaty, 3 - kanciasty), kształt kamienia K_k (1 - elipsoidalny, 2 - kulisty, 3 - wielościan), stosunek liczby kamieni do liczby ziemniaków w mieszaninie $\lambda=0,6-1,0$, stan powierzchni kamienia (wilgotność) $S_{pk}=40-80\%$, stan skórki ziemniaka S_{pz} (1 - bezpośrednio po zbiorze, 2 - po 7 dniach, 3- po 15 dniach przechowywania), wilgotność ziemniaka $W_z=80-95\%$, sekwencja w strumieniu S_s (1 - KKK, 2- KZK, 3 - ZKZ, 4 - ZZZ), K- kamień, Z - ziemniak.

Ze względu na dużą liczbę czynników wejściowych, w celu określenia istotności ich wpływu na poziom ciśnienia akustycznego [dB], na poziomie istotności $\alpha=0,05$ przeprowadzono badania rozpoznawcze (eliminujące), zgodnie z planem Placketta-Burmana [Kukiełka 2002], opracowanym w programie EPlanner [Kukiełka 2003].

Po pierwszej serii badań okazało się, że ze względu na różne wymiary składników i różną prędkość przenośnika podającego, punkty uderzenia składników o czujnik bębnowy charakteryzowały się zbyt dużym rozrzutem. Część punktów znajdowała się zbyt daleko od miejsca umieszczenia mikrofonu. Dlatego też przeprowadzono

analizę teoretyczną toru lotu kamienia i ziemniaka oraz miejsc ich uderzenia o czujnik, w zależności od wymiarów i prędkości przenośnika. W efekcie zastosowano specjalny ekran, dzięki czemu znacznie ograniczono rozrzut (rys. 2).

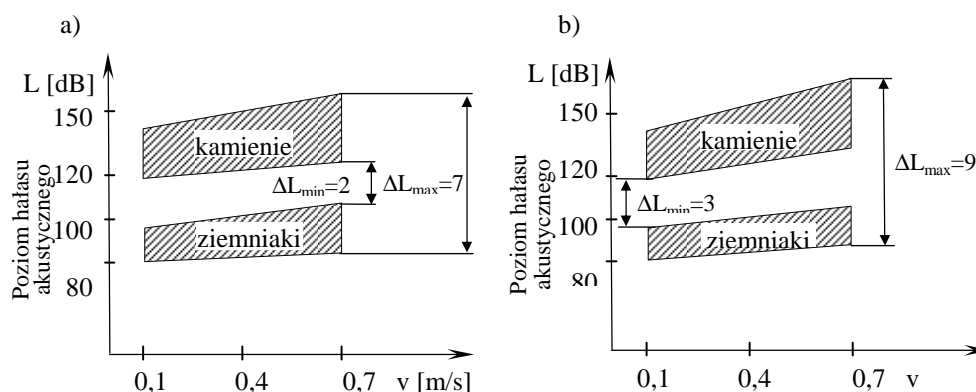


Rys. 2. Tory spadania składników separowanej mieszanki w całym zakresie regulacji prędkości przenośnika i zmian wymiarowych dla układu bez ekranu (a) i z ekranem (b)

Fig. 2. Tracks of fall of components of separated mixture in whole range of control of speed and changes dimension conveyor for arrangement without screen (a) and with the screen (b).

Z przeprowadzonej analizy wyników eksperymentu ustalono, że na poziomie istotności $\alpha=0,05$ wpływ na ciśnienie akustyczne mają następujące czynniki związane z ziemniakami: prędkość taśmy przenośnika podającego v , gęstość bulw γ_z , stan powierzchni ziemniaka S_{pz} oraz kamieniami: prędkość taśmy przenośnika podającego v , gęstość kamienia γ_k i chropowatość powierzchni kamienia S_{pk} .

Z punktu widzenia rozróżnialności poszczególnych składników istotne jest, że różnica pomiędzy najmniejszym poziomem ciśnienia generowanym przez kamień i największym poziomem ciśnienia generowanym przez ziemniak jest większa od zera i wynosi $\Delta L=20\text{ dB}$ dla układu bez ekranu (rys. 3a) oraz $\Delta L=30\text{ dB}$ dla układu z ekranem (rys. 3b). Warunek ten zapewnia stuprocentową rozróżnialność poszczególnych składników.



Rys. 3. Poziomy hałas generowany przez kamienie i ziemniaki oraz ich różnice w zależności od prędkości przenośnika dla układu bez ekranu (a) i ekranem (b)

Fig. 3. Levels of noise generated by rocks and potatoes, and their differences depending on conveyor speed for the system without screen (a) and with screen (b).

Badania optymalizacyjne procesu rozróżniania

W przypadku rozróżniania kamieni od ziemniaków mamy do czynienia z przypadkiem braku znajomości modelu matematycznego procesu. Zatem w celu optymalizacji należy najpierw opracować model empiryczny (równanie regresji), a następnie wyznaczyć stan optymalny tj. wartości czynników wejściowych (zmiennne sterowalne) ze względu na określone kryteria optymalizacji, przy zadanych warunkach ograniczających.

Model matematyczny procesu

Jawną postacią modelu matematycznego badanego obiektu może być wielomian, funkcja wykładnicza lub potęgowa lub też odpowiedni model hybrydowy. Zarówno funkcję wykładniczą jak i potęgową poprzez logarytmowanie oraz po uzupełnieniu interakcji, można sprowadzić do wielomianu o postaci:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^S b_i \bar{x}_i + \sum_{i=1}^S b_{ii} \bar{x}_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^S b_{ij} \bar{x}_i \bar{x}_j \quad (3)$$

Optymalny zbiór współczynników $\{\mathbf{b}\}$ tych modeli wyznacza się minimalizując funkcję S_R , która w ogólnym przypadku ma postać:

$$S_R = \sum_{i=1}^N W_i [\bar{y}_i - \hat{y}_i(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_S; b_0, \dots, b_L)]^m, \quad (4)$$

gdzie W_i jest funkcją wagi, \bar{y}_i są średnimi wartościami wyjść obiektu (wartości otrzymane z badań eksperymentalnych, zrealizowanych zgodnie z odpowiednim planem), \hat{y}_i są wartościami wyjść modelu matematycznego. Dla większości przypadków postuluje się, że $W_i=1$, $m=2$. Wówczas problem optymalizacji sprowadza się do minimalizacji sumy kwadratów błędów.

Optymalizacja procesu rozróżniania

Po określeniu postaci modelu matematycznego (F) procesu rozróżniania oraz znając funkcję-kryterium (K) i warunki ograniczające (W) można przystąpić do optymalizacyjnych badań analitycznych, tj. analitycznego określenia optymalnego stanu obiektu badań. Spośród dużej liczby znanych obecnie metod optymalizacji do powyższego celu można stosować jedną z następujących metod: rachunek różniczkowy określania ekstremum, metodę mnożników Lagrange'a, programowanie matematyczne (metoda systematycznego poszukiwania, metoda poszukiwania losowego tzw. metoda Monte Carlo, metoda gradientowa), programowanie nieliniowe, teorię gier i metodę graficzną.

O wyborze odpowiedniej metody decyduje postać modelu matematycznego (F), rodzaj funkcji kryterium (K) oraz postać warunków ograniczających (W).

W niniejszej pracy do rozwiązywania problemu wykorzystano metodę graficzną. Obiektem badań optymalizacyjnych jest proces rozróżniania składników mieszaniny. Przedmiotem badań są kamienie i ziemniaki zebrane z pól Pomorza Środkowego. W celu zapewnienia maksymalnej rozróżnialności należy dążyć do maksymalizacji różnicy poziomu hałasu generowanego przez kamień i ziemniaki:

$$\Delta L = L_k - L_z \rightarrow \max! \quad (5)$$

Natomiast w celu zwiększenia wydajności procesu należy dążyć do maksymalizacji prędkości przenośnika podającego. Mamy tutaj zatem do czynienia z optymalizacją dwukryterialną. Warunkami ograniczającymi są więzy słabe - przedziały zmienności czynników badanych. Ze względu na konieczność zapewnienia odpowiedniej jakości ziemniaków, nie należy przekraczać prędkości granicznej powyżej której następuje uszkodzenie bulw.

Wobec nieznanego modelu matematycznego badanego obiektu, przyjęto ogólną koncepcję modelu obiektu badań w postaci:

dla ziemniaków:

$$L_z = F_1(v, \gamma_z, W_z), \quad (6)$$

dla kamieni:

$$L_k = F_2(v, \gamma_k, S_{pk}). \quad (7)$$

Rozróżnianie prowadzone jest w następujących stałych warunkach: separator trzykanałowy, urządzenie rozróżniające z elementem bębnowym, mikrofon elektrody, układ pomiarowy z kartą A/C, program GENIE v. 3.0.3 firmy ADVANTECH, przenośnik łańcuchowo-zabierakowy, materiał badany ziemniaki i kamienie.

Ustalono następujące przedziały zmienności czynników badanych, stanowiących więzy słabe:

- dla ziemniaków:

$$\bar{x}_1 = \bar{v} : 0,1 \div 0,7 \text{ m/s}, \quad \bar{x}_2 = \gamma_z : 1,005 \div 1,209 \text{ g/cm}^3, \quad \bar{x}_3 = S_{pz} : 1 \div 3, \quad (8)$$

- dla kamieni:

$$\bar{x}_1 = \bar{v} : 0,1 \div 0,7 \text{ m/s}, \quad \bar{x}_4 = \gamma_k : 2,23 \div 2,84 \text{ g/cm}^3, \quad \bar{x}_5 = S_{pk} : 1 \div 3. \quad (9)$$

Badania właściwe przeprowadzono zgodnie z macierzą planu trójpoziomowego, dla $S = 3$. Stosowano pięciokrotną powtarzalność badań dla każdego punktu planu ($r = 5$). Otrzymane wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej, zgodnie z metodyką podaną w pracy [Kukielka 2002]. Ostatecznie otrzymano następujące postacie funkcji regresji:

- dla ziemniaków:

$$L_z = 30,8 + 30 \cdot v + 29,4 \cdot \gamma_z + 1,5 \cdot S_{pz}, \text{ dB}, \quad (10)$$

- dla kamieni:

$$L_k = 48,8 + 33 \cdot v + 30 \cdot \gamma_k + 6,9 \cdot S_{pk}, \text{ dB}. \quad (11)$$

Zadanie optymalizacji zapiszemy następująco:

$$\Delta L = L_k - L_z = 18 + 3 \cdot v + 30 \cdot \gamma_k + 6,9 \cdot S_{pk} - 29,4 \cdot \gamma_z + 1,5 \cdot S_{pz} \rightarrow \max! \quad (12)$$

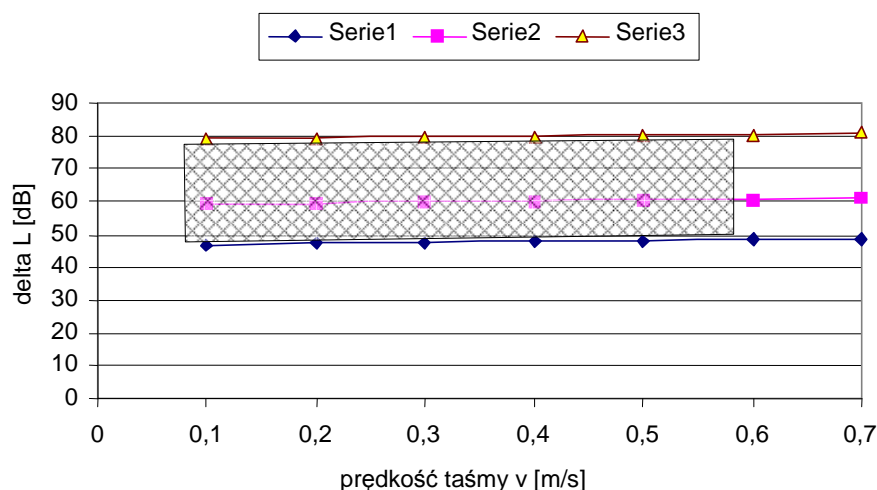
Przy warunkach ograniczających:

$$0,1 \leq v \leq 0,6, \quad 1,005 \leq \gamma_z \leq 1,209; \quad 80 \leq W_z \leq 95; \quad 2,23 \leq \gamma_k \leq 2,84; \quad 1 \leq S_{pk} \leq 3. \quad (13)$$

Przyjmując wartości $\gamma_k, S_{pk}, \gamma_z, W_z$ jako stałe, zbiór rozwiązań kompromisowych spełniających ograniczenia, wyznaczmy stosując metodę graficzną. Wówczas wartość ΔL zależy jedynie od prędkości taśmy przenośnika, zgodnie z zależnością:

$$\Delta L = 18 + 3 \cdot v + A(\gamma_k, S_{pk}, \gamma_z, W_z). \quad (14)$$

Zbiór możliwych rozwiązań kompromisowych przy uwzględnieniu ograniczeń wyznacza obszar zakreskowany (stan optymalny obiektu badań) (rys. 4).



Rys. 4. Zbiór kompromisów (obszar zakreskowany) w obszarze sterowań

Fig. 4. A set of compromises (shaded area) in the controls zone

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych zastosowania emisji akustycznej do rozróżniania kamieni od bulw ziemniaka. Badania podzielono na dwa etapy – badania rozpoznawcze (eliminujące) oraz właściwe. W wyniku badań rozpoznawczych, wykonanych zgodnie z planem Placketta-Burmana wyeliminowano pięć czynników, które na poziomie istotności $\alpha=0,05$ miały nieistotny wpływ na obiekt badań. W trakcie badań optymalizacyjnych, najpierw wykonano badania eksperymentalne zgodnie z planem trójpoziomym i wyznaczono model matematyczny w postaci wielomianów, a następnie wyznaczono zbiór rozwiązań dopuszczalnych w obszarze zmiennej sterowalnej (prędkości przenośnika).

Przeprowadzone badania, dla różnej kombinacji próbek, wskazują na możliwość 100% rozróżniania kamieni od bulw ziemniaka, niezależnie od charakterystyki wymiarowo-masowej, składu próbek i ich kombinacji. Zbudowany separator z bębnowym elementem sprężystym spełnia swe zadania i posiada szereg zalet:

- niski koszt wykonania urządzeń elektronicznych i mechanicznych,
- możliwość zwiększenia jego wydajności poprzez zastosowanie większej ilości kanałów,
- niezależność działania od ciężaru, wilgotności i wielkości materiału separowanego.

Bibliografia

Karwowski T. 1982. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych, tom 2, część 2, PW-RiL, Warszawa.

Kukiełka L. 2002. Podstawy badań inżynierskich. PWN, Warszawa.

Szczerbetka M. „Możliwość zastosowania metody akustycznej do rozróżniania kamienie i bulw ziemniaka” – rozprawa doktorska w przygotowaniu.

Kukiełka S. 2003. Experiment Planner 1.0. – komputerowy program planowania eksperymentów. Praca magisterska, Politechnika Koszalińska.

OPTIMIZATION OF THE PROCESS INVOLVING DISTINGUISHING ROCK AND POTATO TUBER MIX ELEMENTS BY THE ACOUSTIC EMISSION METHOD

Summary

The parameter allowing to distinguish rocks from potato tubers is the difference in intensity level of sound generated while they strike springy steel element. The work presents the results of identification tests (elimination tests) carried out according to the Plackett-Burman plan. Then, proper optimisation tests were performed. Graphic method was used to determine a set of acceptable optimising solutions for the acoustic emission method.

Key words: distinguish rocks and potatoes, identification tests, optimisation