

## INFLUENCE OF KINEMATIC PARAMETERS OF SHAKER MECHANISM OF FINGER HUMP ON INTENSITY OF SEPARATION

### Summary

In this paper was presented one of the possibilities of separation ability increase on finger hump in potatoes harvesting machines. The result was attained by modernization (use of cam mechanism to shake the working surface area) of finger hump. The influence of kinematic parameters of cam mechanism on efficiency of finger hump separation were considered. The laboratory and field study confirmed the legitimacy of working hypothesis. It was stated that working speed of surface area of finger hump and amplitude of shakes has the significant influence on quality of separation of solid soil.

## WPLYW KINEMATYCZNYCH PARAMETRÓW MECHANIZMU WSTRZĄSAJĄCEGO GÓRKI PALCOWEJ NA EFEKTYWNOŚĆ SEPARACJI

### Streszczenie

W publikacji przedstawiono jedną z możliwości zwiększenia skuteczności separacji mieszaniny technologicznej na górcie palcowej w maszynach do zbioru ziemniaków. Efekt ten uzyskano poprzez zastosowanie mechanizmu wstrząsającego. Rozpatrzono wpływ parametrów roboczych zmodernizowanego zespołu na jakość separacji mieszaniny technologicznej. W wyniku przeprowadzonej analizy procesu separacji określono optymalne wartości parametrów roboczych.

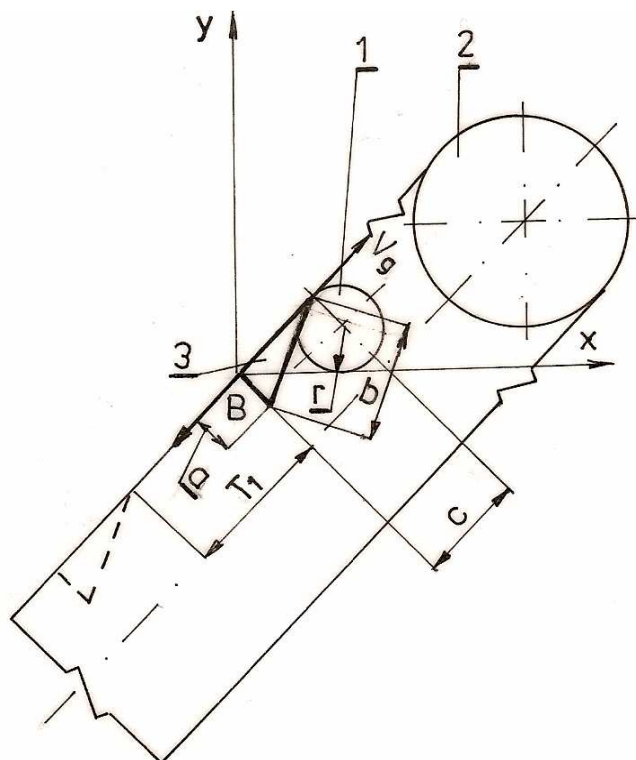
### 1. Wprowadzenie

Jedną z możliwości doskonalenia pracy kombajnów jest zwiększenie zdolności separującej jego zespołów roboczych. W większości kombajnów do zbioru ziemniaków mieszanina technologiczna separowana jest na przenośnikach prętowych a w końcowej fazie na górcie palcowej zespołów oddzielających łęciny. Górka palcowa ma możliwości regulacji kąta nachylenia  $\beta$  w granicach 35-55°. W celu ograniczenia strat ziemniaków w czasie zbioru, kąt nachylenia nastawia się na maksymalną wartość. Prowadzi to jednak do wzrostu poziomu zanieczyszczeń plonu, szczególnie bryłami gleby. Skutkiem tego procesu czystość plonu jest ograniczona i nie odpowiada wymaganiom agrotechnicznym.

### 2. Materiał i metody

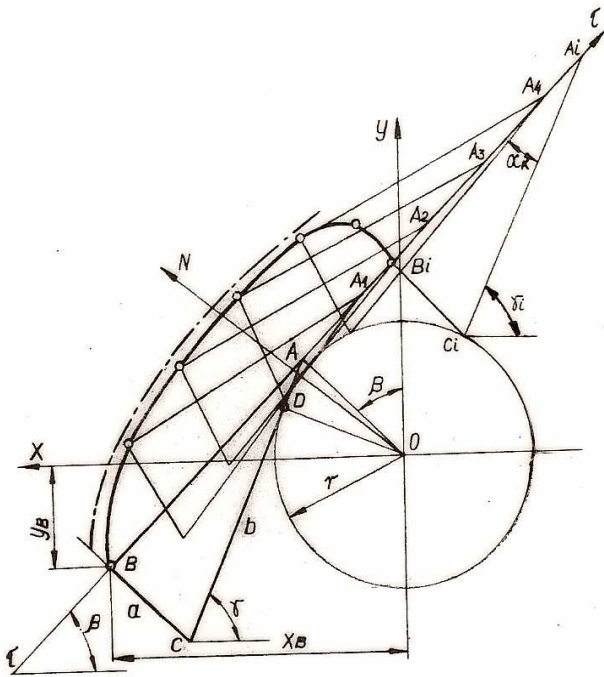
Biorąc pod uwagę to, że górka palcowa jest jednym z droższych zespołów roboczych kombajnu KSK-4-1, nie można ograniczyć jej roli tylko do czynnika zwiększającego czystość plonu. W związku z tym potrzeba udoskonalenia konstrukcji górki palcowej w celu intensyfikacji procesu separacji na jej powierzchni. W tym celu przeprowadzono modernizację seryjnej górki palcowej (rys. 1). Przenośnik podający masę technologiczną z prędkością  $1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ustawiono po kątem  $8^\circ$ .

Na wewnętrznej stronie górki palcowej przytwierdzono po trzy rzędy krzywek. Odległość między krzywkami w rzędzie wynosiła  $t = 0,16 \text{ m}$  a długość krzywki  $c = 0,065 \text{ m}$ . Dla swobodnego przejścia krzywek wały górki palcowej mają konstrukcję pierścieniową. W górnej części górki palcowej ustawiono wał z rolkami o promieniu  $r = 0,03 \text{ m}$  z mechanizmem umożliwiającym zmianę amplitudy  $A$  wstrząsania powierzchni górki poprzez zmianę położenia wału wraz z rolkami.



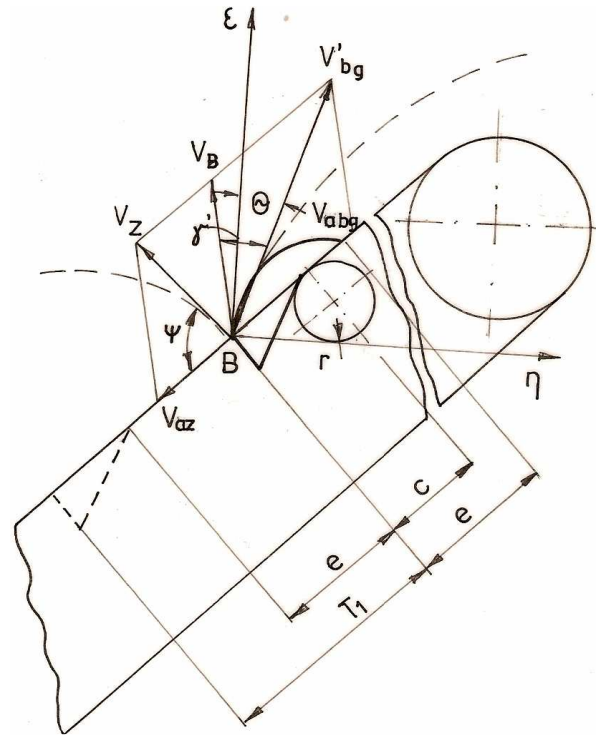
Rys. 1. Schemat mechanizmu wstrząsającego powierzchnią górki palcowej: 1 – rolka, 2 – górka, 3 – krzywka  
Fig. 1. Scheme of shake mechanism at area of finger hump: 1 – roll, 2 – hump, 3 – cam

W wyniku powyższej modernizacji bryły gleby powinny zostać rozbite a podzucone ziemniaki przez mechanizm krzywkowy muszą trafić na przenośnik wyładowczy kombajnu (rys. 2).



— Trajektoria punktu „B” graficzna  
 - - - Trajektoria punktu „C” analityczna

Rys. 2. Kinematyka mechanizmu krzywkiowego  
 Fig. 2. The kinematics of cam mechanism



Rys. 3. Trajektorie ruchu punktu „B” (ziemniaków i brył gleby) przy podrzucaniu  
 Fig. 3. The trajectory of point „B” movement (potatoes and solid soil) at toss

Przy ruchu powierzchni górkę palcowej krzywki nabiegają na rolki, których pozycję można ustalać względem ramy górkę i wykonują ruch złożony w kierunku  $ON$  i obrót wokół punktu  $D$ . Wierzchołek krzywki  $A$  będzie przemieszczał się w kierunku  $TT$  a punkt  $B$  będzie poruszał się po złożonej nieliniowej trajektorii, którą opisują następujące zależności (1):

$$X_b = \frac{r \sin \beta}{\cos \alpha_k} - V_g t \cos \beta + (a + b) \cos \left[ \arctg \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha_k} + \frac{V_g^2 t^2}{r^2}} - 1 + \arctg \frac{r \operatorname{tg} \beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right];$$

$$Y_b = \frac{r \cos \beta}{\cos \alpha_k} + V_g t \sin \beta + (a - b) \sin \left[ \arctg \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha_k} + \frac{V_g^2 t^2}{r^2}} - 1 + \arctg \frac{r \operatorname{tg} \beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right] \quad (1)$$

gdzie:

$r$  – promień rolki,

$\alpha_k$  – kąt krzywki,

$a, b$  – wymiary krzywki,

$l = 0,6-0,7$  m, odległość osi rolki od dolnej osi wału napędowego górkę.

Pod wpływem powierzchni górkę w punkcie „B” ziemniaki i bryły gleby będą podlegać swobodnemu ruchowi dzięki początkowej prędkości w momencie oderwania się od niej. W celu określenia sposobu ruchu ziemniaków i bryły gleby odnośnie powierzchni górkę początek układu współrzędnych oznaczmy w punkcie „B” i osie współrzędnych jak na rys. 3.

W nowym układzie  $\epsilon, \eta$  przemieszczenie punktu „B” można zapisać poprzez zależności (2).

$$\eta = \left[ \frac{r \sin \beta}{\cos \alpha_k} - V_g t \cos \beta + (a + b) \cos \gamma - l \right] \cos \beta + \left[ \frac{r \cos \beta}{\cos \alpha_k} + V_g t \sin \beta + (a - b) \sin \gamma - c \right] \sin \beta \quad (2)$$

$$\epsilon = \left[ \frac{r \sin \beta}{\cos \alpha_k} - V_g t \cos \beta + (a - b) \cos \gamma - l \right] \sin \beta + \left[ \frac{r \cos \beta}{\cos \alpha_k} + V_g t \sin \beta + (a - b) \sin \gamma - c \right] \cos \beta$$

Różniczkując zależności (2) otrzymamy prędkości powierzchni górkę palcowej w punkcie „B” w projekcji na osie  $\eta$  i  $\epsilon$ .

$$V_{\eta} = -V_g \cos^2 \beta - (a+b) \cos \beta \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt} + V_g \sin^2 \beta + (a-b) \sin \beta \cos \gamma \frac{d\gamma}{dt} \quad (3)$$

$$V_{\varepsilon} = V_g \cos \beta \sin \beta + (a+b) \sin \beta \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt} + V_g \sin \beta \cos \beta + (a-b) \cos \beta \cos \gamma \frac{d\gamma}{dt}$$

gdzie:

$$\frac{d\gamma}{dt} = (\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 t \left[ 1 + \left( \frac{rtg\beta - V_g \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right)^2 \right]^{-1} \times \frac{-rV_g \cos \alpha_k (1 - tg\beta)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^2} \quad (4)$$

Przyśpieszenie powierzchni górkę w punkcie „B” określono poprzez całkowanie zależności (3).

$$j_{\eta} = -(a+b) \cos \beta \cos \gamma \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^2 - (a+b) \cos \beta \sin \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} - (a-b) \sin \beta \sin \gamma \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^2 + (a-b) \sin \beta \cos \gamma dt^2 \frac{d^2 \gamma}{dt^2} \quad (5)$$

$$j_{\varepsilon} = (a+b) \sin \beta \cos \gamma \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^2 + (a+b) \sin \beta \sin \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + (a-b) \cos \beta \cos \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} - (a-b) \cos \beta \sin \gamma \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^2$$

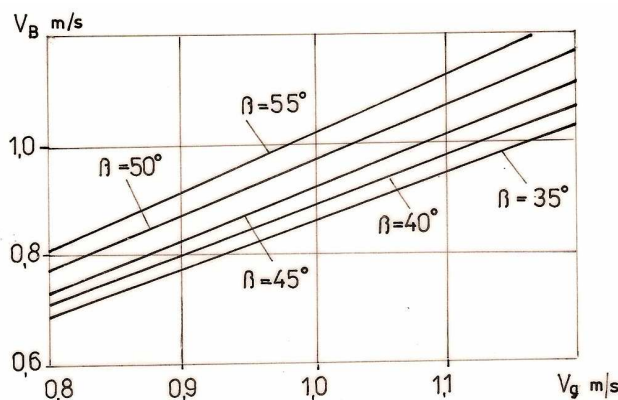
gdzie:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \gamma}{dt^2} = & \{ -(\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-2} + (\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 \} \times \left[ 1 + \left( \frac{rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right)^2 \right]^{-1} \times \\ & \times \frac{-rV_g \cos \alpha_k (1 - tg\beta)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^2} + (\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 t \left[ 1 + \left( \frac{rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right)^2 \right]^{-2} \times \\ & \times \frac{2r(1 + tg\beta)V_g \cos \alpha_k (rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^3} \times \frac{-rV_g \cos \alpha_k (1 - tg\beta)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^2} + (\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 t \times \\ & \times \left[ 1 + \left( \frac{rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right)^2 \right]^{-1} \times \frac{2rV_g^2 \cos^2 \alpha_k (1 - tg\beta)(r + V_g t \cos \alpha_k)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^4} \end{aligned} \quad (6)$$

Na podstawie równań (3) otrzymano wykresy zależności i absolutnej prędkości powierzchni górkę w punkcie „B”, przy różnych parametrach mechanizmu krzywkowego.

$$V_B = \sqrt{V_{\eta}^2 + V_{\varepsilon}^2} \quad (7)$$

Na rys. 4 przedstawiono wykresy zależności  $V_B(V_g, \beta)$ .

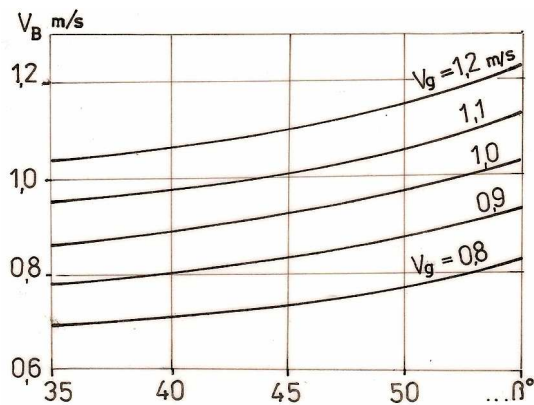


Rys. 4. Wykresy zależności  $V_B = f(V_g)$

Fig. 4. The dependence  $V_B = f(V_g)$

Zależność  $V_B = f(V_g)$  ma charakter liniowy. Ze zwiększeniem prędkości górkę  $V_g$  i kąta jej nachylenia  $\beta$  rośnie prędkość punktu „B”.

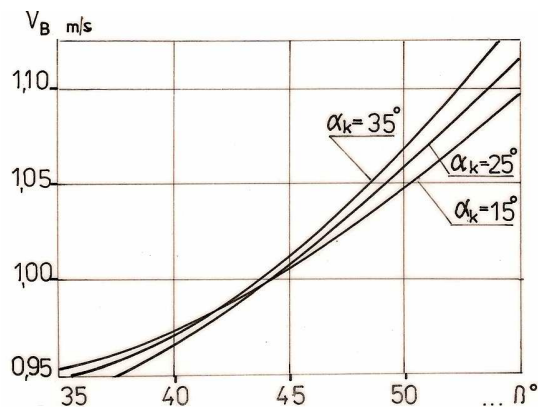
Zależność  $V_B = f(\beta)$  przebiega parabolicznie, wypukłe w dół (rys. 5).



Rys. 5. Wykresy zależności  $V_B = f(\beta)$

Fig. 5. The dependence  $V_B = f(\beta)$

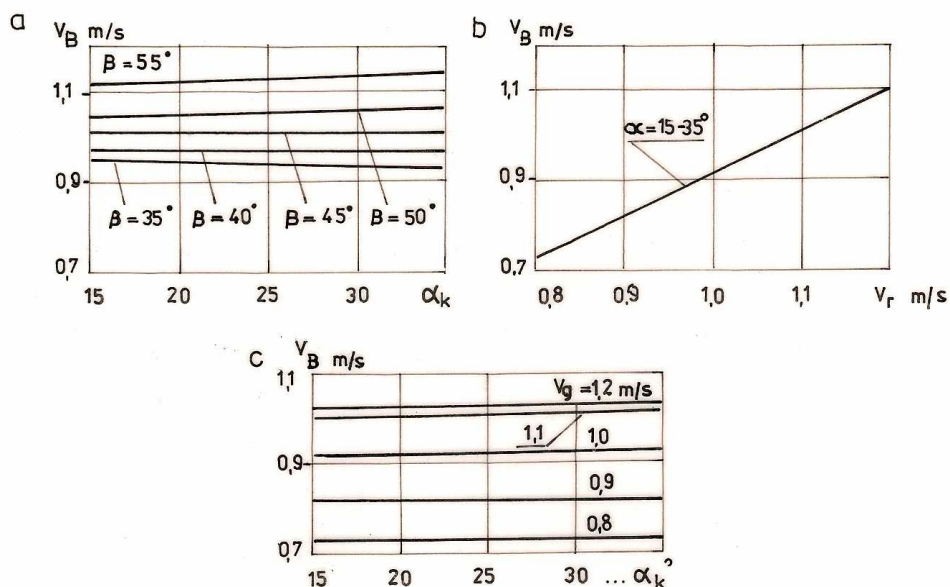
Zależności prędkości  $V_B$  od kąta roboczego krzywki  $\alpha_k$  pokazano na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Wykresy zależności  $V_B = f(\beta, \alpha_k)$

Fig. 6. The dependence  $V_B = f(\beta, \alpha_k)$

Z przeprowadzonej analizy wynika, że na prędkość  $V_B$  znaczący wpływ wywierają prędkość górkę  $V_g$  i kąt jej nachylenia  $\beta$ . Ze zmniejszeniem kąta  $\beta$  należy zwiększać prędkość  $V_g$ .



Rys. 7. Zależności: a -  $V_B(\alpha_k, \beta)$ ; b -  $V_B(\alpha_k, V_g)$ ; c -  $V_B(V_g, \alpha_k)$

Fig. 7. The dependence: a -  $V_B(\alpha_k, \beta)$ ; b -  $V_B(\alpha_k, V_g)$ ; c -  $V_B(V_g, \alpha_k)$

Przy założeniu, że ziemniaki staczają się po powierzchni górkę w dół z prędkością  $V_{az}$  a prędkość brył gleby  $V_{abg}$  równa jest prędkości górkę  $V_g$ , wielkość prędkości ziemniaka  $V'_z$  w momencie podrzutu można wyznaczyć z zależności 8.

$$V'_z = \sqrt{\left[ V_B - V_{az} \sin(\beta + \Theta) \right]^2 + V_{az}^2 \cos^2(\beta + \Theta)} \quad (8)$$

Prędkość początkowa brył gleby w momencie podrzutu będzie:

$$V'_{bg} \approx V_B \quad (9)$$

Prędkość  $V'_z$  i  $V'_{bg}$  skierowane będą odpowiednio pod kątami  $\psi$  i  $\Theta$ .

$$\Psi = \left( \frac{\pi}{2} + \Theta \right) - \gamma \quad (10)$$

gdzie:

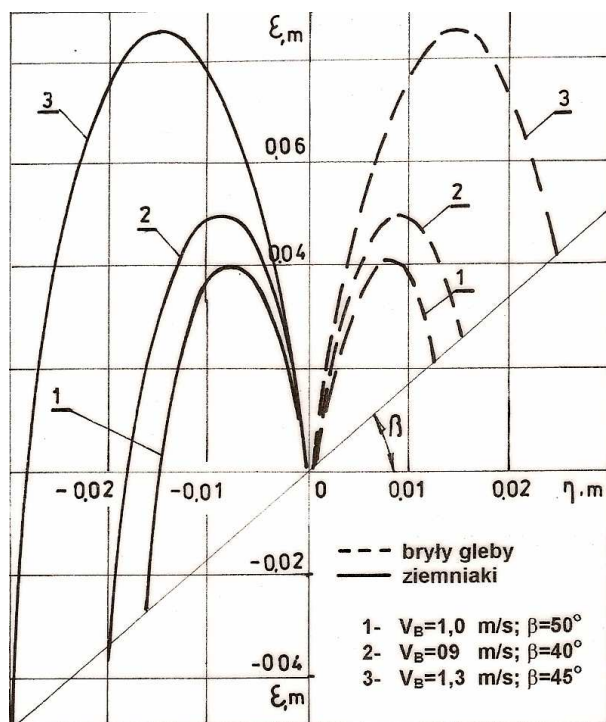
$\Theta$  - określono graficznie, a

$$\gamma' = \arctg \frac{V_{az} \cos(\beta + \Theta)}{V_B - V_{az} \sin(\beta + \Theta)} \quad (11)$$

Przy znanych początkowych prędkościach  $V'_z$ ,  $V'_{bg}$  i kątach podrzutu  $\psi$  i  $\Theta$  ruch ziemniaków i brył gleby odnośnie osi współrzędnych  $\eta O \varepsilon$  można opisać następującymi zależnościami:

$$\begin{aligned} \eta_z &= V'_z t \cos \psi; & \varepsilon_z &= V'_z t \sin \psi - \frac{gt^2}{2} \\ \eta_{bg} &= V_B t \sin \Theta & \varepsilon_{bg} &= V_B t \cos \Theta - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (12)$$

Na podstawie zależności (11) otrzymano trajektorie ziemniaków i brył gleby przy podrzucie (rys. 8).



Rys. 8. Separacja ziemniaków przy wstrząsaniu powierzchni górkę

Fig. 8. The separation of potatoes at shaking of hump area

Z rys. 8 wynika, że przy wstrząsaniu powierzchni roboczej górkę palcowej mechanizmem krzywkowym zachodzi skuteczny rozdział komponentów; ziemniaki staczają się w dół górkę, a bryły gleby i resztki roślinne wynoszone są przez górną część górkę na pole za maszyną zbierającą.

Jednym z czynników mających wpływ na charakter pracy mechanizmu wstrząsania jest wysokość podrzutu, szczególnie gdy jest ona ograniczona od góry np. przenośnikiem oddzielacza łęt. Może wtedy dojść do zakłóceń w procesie rozdzielania komponentów.

Najwyższe położenie ziemniaki zajmują w punkcie  $\eta_1$ , a bryły gleby  $\eta_2$ , gdy pionowa projekcja prędkości będzie równa zero, czyli komponenty będą spadać.

W wyniku różniczkowania zależności (12) otrzymano:

$$V_{\varepsilon z} = V'_z \sin \psi - gt'_1 = 0 \quad (13)$$

$$V_{\varepsilon bg} = V_B \cos \Theta - gt''_1 = 0$$

gdzie:

$V_s$  - prędkość spadania.

Z zależności (13) otrzymano wyrażenia określające czas początku spadania.

$$t'_1 = \frac{V'_z \sin \psi}{g} \quad (14)$$

$$t''_1 = \frac{V_B \cos \Theta}{g}$$

Podstawiając wartości  $t'_1$  i  $t''_1$  w zależności (13) otrzymano współrzędne ziemniaków i brył gleby w momencie spadku na powierzchnię górkę po podrzucie (15).

$$\begin{aligned} \eta_z &= \frac{V'_z \sin \psi \cos \psi}{g} = -\frac{V'_z \sin 2\psi}{2g}; & \varepsilon_{1z} &= \frac{V'_z \sin^2 \psi}{2g} \\ \eta_{1bg} &= \frac{V_B \sin 2\Theta}{g}; & \varepsilon_{1bg} &= \frac{V_B \cos^2 \Theta}{2g} \end{aligned} \quad (15)$$

Na podstawie zależności (15) określono optymalną wysokość spadania ziemniaków na górkę  $h_z$ :

$$h_z = \varepsilon_{1z} + \eta_{1z} \operatorname{tg} \beta \quad (16)$$

W celu minimalizacji uszkodzeń ziemniaków przy spadaniu na górkę należy wypełnić warunek (17):

$$\sqrt{2gh_z} \leq |V_z| \quad (17)$$

gdzie:

$|V_z| = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  - dopuszczalna prędkość zderzenia ziemniaków [G.D. Pietrow 1982].

Optymalną odległość między krzywkami  $T_1$  (rys. 3) wynika z warunku:

$$T_1 = e + c \quad \text{lub} \quad T_1 = 2c + r \quad (18)$$

gdzie:

$c$  - długość krzywki

$e \approx c + r$  - długość łuku, utworzonego punktem „B”,

$r$  – promień rolki wstrząsającej.

Jeżeli  $T_1 > 2c + r$ , to część ziemniaków będzie przechodzić nad mechanizmem wstrząsającym, ale bez podrzutu, a jeśli  $T_1 < 2c + r$ , to powierzchnia górki nie będzie opuszczać się na rolę i proces podrzucania będzie niemożliwy.

W celu określenia efektywności modernizacji górki palcowej przeprowadzono laboratoryjno-polowe badania kombajnu KSK-4-1 wyposażonego w modernizowaną górkę palcową. Na podstawie uzyskanych wyników badań polowych przeprowadzono analizę zależności:

$$Z, P = f(\beta, A, V_g) \quad (19)$$

gdzie:

$\beta$  - kąt nachylenia górki ( $X_1$ ),

$A$  - amplituda wstrząsania ( $X_2$ ),

$V_g$  - prędkość robocza powierzchni górki ( $X_3$ ),

$Z$  -  $Y_1$ , – czystość plonu,

$P$  -  $Y_2$ . – poziom strat.

Realizacja badań polowych pozwoliła na otrzymanie równań regresji opisujących proces separacji na górcę palcowej.

$$Y_1 = 84,81 + 7,8X_1 - 2,9X_2 - 3,0X_3 - 4,3X_1^2 - 10,9X_2^2 - 7,0X_3^2 \quad (20)$$

$$Y_2 = 7,1 - 5,2X_1 - 3,5X_2 - 1,1X_3 + 3,5X_2^2 + 1,9X_1X_2 \quad (21)$$

W wyniku różniczkowania zależności (18) i (19) otrzymano optymalne wartości parametrów pracy zmodernizowanej górki, przy których czystość plonu  $Z$  jest maksymalna a straty bulw  $P$  minimalne:

dla:  $Z_{max} = 88,9\%$

$\beta_{opt} = 40,4^\circ$

$A_{opt} = 11,8 \text{ mm}$

$V_{g_{opt}} = 1,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

dla:  $P_{min} = 3,0\%$

$\beta_{opt} = 50^\circ$

$A_{opt} = 15 \text{ mm}$

$V_{g_{opt}} = 0,89 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 3. Podsumowanie

Z analizy przytoczonych parametrów widać, że zdolność separującą górki palcowej można zwiększyć poprzez zmianę wartości amplitudy  $A$  i prędkości  $V_g$ . Poprzez zmianę kąta nachylenia górki  $\beta$  cel ten osiągnąć jest trudniej, gdyż między czystością plonu a jego stratami zachodzi związek zwrotny.

W celu obniżenia strat bulw do minimum należy kąt  $\beta$  zwiększyć do  $45^\circ$ , a amplitudy wstrząsania do  $A = 13 \text{ mm}$ . Przy takich parametrach pracy zmodernizowanej górki czystość plonu wynosiła  $Z = 85,1\%$ , straty  $P = 7,4\%$  a w seryjnej odpowiednio  $Z_s = 80\%$  i  $P_s = 16\%$ .

Zastosowanie zmodernizowanej górki palcowej w kombajnie KSK-4-1 pozwoliło obniżyć nakłady pracy o 220 rbh a całkowite koszty zbioru i obróbki pozbiiorowej o 10 528 złotych z modelowej plantacji o powierzchni 100 ha.

### 4. Literatura

- [1] Mielnikow S.W.: Planirowanije eksperimenta w issledowanijach sielskochozjajstwiennych procesow. Kołos, Leningrad 1980.
- [2] Pabis S. Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN, Warszawa 1985.
- [3] Marks N., Baran D., Baran P., Krzysztofik B., Sobol Z.: Wpływ nowej techniki uprawy na powstawanie mechanicznych uszkodzeń bulw ziemniaka podczas zmechanizowanego zbioru. Inżynieria Rolnicza 1, 1997.
- [4] Lisowski A.: Modele matematyczne opisujące pracę agregatu do zbioru ziemniaków. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej 6, 1999.
- [5] Tanaś W.: Razrabotka niekotorych rekomendacji po rieszeniju koncepcji powyszenija proizvodstwa kartofielia i owoszcznej. BGTU, Mińsk 2001.
- [6] Tanaś W., Zawierucha M.: Proces separacji mieszaniny technologicznej na górcę palcowej kombajnu do zbioru ziemniaków. Inżynieria Rolnicza 2006.