

BADANIE WALCOWEGO SEPARATORA CZYSZCZĄCEGO W WARUNKACH SEPARACJI MIESZANINY TECHNOLOGICZNEJ W PROCESIE SORTOWANIA BULW ZIEMNIAKÓW

Wojciech Tanaś

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Dmitrij Iwanowicz Komlach

Centrum Mechanizacji Rolnictwa NAN Białorusi w Mińsku

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę jakości pracy walcowego separatora czyszczącego do ziemniaków podczas ich sortowania. Na podstawie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych opracowano model procesu separacji i określono parametry separatora znacząco wpływające na czystość i poziom uszkodzeń ziemniaków.

Słowa kluczowe: ziemniak, mieszanina technologiczna, separator walcowy, parametry separatora, czystość plonu, poziom uszkodzeń

Wprowadzenie

Z analizy procesów technologicznych maszyn do zbioru i obróbki pozbiorowej ziemniaków wynika, że znaczącą rezerwą zwiększenia ich efektywności jest doskonalenie procesu separacji poprzez jej intensyfikację. Zdolność separującą zespołów roboczych maszyn do zbioru i obróbki pozbiorowej ziemniaków można zwiększyć przez wykorzystanie całego kompleksu właściwości fizycznych, według których zachodzi rozdzielenie bulw ziemniaków i brył gleby [Lisowski 1999, 2000; Marks i in. 1997; Tanaś 2001].

W maszynach do pozbiorowej obróbki ziemniaków intensyfikacja separacji pozwoli na zmniejszenie powierzchni roboczej zespołów separujących i masy maszyny [Pietrow 1984; Tanaś 2001; Tanaś, Zawierucha 2006].

Jednym z perspektywicznych kierunków w separacji mieszaniny technologicznej jest zastosowanie sekcji wzdłużnych walcowo-rolkowych separatorów oczyszczających (parami współbieżnych), z których jeden na swojej powierzchni posiada spiralny występ [Tanaś 2008].

Szczególną cechą rotacyjnych oczyszczaczy tego typu jest to, że obrabiany materiał przemieszcza się wzdłuż osi obrotu walcowych separatorów. Sposób przemieszczania mieszaniny technologicznej powoduje, że większość brył gleby oddzielana jest w przedniej strefie sekcji walcowych separatorów, a następnie bulwy oczyszczane są z oblepionej gleby.

Opracowanie i zastosowanie rotacyjnych separatorów w maszynach do zbioru i pozbiorowej obróbki ziemniaków zapewni wzrost ich wydajności przy zwiększeniu czystości

plonu i obniżeniu poziomu uszkodzeń bulw. Celem przeprowadzonych badań było opracowanie modelu procesu separacji i określenie parametrów separatora znacząco wpływających na czystość i poziom uszkodzeń bulw ziemniaka podczas ich sortowania.

Materiał, metody, wyniki badań, analiza

Na podstawie przeprowadzonych rozważań teoretycznych i określonych parametrów konstrukcyjnych i roboczych oraz ich zakresów rolkowego separatora czyszczącego do ziemniaków [Rapinchuk, Tanaś i in. 2006; Tanaś 2008] zaprojektowano i wykonano stanowisko do badań laboratoryjnych procesu separacji.

W stanowisku badawczym przewidziano stosowanie sekcji walców roboczych wykonanych z różnych materiałów, tj. stali, gumy i polimerów. Konstrukcja stanowiska umożliwiła zmiany odległości między walcami, ich prędkości obrotowej i kąta nachylenia sekcji roboczej.

Stanowisko (rys. 1) zbudowane jest z ramy, przenośnika podającego i modułu roboczego, składającego się z sześciu walców ze spiralnymi występami. Zespoły robocze napędzane są silnikiem elektrycznym poprzez reduktor i układ przekładni łańcuchowych.



Rys. 1. Stanowisko badawcze z sekcją rolkowego separatora czyszczącego
Fig. 1. Test stand with roller cleaning separator section

Badanie walcowego separatora...

Wraz ze wzrostem wilgotności i poziomu zanieczyszczeń mieszaniny technologicznej proces separacji pogarsza się, w związku z tym, w badaniach przyjęto skrajnie niesprzyjające warunki: wilgotność 26-28% i zawartość resztek roślinnych i gleby po - 10% masy całkowitej.

Parametry wpływające na jakość separacji to:

- materiał walców - X_1 ,
- kąt nachylenia sekcji walców - X_2 ,
- prędkość obrotowa walców - X_3 ,
- szczelina między walcami - X_4 .

Dla przeprowadzenia eksperymentu przyjęto symetryczny, nie kompozycyjny plan Boks-Benkena [Kukielka 2002] (tab. 1).

Tabela 1. Symetryczny, niekompozycyjny plan Boks-Benkena

Table 1. Symmetrical, non-composition Boks-Benken's plan

Ilość parametrów k	Macierz planowania				Plan dla parametrów z dwoma poziomami ± 1	Ilość doświadczeń		
	X_1	X_2	X_3	X_4		w zbiorze dla planu 3^k	w poziomie zerowym (centralny)	Razem
± 1	± 1	0	0	2^2	24	3		27
0	0	± 1	± 1					
± 1	0	0	± 1					
0	± 1	± 1	0					
± 1	0	± 1	0					
0	± 1	0	± 1					
0	0	0	0					

Parametry przyjmują wartości z trzech poziomów 0 i ± 1 . Plany przedstawiają sobą dwoz poziomowe kombinacje (-1; +1) pełnych eksperymentów.

Warunki doświadczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Przedziały zmienności parametrów eksperymentu

Table 2. Variability intervals for experiment parameters

Parametr	Współczynnik tarcia materiału walca o bulwy X_1	Kąt nachylenia sekcji walców [...°] X_2	Prędkość obrotowa walców [obr · s ⁻¹] X_3	Szczelina między walcami [mm] X_4
poziom zmienności X_{i0}	0,4	5	8,3	16
interwał zmienności ΔX_i	0,2	5	0,8	4
poziom górny $X_i = \pm 1$	0,6	10	9,1	20
poziom dolny $X_i = -1$	0,2	0	7,5	12

Masa przygotowanych prób kształtowała się w granicach 25-30 kg. Rozdzielane na separatorze frakcje ważono na hakowej wadze elektronicznej WPT 30/CG z dokładnością do 0,01 kg.

Poziom oddzielenia resztek roślinnych określano wg zależności (1):

$$P = \frac{P_i - P_o}{P_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- P_i – masa zanieczyszczeń w próbce przed separacją,
- P_o – masa zanieczyszczeń w próbce po przejściu przez separator.

Po przejściu mieszaniny przez separator określano rodzaj i ilość uszkodzeń bulw. Do bulw uszkodzonych zaliczano bulwy z:

- otarty naskórek, od $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{2}$ powierzchni,
- otarty naskórek powyżej $\frac{1}{2}$ powierzchni,
- wyrwy miąższu z głębokością większą niż 5 mm,
- pęknięcia dłuższe niż 20 mm,
- przecięcia,
- rozgniecione.

Uwzględniano wszystkie uszkodzenia na każdej bulwie [Szeptycki 1985]. Po 10-cio dniowym okresie przechowywania określano pociemniania miąższu na głębokość większą niż 5 mm. Podczas badań należało określić wartości optymalnych parametrów roboczych rolkowego separatora czyszczącego, przy których jakość jego pracy odpowiada wymaganiom agrotechnicznym.

Jakość pracy oceniano na podstawie uzyskanej czystości plonu i poziomu jego uszkodzeń na wyjściu materiału z agregatu.

Czystość plonu (Y_1) przyjęto jako parametr optymalizacji, a poziom uszkodzeń (Y_2) jako ograniczenie:

$$Y_{1max} = 1 \text{ – przy } 100\% \text{ czystości bulw,}$$

$$Y_{2min} = 0 \text{ – przy braku uszkodzeń.}$$

Jakość pracy separatora będzie najwyższa przy 100% czystości bulw bez uszkodzeń, tj.:

$$Y_{10} = 1; \quad Y_{20} = 0.$$

Wyniki przeprowadzonych badań procesu separacji podczas sortowania ziemniaków przedstawiono w tabeli 3.

Badanie walcowego separatora...

Tabela 3. Macierz planu eksperymentu i wyniki badań procesu separacji mieszaniny technologicznej przy sortowaniu ziemniaków

Table 3. Experiment matrix plan and test results for process mixture separation process during potato sorting

№	Parametry				Czystość bulw					Udział ilościowy uszkodzeń bulw					
	x1	x2	x3	x4	n1	n2	n3	\bar{y}_1	s^2	m1	m2	m3	\bar{y}_2	s^2	
1	+	+	0	0	0,96	0,96	0,97	0,963333	0,000033	3	3	2	2,666667	0,333333	
2	+	-	0	0	0,97	0,98	0,98	0,976667	0,000033	3	3	3		0,000000	
3	-	+	0	0	0,94	0,95	0,95	0,946667	0,000033	2	0	1	1	1,000000	
4	-	-	0	0	0,96	0,96	0,97	0,963333	0,000033	1	2	1	1,333333	0,333333	
5	0	0	+	+	0,98	0,98	0,99	0,983333	0,000033	5	4	4	4,333333	0,333333	
6	0	0	+	-	0,96	0,95	0,96	0,956667	0,000033	3	2	3	2,666667	0,333333	
7	0	0	-	+	0,97	0,98	0,97	0,973333	0,000033	3	4	3	3,333333	0,333333	
8	0	0	-	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,000000	2	1	1	1,333333	0,333333	
9	+	0	0	+	0,98	0,98	0,99	0,983333	0,000033	6	5	6	5,666667	0,333333	
10	-	0	0	+	0,97	0,96	0,97	0,966667	0,000033	3	2	3	2,666667	0,333333	
11	+	0	0	-	0,96	0,97	0,97	0,966667	0,000033	3	3	3	3	0,000000	
12	-	0	0	-	0,96	0,95	0,95	0,953333	0,000033	0	1	0	0,333333	0,333333	
13	0	+	+	0	0,97	0,97	0,97	0,97	0,000000	4	3	4	3,666667	0,333333	
14	0	+	-	0	0,96	0,96	0,95	0,956667	0,000033	3	2	3	2,666667	0,333333	
15	0	-	+	0	0,98	0,97	0,98	0,976667	0,000033	4	3	3	3,333333	0,333333	
16	0	-	-	0	0,96	0,96	0,97	0,963333	0,000033	2	2	2	2	0,000000	
17	+	0	+	0	0,97	0,97	0,98	0,973333	0,000033	4	4	3	3,666667	0,333333	
18	+	0	-	0	0,96	0,97	0,97	0,966667	0,000033	4	3	4	3,666667	0,333333	
19	-	0	+	0	0,95	0,95	0,96	0,953333	0,000033	2	1	1	1,333333	0,333333	
20	-	0	-	0	0,96	0,96	0,95	0,956667	0,000033	3	2	1	2	1,000000	
21	0	+	0	+	0,98	0,98	0,98	0,98	0,000000	4	5	4	4,333333	0,333333	
22	0	+	0	-	0,95	0,96	0,97	0,96	0,000100	2	1	1	1,333333	0,333333	
23	0	-	0	+	0,98	0,99	0,98	0,983333	0,000033	3	4	4	3,666667	0,333333	
24	0	-	0	-	0,97	0,97	0,96	0,966667	0,000033	2	1	2	1,666667	0,333333	
25	0	0	0	0	0,96	0,96	0,95	0,956667	0,000033	2	1	2	1,666667	0,333333	
26	0	0	0	0	0,95	0,96	0,97	0,96	0,000100	1	1	2	1,333333	0,333333	
27	0	0	0	0	0,97	0,96	0,96	0,963333	0,000033	2	1	1	1,333333	0,333333	
								$\bar{y}_0=$	0,96				$\bar{y}_0=$	1,444444	
								$\sum s^2$	0,000933				$\sum s^2$	9,333333	
								Gmax	0,107143				Gmax	0,107143	
								Gkr2,27=	0,200000						
								$S^2y=$	0,000011				$S^2y=$	0,037037	
								$Sy=$	0,003333				$Sy=$	0,192450	

Przy opracowywaniu wyników badań wg metodyki [Pabis 1985; Kukielka 2002] otrzymano zależności regresyjne opisujące proces separacji mieszaniny technologicznej na rolkowym separatorze oczyszczającym podczas sortowania ziemniaków uprzednio składowanych w kopcach.

$$Y_1 = 96 + 16,64X_1 - 0,44X_2 + 0,97X_4 + 0,66X_4^2 \quad (2)$$

$$Y_2 = 1,44 + 1,30X_1 + 0,33X_3 + 1,14X_4 + 0,37X_1^2 + 0,42X_2^2 + 0,83X_3^2 + 0,87X_4^2 \quad (3)$$

W wyniku matematycznej weryfikacji zależność (2) przyjęła postać:

$$Y_1 = 96 + 7,5X_1 - 0,44X_2 + 0,97X_4 - 7,0X_4^2 \quad (4)$$

Otrzymane zależności regresyjne poddano analizie metodą powierzchni odpowiedzi. Z zależności (4) wynika, że na czystość ziemniaków podczas sortowania w znaczący sposób wpływają:

- rodzaj materiału powierzchni rolki (współczynnik tarcia),
- kąt wzdłużnego nachylenia rolek,
- szczelina między rolkami,
- właściwość materiału rolki istotnie wpływają na poziom czystości ziemniaków.

Zwiększenie wzdłużnego kąta nachylenia sekcji rolek prowadzi do obniżenia poziomu czystości ziemniaków. Również zwiększenie szczeliny roboczej między rolkami prowadzi do obniżenia poziomu czystości ziemniaków.

Analiza zależności (3) opisującej poziom uszkodzeń ziemniaków podczas sortowania pokazuje znaczący wpływ właściwości materiału rolki i jej prędkości obrotowej na jego wartość.

Z analizy zależności (3) i (4) wynika, że optymalnymi parametrami zapewniającymi największą czystość bulw przy minimalnym poziomie ich uszkodzeń są prędkość obrotowa rolek (X_3) i wzdłużny kąt nachylenia (X_2), a ich wartości odpowiadają poziomowi podstawowemu:

$$X_2 = 0; \quad X_2 = 5^\circ (0,087 \text{ rad});$$

$$X_3 = 0; \quad X_3 = 8,3 \text{ s}^{-1}$$

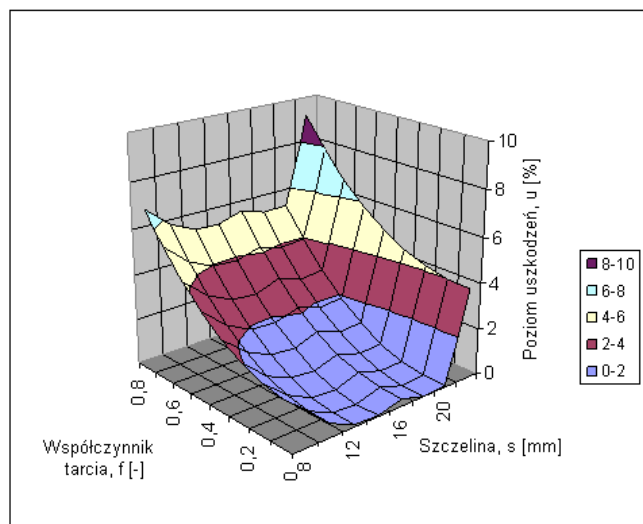
W zależności (4) nie występuje współczynnik b_3 , a w zależności (3) brak współczynnika b_2 . Brak jest też interakcji między nimi w obu modelach. Jednocześnie b_2 występuje w zależności (4) z ujemnym znakiem. Dlatego ze zwiększeniem wartości kąta nachylenia walców zmniejsza się poziom czystości bulw. Natomiast w zależności (3) współczynnik b_3 wskazuje, że wprowadzenie w model wartości parametru na poziomie

$X_3 = \pm 1$ zawsze prowadzi do wzrostu poziomu uszkodzeń bulw. Po wprowadzeniu parametrów X_2 i X_3 z poziomów $X_2 = 0$ i $X_3 = 0$ z zależności (4) i (3) otrzymano zależności wiążące poziomy czystości i uszkodzeń bulw z właściwościami powierzchni walców (X_1) i szczeliną między nimi (X_4).

$$Y_1 = 96 + 7,5X_1 + 0,97X_4 - 7,0X_4^2 \quad (5)$$

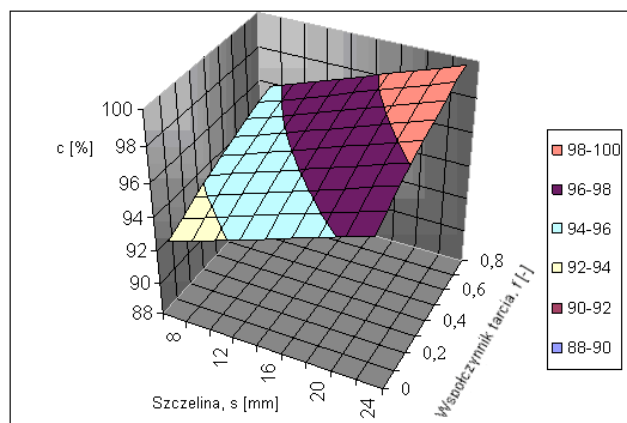
$$Y_2 = 1,44 + 1,3X_1 + 1,14X_4 + 0,37X_1^2 + 0,87X_4^2 \quad (6)$$

Za pomocą Microsoft Excel zależności (5) i (6) przedstawiono graficznie na rys. (2) i (3).



Rys. 2. Zależność poziomu uszkodzeń u bulw od właściwości powierzchni walców f i szczeliny s między nimi

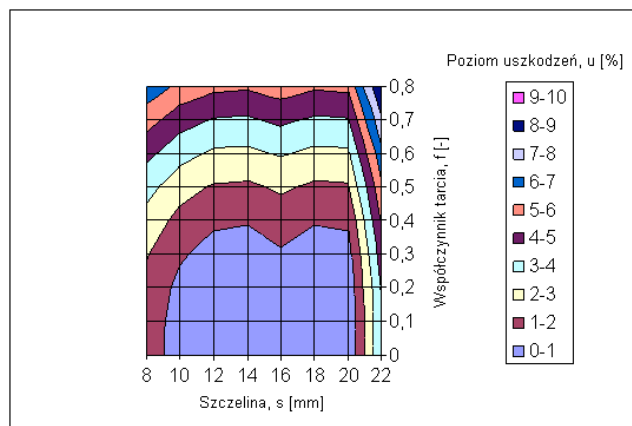
Fig. 2. Relationship between tuber damage level u and properties of cylinder surfaces f and gap s between the cylinders



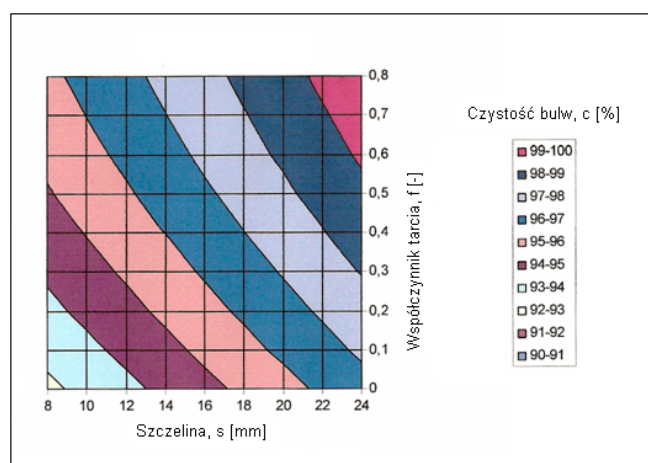
Rys. 3. Zależność poziomu czystości c bulw od właściwości powierzchni walców f i szczeliny s między walcami

Fig. 3. Relationship between tuber cleanliness level c and properties of cylinder surfaces f and gap s between the cylinders

Izolinie o jednakowym poziomie czystości i udziale uszkodzeń bulw przy zmianie rodzaju powierzchni walców i szczeliny między nimi przedstawiono na rys. (4) i (5).



Rys. 4. Izolinie jednakowych udziałów uszkodzeń bulw w procesie sortowania ziemniaków
 Fig. 4. Isolines of equal tuber damage shares in potato sorting process



Rys. 5. Izolinie jednakowej czystości bulw w procesie sortowania ziemniaków
 Fig. 5. Isolines of identical tuber cleanness in potato sorting process

Podsumowanie

Walcowy separator czyszczący umożliwia efektywną separację brył i resztek gleby oraz resztek roślinnych od bulw w procesie sortowania ziemniaków.

Otrzymane analityczne modele adekwatnie opisują zależność jakości pracy walcowego separatora od jego parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych.

Analiza otrzymanych modeli wykazała, że na poziom czystości bulw decydujący wpływ wywierają:

- właściwości materiału walca,
- kąt nachylenia walców,
- szczelina między walcami,

a na poziom uszkodzeń:

- właściwości materiału walców,
- szczelina między walcami,
- prędkość obrotowa walców.

Bibliografia

- Kukielka L.** 2002. Podstawy badań inżynierskich. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. ISBN 83-01-13749-5.
- Lisowski A.** 1999. Modele matematyczne opisujące pracę agregatu do zbioru ziemniaków. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 6. s. 17-20.
- Lisowski A.** 2000. Wpływ czynników technicznych i eksploatacyjnych na pracę agregatu do zbioru ziemniaków. Wyd. SGGW Warszawa. Rozprawy Naukowe i Monografie, ISBN 83-7244-088-3.
- Marks N. i inni.** 1997. Wpływ nowej techniki uprawy na powstawanie mechanicznych uszkodzeń bulw ziemniaka podczas zmechanizowanego zbioru. Inżynieria Rolnicza. Nr 1. s. 71-76.
- Pabis S.** 1985. Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN, Warszawa, ISBN 83-010526-2.
- Pietrow G.** 1984. Kartofielieuborocznyje masziny. Maszinstrojenije. Moskwa. s. 80-232.
- Rapinchuk A., Tanaś W. i inni.** 2006. Obosnowanije osnovnykh konstruktivnykh parametrov rolkowego worochooczistitielia. Monografie PIMR, t. 3. ISBN 83-921598-7-X.
- Szeptycki A.** 1985. Metodyka badań jakości pracy kombajnów do ziemniaków. IBMER XVII/291.
- Tanaś W.** 2001. Razrabotka niekotorych riekomiendacii po rieszieniju koncepcii powyszienija proizvodstva kartofielia i owoszcziej. BGATU Mińsk. Monografie YDK 631.5. s. 31-60.
- Tanaś W.** 2008. Parametry konstrukcyjne rolkowego separatora czyszczącego do ziemniaków. Inżynieria Rolnicza. Nr 10(108). s. 261-267.
- Tanaś W., Zawierucha M.** 2006. Proces separacji mieszaniny technologicznej na górcie palcowej kombajnu do zbioru ziemniaków. Inżynieria Rolnicza. 12(87). s. 501-509.

TESTING A CYLINDER CLEANING SEPARATOR IN PROCESS MIXTURE SEPARATION CONDITIONS DURING POTATO TUBER SORTING PROCESS

Abstract. The paper presents work quality analysis for a cylinder type cleaning separator for potatoes, carried out during potato sorting. Obtained results of laboratory tests allowed to develop separation process model and to specify separator parameters significantly affecting potato cleanness and damage level.

Key words: potato, process mixture, cylinder separator, separator parameters, crop cleanness, damage level

Adres do korespondencji:

Wojciech Tanaś; e-mail: Wojciech.Tanas@up.lublin.pl
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin