

mgr inż. Wojciech Czuba

dr hab. inż. Kazimierz Furmanik, prof. AGH

Katedra Maszyn Górniczych, Przerobczych i Transportowych
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
wczuba@agh.edu.pl
fukaz@agh.edu.pl
tel. 12 617 30 72

Analiza ruchu ziarna w przesypie przenośników taśmowych

Słowa kluczowe: *eksploatacja przenośników taśmowych, przesypy, analiza ruchu materiału*

Streszczenie: Przenośnikowe węzły przesypowe są miejscami newralgicznymi z punktu widzenia eksploatacji jak również energochłonności systemów transportowych. Odpowiednie ukształtowanie konstrukcji przesypu, pozwala na podawanie strugi transportowanego urobku na przenośnik odbierający w sposób równomierny, stabilny i z pożądaną prędkością styczną. Dzięki temu zmniejszane są opory ruchu w przesypie, jak również zużycie taśmy. Prace konstrukcyjne związane z zabudową przesypu, powinny być poprzedzone gruntowną analizą trajektorii ruchu strugi. Najprostszym przypadkiem do rozpatrzenia jest ruch pojedynczego ziarna. W artykule przedstawiono analizę ruchu ziarna w przesypie równoległym oraz metodykę obliczeń kątów padania jak również prędkości stycznych ziarna w miejscu jego upadku na taśmę przenośnika odbierającego. Na podstawie obliczeń modelowych określono, które z podstawowych parametrów przesypu mają najistotniejszy wpływ na zmiany obserwowanych wielkości.

Artykuł jest wynikiem realizacji części badań w ramach projektu badawczego, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki nr 7062/B/T02/2011/40 pt.: Aspekty tribologiczne w doskonaleniu konstrukcji przenośników taśmowych.

1. Wstęp

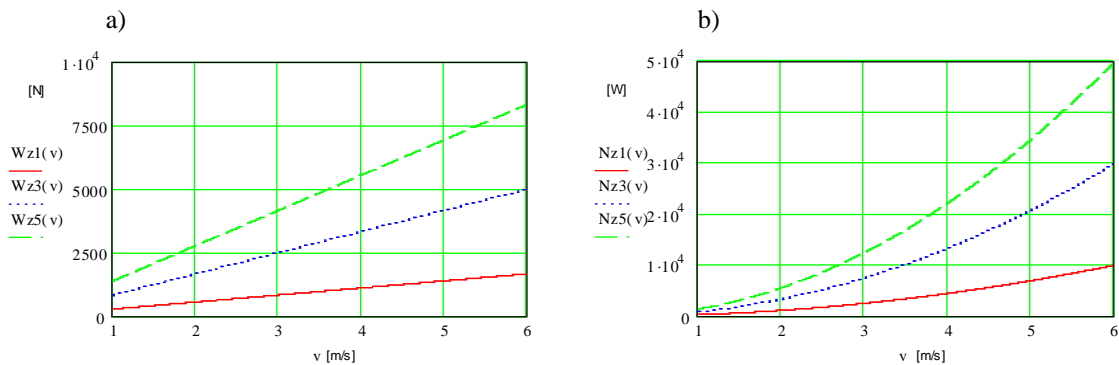
Przenośnikowe systemy transportowe bazują głównie na przenośnikach taśmowych, które są podstawowymi i uniwersalnymi środkami transportu materiałów rozdrobnionych. Struktura takich systemów może być zróżnicowana i składa się zwykle z kilku lub kilkunastu przenośników połączonych stacjami przesypowymi, zwanych przesypami, w których transportowany materiał jest kierowany z przenośnika podającego na odbierający. Są to zwykle miejsca newralgiczne, będące źródłem zapylenia i strat energii oraz wymagające szczególnej uwagi projektanta, ponieważ źle zaprojektowane przesypy mogą być przyczyną kosztownych awarii i przestojów. Jeśli w przesypie struga materiału nie jest stycznie podawana z przenośnika podającego na przenośnik odbierający, z prędkością równą prędkości jego taśmy, to występuje dodatkowy opór zwiększający energochłonność tego przesypu. W przypadku podawania strugi urobku z wydajnością Q [t/h] prostopadle na taśmę przenośnika odbierającego o prędkości v [m/s], to opór w miejscu zasilania wynosi [1,5,10]:

$$W_z = \frac{Q \cdot v}{3,6} \text{ [N]} \quad (1)$$

a tracona moc

$$N_z = W_z \cdot v = \frac{Q \cdot v^2}{3,6} \text{ [W]} \quad (2)$$

Przykładowo przy wydajnościach $Q_{1-3} = 1000-3000-5000$ [t/h] oraz prędkości taśmy $v = 1-6$ [m/s] uzyskano wyniki przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Wykresy zależności: a) $W_{z1-3}(v)$; b) $N_{z1-3}(v)$
 Fig. 1. Graphs of: a) $W_{z1-3}(v)$; b) $N_{z1-3}(v)$

Z otrzymanych danych widać, że dodatkowy opór oraz tracona moc na pojedynczym przesypie mogą być znaczne i ze wzrostem liczby tych przesypów ich wartości proporcjonalnie rosną. W dążeniu więc do obniżenia energochłonności przenośnikowych systemów transportowych trzeba poszukiwać lepszych rozwiązań przesypów w oparciu o analizę budowy i pracy dotychczas stosowanych.

W niniejszej pracy przedstawiono budowę typowych przesypów oraz przeanalizowano wpływ parametrów geometrycznych i kinematycznych przesypu na parametry ruchu ziarna padającego na taśmę przenośnika odbierającego. Mają one duży wpływ na dodatkowy opór i traconą moc w przesypie oraz zużycie jego elementów; ich znajomość jest niezbędna dla racjonalnego projektowania przesypów.

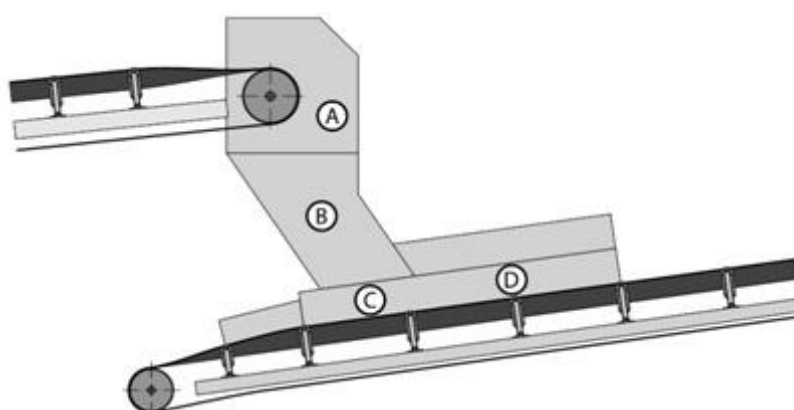
2. Budowa przesypów w przenośnikowych systemach transportowych

Konstrukcja konwencjonalnego przesypu jest stosunkowo prosta (rysunki 2-5). Zwykle wykorzystuje się typowe kształtowniki stalowe, blachy oraz dodatkowo wymienne okładziny z innych materiałów pełniące funkcje ochrony przed zużyciem. Odpowiednia kombinacja i konfiguracja powyższych, a także ich ukształtowanie geometryczne i dobór materiałów konstrukcyjnych decydują o funkcjonalności danego rozwiązania. W stacjach przesypowych wykonuje się również szereg różnego rodzaju urządzeń do pomiaru, kontroli i wspomagania przepływu materiału.

Ogólny schemat obszaru zabudowy typowego przesypu przedstawia rys. 2. Można w nim wyróżnić następujące cztery charakterystyczne strefy [9].

- A. *Strefa czołowa* – przestrzeń otaczająca bęben czołowy przenośnika podającego; w miejscu tym następuje oderwanie się materiału od taśmy i w zależności od konstrukcji lot swobodny o określonej trajektorii lub przechwycenie/ukierunkowanie strugi materiału przez komponenty przesypu (np. odbojnicę).

- B. *Strefa spadku swobodnego materiału* – obszar, w którym materiał spada swobodnie, bez kontaktu z elementami przesypu; w przypadku gdy struga jest rozproszona, a zależy to od sposobu przechwycenia w strefie A, w obszary pomiędzy ziarnami dostaje się znaczna ilość powietrza, co w konsekwencji prowadzi do powstawania emisji pyłów.
- C. *Strefa załadunku* – obszar, w którym materiał styka się z taśmą przenośnika odbierającego; mogą tu występować elementy przechwytyjące dolne (zsuwnie, ślizgi), lub odbywa się załadunek bezpośredni na taśmę (w obrębie kosza zasypowego).
- D. *Strefa kształtowania strugi* – obszar, którego zadaniem jest wyprofilowanie strugi materiału; wyposażony jest również często w urządzenia odpylające. Ruch materiału podczas załadunku w przesypie zwykle jest turbulentny, w tej strefie powinien zostać ustabilizowany.



Rys. 2. Ogólna budowa stacji przesypowej z zaznaczonymi strefami [9]

Fig 2. General construction of typical transfer chute with indicated characteristic zones [9]

W zależności od wymagań zdeterminowanych przez proces technologiczny i własności transportowanych materiałów, konstrukcje przesypów różnią się. Najprostszą klasyfikacją może być podział na stacje przesypowe, w których kierunek ruchu materiału zmienia się (przesypy kątowe), bądź pozostaje taki sam (przesypy równoległe). Przykłady takich przesypów przedstawia rys. 3. W skład całego przesypu wchodzi wiele elementów i urządzeń, których zadaniem jest kierowanie strugi urobku w taki sposób, aby zminimalizować negatywne efekty występujące podczas przeładunku (dodatkowe opory, zwiększone zużycie taśmy, hałas itp.).

a)

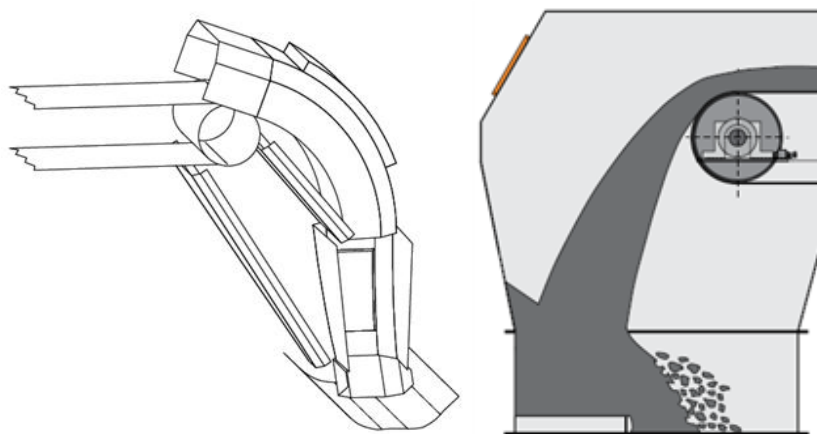
b)



Rys. 3. Widok stacji przesypowych: a) równoległej; b) kątowej [7]

Fig. 3. View of a transfer chutes: a) parallel; b) angled [7]

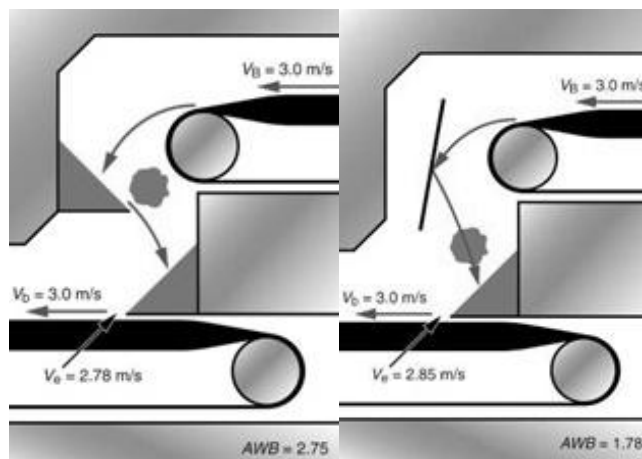
W zależności od różnicy poziomów pomiędzy przenośnikami, a także ich ustawienia względem siebie, wykorzystywane są różnego rodzaju podzespoły do przechwytywania i ukierunkowania strugi. Trzy najpowszechniejsze elementy wykorzystywane do kontroli ruchu strugi to: odbojnica, zsuwnia (prosta lub zakrzywiona) i tzw. „rock box”, czyli specjalnie ukształtowane kieszenie, które w trakcie przepływu materiału są nim wypełniane, a kolejne warstwy strugi odbijają się od nagromadzonego urobku. Typowe konstrukcje przesypów opierają się na kombinacjach wymienionych elementów. Terminologia dotycząca elementów konstrukcji jest bardzo zróżnicowana; wielu autorów różnie odnosi się do tych samych komponentów.



Rys.4. Przesyp kątowy z zsuwniami prostymi i krzywoliniowymi (po lewej) konstrukcja typu rock-box (po prawej) [8]

Fig. 4. Angle transfer point with straight and curved chutes (left) and a rock box construction (right)

Wykorzystanie poszczególnych rozwiązań uwarunkowane jest w dużej mierze właściwościami fizyko-mechanicznymi urobku: wielkością i twardością brył, stopniem abrazyjności, stopniem zawilgocenia. Dwa typowe rozwiązania, to przesypy typu odbojnica-rock box i typu rock box – rock box [8]. W obydwu przypadkach struga materiału jest sztucznie i w sposób nagły zaburzana, co może prowadzić do wielu problemów eksploatacyjnych. Układy te dobrze spisują się podczas transportu swobodnie sypiących się, suchych materiałów. Kryteria doboru opierają głównie się na dwóch aspektach: blokowania przesypu i zużycia jego komponentów [4]. Coraz powszechniej instaluje się rozwiązania z zakrzywionymi zsuwniami zarówno w strefie przechwytywania jak i ładowania materiału (Hood and Spoon). Wykazują one wiele zalet zwłaszcza w przypadku trudno sypiących się, lepkich, zawilgoconych materiałów. Są one jednak kosztowniejsze od tradycyjnych konstrukcji i nie tak dobrze rozpoznane w praktyce.

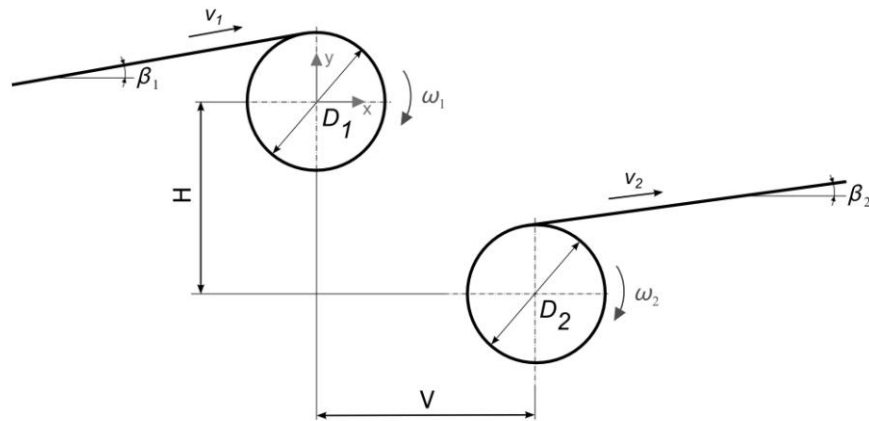


Rys. 5. Schemat przesypu typu rock box-rock box (po lewej) oraz odbojnica-rock box (po prawej) [8]
 Fig. 5. Schemes of rock box to rock box transfer (left) and impact plate to rock box (right) [8]

Obecnie większą uwagę zwraca się na energooszczędne rozwiązania w konstrukcjach maszyn i urządzeń transportowych. Przesypy pomimo, że są miejscem występowania wielu problemów eksploatacyjnych, wciąż traktowane są przez projektantów bez szczególnej uwagi. Konstruowane są na zasadach prób i błędów. Prawidłowe zaprojektowanie węzła przesywowego, nie tylko zmniejsza problemy związane ze zużyciem i blokowaniem przesypu, lecz również poprawia sposób ładowania materiału na przenośnik odbierający, co w konsekwencji obniża opory ruchu związane z rozpędzaniem urobku. Pomimo tego, że konstrukcje przesypów typu Hood and Spoon znajdują uznanie, zwłaszcza w kopalniach zlokalizowanych w Australii, istnieje bardzo mało prac teoretycznych i użytkowych rozpoznających możliwości stosowania i pozycjonowania układów krzywoliniowych zsuwni, w aspekcie zmniejszenia energochłonności węzłów przesygowych. Dlatego zasadnym w tym zakresie wydaje się opracowanie modeli teoretycznych, a także wykonanie szeregu prac eksperymentalnych. Racjonalne projektowanie przesypu winno być poprzedzone analizą ruchu materiału w jego obrębie. Temu poświęcono dalszą część pracy.

3. Metodyka obliczeń ruchu ziarna

Poniżej rozpatrzono układ dwóch równoległych przenośników taśmowych nachylonych kolejno pod kątami β_1 i β_2 . Przeanalizowany został ruch pojedynczego ziarna o zadanej średnicy a . Celem było określenie wpływu zmiany poszczególnych parametrów na odpowiedź układu. W szczególności obiektem zainteresowania były wartości składowych normalnej i stycznej prędkości ziarna w punkcie uderzenia o taśmę przenośnika odbierającego.



Rys. 6. Przenośniki taśmowe w konfiguracji równoległej
 Fig. 6. Conveyor belts in parallel configuration

Dane wejściowe modelu:

- v_1, v_2 – prędkości przenośników [m/s],
- β_1, β_2 – kąty nachylenia przenośników [deg],
- ω_1, ω_2 – prędkości kątowe bębnow napędowych [rad/s],
- H, V – odległości osi bębnow kolejno w pionie i w poziomie [m],
- D_1, D_2 – średnice bębnow [m],
- h_1, h_2 – grubości rdzeni taśm [m],
- a – średnica ziarna [m].

przy czym: $v_i = \omega_i \cdot R_i$ gdzie $R_i = \frac{D_i}{2}$ dla $i = 1, 2$.

Istnieje kilka metod określania trajektorii ruchu materiału (Dunlop, Goodyear, CEMA, MHEA, Booth, Korzeń). Różnice wynikają przede wszystkim z zakresu uwzględnionych zjawisk fizycznych mających wpływ na siły działające na ziarno. Metody te można podzielić na analityczne, graficzne lub łączone. W każdej z metod podstawą do analizy trajektorii ruchu, jest określenie punktu oderwania się ziarna od taśmy przenośnika podającego. Analiza przeprowadzona przez autorów oparta została o wzory wyprowadzone w standardach CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers [4]). Obliczenia uwzględniają działanie siły odśrodkowej, natomiast nie uwzględniają sił tarcia i adhezji pomiędzy taśmą, a ziarnem. Rozpatrywane są trzy przypadki w zależności od kąta nachylenia przenośnika podającego:

1. $\beta_1 = 0$

1.1 Jeżeli $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} \geq 1$, to ziarno oderwie się w punkcie styku taśmy z bębniem zrzutowym.

Zakładając, że początek układu współrzędnych znajduje się w osi tego bębna, współrzędne punktu oderwania dla tego przypadku wynoszą $x_0 = 0$ oraz $y_0 = 0$.

1.2 Jeżeli prędkość $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} < 1$, nie jest odpowiednio duża, to ziarno przed oderwaniem

przemierzy pewną odległość na bębnie tak, że $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} = \cos \gamma$, gdzie γ to kąt pomiędzy

osią pionową bębna, a punktem oderwania się ziarna. Dla takiego przypadku, współrzędne punktu oderwania wynoszą $x_o = r_1 \cdot \sin \gamma$ oraz $y_o = r_1 \cdot \cos \gamma$, przy czym

$$\gamma = \arccos\left(\frac{v_s^2}{g \cdot r_1}\right).$$

2. $\beta_1 > 0$

2.1 Jeżeli $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} \geq 1$, to ziarno oderwie się w punkcie styku taśmy z bębniem zrzutowym.

Biorąc pod uwagę nachylenie przenośnika, współrzędne punktu oderwania dla tego przypadku wynoszą $x_o = -r_1 \cdot \sin \beta_1$ oraz $y_o = r_1 \cdot \cos \beta_1$.

2.2 Jeżeli prędkość $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} < 1$ i $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} \geq \cos \beta_1$, to ziarno może oderwać się w punkcie styku

taśmy z bębniem, jednak istnieje prawdopodobieństwo, że wejdzie z nią jeszcze raz w kontakt. Nie jest jasno powiedziane jak określić punkt oderwania. CEMA sugeruje, że ziarno po ponownym kontakcie z taśmą przejedzie jeszcze pewien odcinek na bębnie, a następnie nastąpi jego oderwanie (por. p. 2.4).

2.3 Jeżeli $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} = 1$, to ziarno oderwie się w punkcie $x_o = 0$ i $y_o = r_1$.

2.4 Jeżeli prędkość jest taka, że $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} < \cos \beta_1$, to ziarno pozostanie na taśmie i przemieści

się o pewną odległość wokół bębna do punktu, w którym spełniony będzie warunek

$$\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} < \cos \gamma. \text{ W modelu przyjęto, że oderwanie nastąpi gdy } \frac{v_s^2}{g \cdot r_1} = \cos \gamma, \text{ tak więc}$$

punkt oderwania ma współrzędne $x_o = r_1 \cdot \cos \gamma$ i $y_o = r_1 \cdot \sin \gamma$.

3. $\beta_1 < 0$

3.1 Jeżeli prędkość $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} \geq \cos \beta_1$, to ziarno może oderwać się w początkowym punkcie

styku taśmy z bębniem. Współrzędne punktu oderwania wynoszą $x_o = r_1 \cdot \sin \beta_1$ oraz $y_o = r_1 \cdot \cos \beta_1$.

3.2 Jeżeli $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} < \cos \beta_1$, to prędkość v_s jest zbyt mała aby nastąpiło oderwanie się ziarna

w punkcie styku taśmy z bębniem. Ziarno przemieści się na taśmie wokół bębna o kąt γ

do momentu, gdy spełniony będzie warunek $\frac{v_s^2}{g \cdot r_1} \geq \cos \gamma$.

Prędkość v_s należy obliczyć uwzględniając grubość taśmy h_1 [4]: $v_s = \omega_1 \cdot r_1$; gdzie:
 $r_1 = R_1 + h_1 + a$.

W momencie oderwania się ziarna od bębna, rozpoczyna się faza lotu swobodnego. W analizie pominięte zostały opory powietrza. Metoda CEMA równanie trajektorii opisuje względem układu współrzędnych związanym z punktem oderwania się ziarna. Z punktu widzenia pozycjonowania elementów konstrukcyjnych odpowiedzialnych za przechwytywanie i ukierunkowanie ruchu strugi urobku, postanowiono początek układu współrzędnych przyjąć w środku bębna zrzutowego przenośnika podającego. W tak przyjętym układzie ruch ziarna opisują równania:

$$x(t) = x_0 + v_s \cdot \cos \theta \cdot t \quad (3)$$

$$y(t) = y_0 + v_s \cdot \sin \theta \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (4)$$

gdzie kąt θ w zależności od przypadku nachylenia przenośnika równy jest kątowi β_1 lub γ . Rugując czas z powyższego układu równań, otrzymuje się równanie trajektorii lotu ziarna w płaszczyźnie x-y:

$$y(x) = y_0 + (x - x_0) \cdot \operatorname{tg} \theta - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x - x_0}{v_s \cdot \cos \theta} \right)^2 \quad (5)$$

Taśmę przenośnika odbierającego potraktowano jako idealnie sztywną i nieodkształcalną. Przy takich założeniach, można matematycznie opisać ją równaniem prostej:

$$y_2(x) = \operatorname{tg} \beta_2 \cdot x + b \quad (6)$$

Wartość parametru b obliczono wykorzystując znajomość punktu styczności taśmy i bębna

$$x_e = V - r_2 \cdot \sin \beta_2 \quad (7)$$

$$y_e = r_2 \cdot \cos \beta_2 - H \quad (8)$$

gdzie: $r_2 = R + h_2$

Na podstawie równań (6), (7) i (8) otrzymano:

$$r_2 \cdot \cos \beta_2 - H = \operatorname{tg} \beta_2 \cdot (V - r_2 \cdot \sin \beta_2) + b \quad (9)$$

skąd:

$$b = r_2 \cdot \cos \beta_2 - H - \operatorname{tg} \beta_2 \cdot (V - r_2 \cdot \sin \beta_2) \quad (10)$$

Ostatecznie równanie opisujące położenie taśmy ma postać:

$$y_2(x) = \operatorname{tg} \beta_2 \cdot x + r_2 \cdot \cos \beta_2 - H - \operatorname{tg} \beta_2 \cdot (V - r_2 \cdot \sin \beta_2) \quad (11)$$

Współrzędne punktu upadku ziarna obliczono przyrównując do siebie prawe strony równań (5) i (11):

$$y(x) = y_2(x) \quad \text{dla } x > 0 \quad (12)$$

$$y_0 + (x - x_0) \cdot \operatorname{tg} \theta - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x - x_0}{v_s \cdot \cos \theta} \right)^2 = \operatorname{tg} \beta_2 \cdot x + b \quad (13)$$

Porządkując równanie (13) otrzymujemy:

$$\sigma \cdot x^2 + C_1 \cdot x + C_2 = 0 \quad (14)$$

gdzie:

$$\sigma = \frac{g}{2 \cdot v_s^2 \cdot \cos^2 \theta} \quad (15)$$

$$C_1 = \operatorname{tg} \beta_2 - 2 \cdot \sigma \cdot x_0 - \operatorname{tg} \theta \quad (16)$$

$$C_2 = \sigma \cdot x_0^2 + x_0 \cdot \operatorname{tg} \theta + b - y_0 \quad (17)$$

Rozwiązując równanie kwadratowe (12) oraz uwzględniając, że szukana współrzędna $x > 0$, otrzymujemy:

$$\Delta = C_1^2 - 4 \cdot \sigma \cdot C_2 \quad (18)$$

$$x_{c1} = \frac{-C_1 - \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \sigma} \quad (19)$$

$$x_{c2} = \frac{-C_1 + \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \sigma} \quad (20)$$

Ponieważ $x_{c2} > 0$ podstawiamy do równania (5):

$$y_c = y_0 + (x - x_{c2}) \cdot \operatorname{tg} \theta - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x - x_{c2}}{v_s \cdot \cos \theta} \right)^2 \quad (21)$$

Zatem punkt uderzenia ziarna o taśmę przenośnika odbierającego ma współrzędne x_{c2} , y_c . W celu określenia kąta padania ziarna, należy obliczyć pochodną równania trajektorii lotu ziarna względem x :

$$\frac{dy}{dx} = -2 \cdot \sigma \cdot (x - x_0) + \operatorname{tg} \theta \quad (22)$$

Obliczając wartość pochodnej w punkcie $x = x_{c2}$ otrzymujemy:

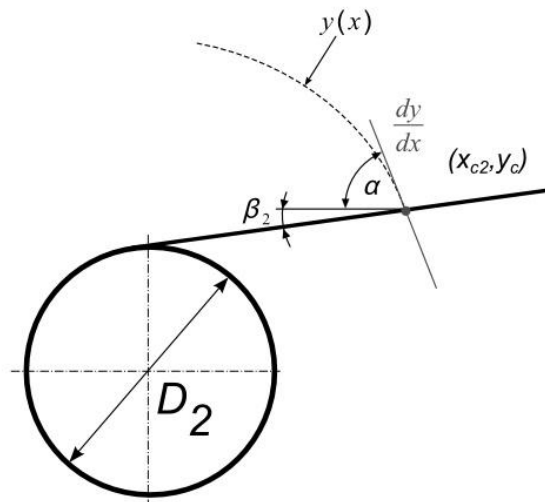
$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=x_{c2}} = -2 \cdot \sigma \cdot (x_{c2} - x_0) + \operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \alpha \quad (23)$$

gdzie: α - kąt padania ziarna na taśmę w układzie globalnym

stąd:

$$\alpha = \operatorname{arctg}[-2 \cdot \sigma \cdot (x_{c2} - x_0) + \operatorname{tg} \theta] \quad (24)$$

Całkowity kąt padania ziarna jest sumą kątów α i β_2 (rys.7).



Rys. 7. Kąt padania ziarna na taśmę przenośnika odbierającego
Fig. 7. Angle of impact of the grain on the belt of the receiving conveyor

W układzie związanym ze środkiem bębna przenośnika podającego, składowe wektora prędkości ziarna w punkcie kontaktu z taśmą przenośnika odbierającego, określone są wzorami:

$$v_x = v_s \cdot \cos \theta \quad (25)$$

$$v_y = v_s \cdot \sin \theta - g t_c^2 \quad (26)$$

gdzie:

$$t_c = \frac{x_{c2}}{v_s \cdot \cos \theta} \quad (27)$$

Wartość wektora prędkości wynosi:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (28)$$

Z punktu widzenia celu analizy interesujące były wartości wektora prędkości ziarna na kierunku normalnym i stycznym do taśmy przenośnika odbierającego. Uwzględniając nachylenie drugiego przenośnika, kąt uderzenia ziarna o taśmę oraz jego prędkość w chwili uderzenia, w globalnym układzie współrzędnych wartości normalnej i stycznej prędkości ziarna obliczono korzystając z następujących zależności:

$$v_n = v \cdot \sin(\alpha + \beta_2) \quad (29)$$

$$v_t = v \cdot \cos(\alpha + \beta_2) \quad (30)$$

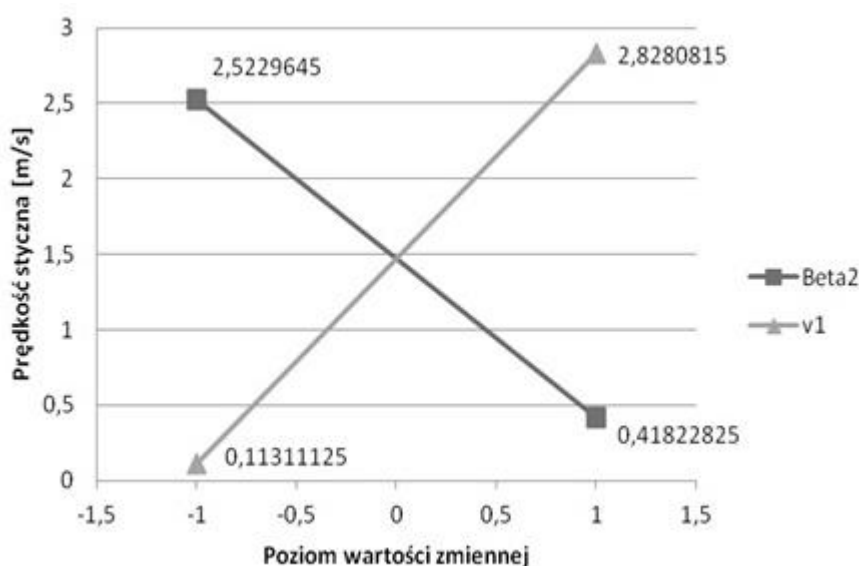
4. Analiza wrażliwości układu

Układ przeanalizowano pod kątem wpływu wybranych parametrów na wartość prędkości stycznej w chwili uderzenia ziarna o taśmę przenośnika odbierającego. Do analizy, jako parametry wejściowe, przyjęto kąty nachylenia przenośników β_1 , β_2 , prędkość przenośnika podającego v_1 oraz różnicę wysokości H . Każdy parametr analizowano na dwóch poziomach wartości, a uzyskane z obliczeń wyniki przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

Tabela 1. Wartości wybranych parametrów przesypu

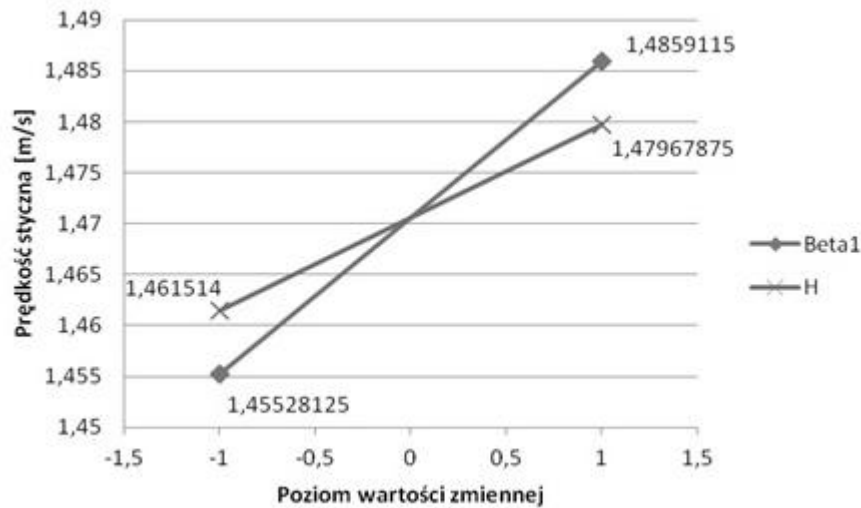
Table 1. The values of chosen transfer chute parameters

Parametr	min (-1)	max (+1)
v_1 [m/s]	1	3
β_1 [deg]	-15	15
β_2 [deg]	-15	15
H [m]	1	4



Rys. 8. Zmiana średniej wartości prędkości stycznej v_t w zależności od v_1 i β_2

Fig. 8. Mean change in tangential velocity v_t depending on v_1 and β_2

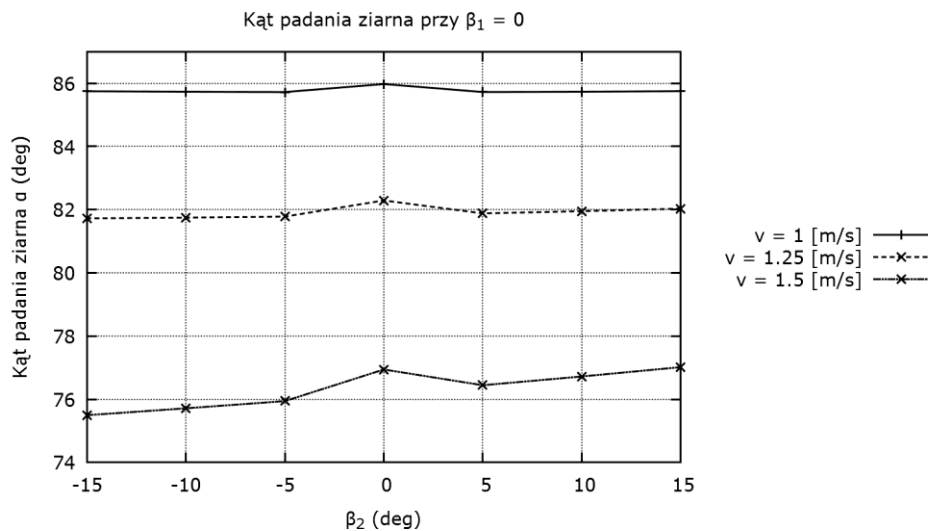


Rys. 9. Zmiana średniej wartości prędkości stycznej v_t w zależności od β_1 i H
 Fig. 9. Mean change in tangential velocity v_t depending on β_1 and H

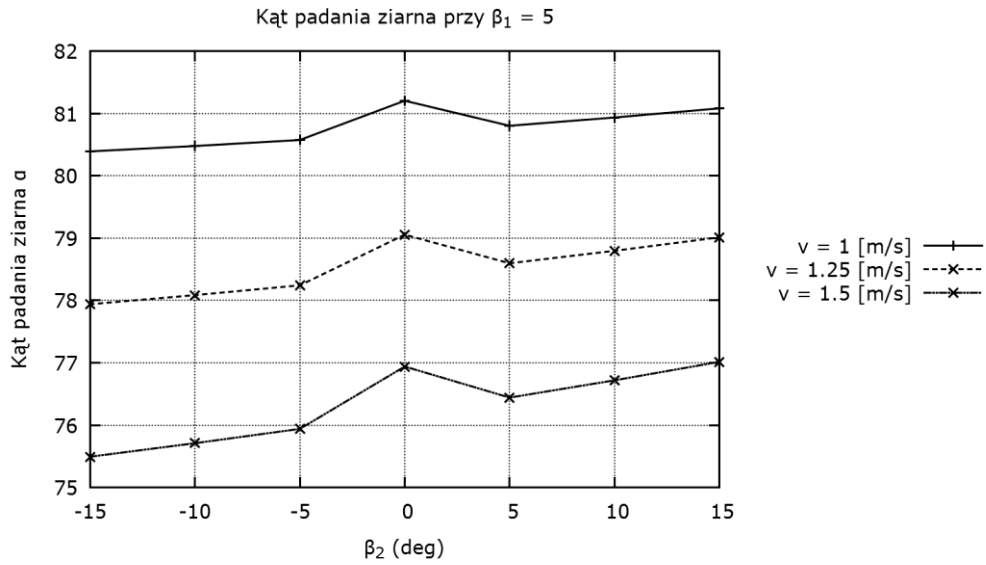
Uzyskane wyniki wykazały, że dominujący wpływ na prędkość styczną ziarna w punkcie jego upadku na taśmę przenośnika odbierającego mają kąt nachylenia β_2 i prędkość v_1 taśmy przenośnika podającego.

5. Przykłady obliczeń

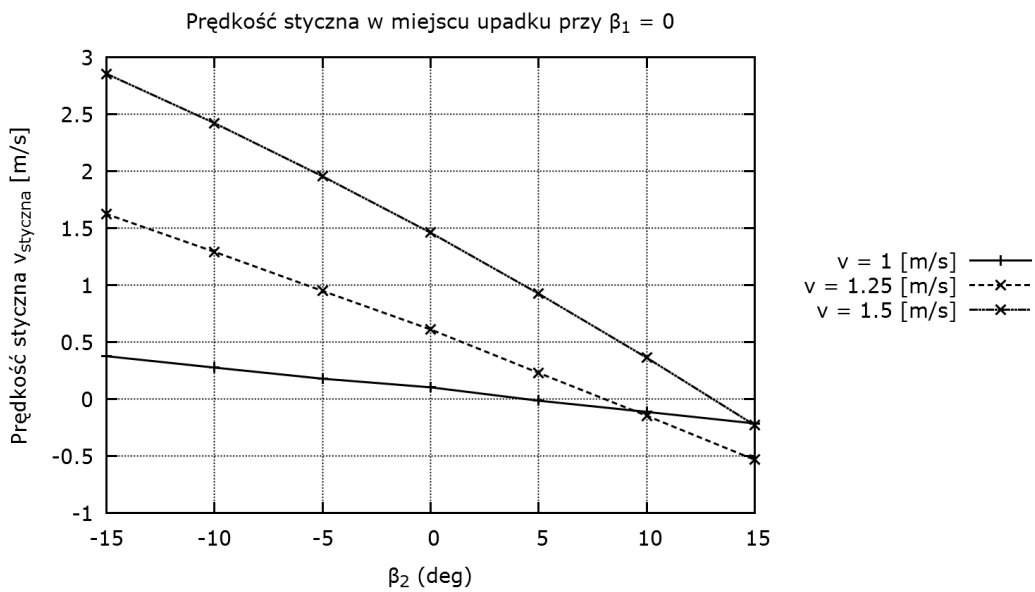
Bazując na uzyskanych zależnościach, przeprowadzono szereg obliczeń. Określone zostały prędkości i kąty uderzeń ziarna o taśmę przenośnika odbierającego dla wybranego zakresu wartości parametrów β_1, β_2, v_1, H . Pozostałe parametry wejściowe modelu były stałe. Przykładowe wyniki przedstawiono na poniższych rysunkach 10-13.



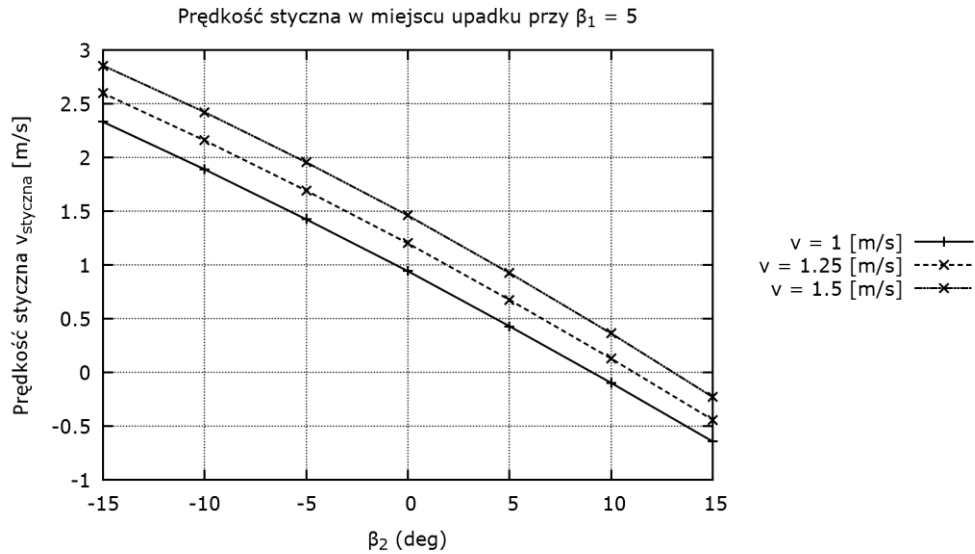
Rys. 10. Kąt padania ziarna w zależności od v_1 i β_2 przy stałej wartości $\beta_1 = 0^\circ$
 Fig. 10. Angle of impact of a grain depending on v_1 and β_2 for a constant value of $\beta_1 = 0^\circ$



Rys. 11. Kąt padania ziarna w zależności od v_1 i β_2 przy stałej wartości $\beta_1 = 5^\circ$
 Fig. 11. Angle of impact of a grain depending on v_1 and β_2 for a constant value of $\beta_1 = 5^\circ$



Rys. 12. Prędkość styczna v_1 w zależności od v_1 i β_2 przy stałej wartości $\beta_1 = 0^\circ$
 Fig. 12. Tangential velocity at the point of contact depending on v_1 and β_2 for a constant value of $\beta_1 = 0^\circ$



Rys. 13. Prędkość styczna v_1 w zależności od v_1 i β_2 przy stałej wartości $\beta_1 = 5^\circ$

Fig. 13. Tangential velocity at the point of contact depending on v_1 and β_2 for a constant value of $\beta_1 = 5^\circ$

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń, można wyciągać wnioski dotyczące pożądanej konfiguracji przenośników dla uzyskania korzystnych warunków załadunku strugi.

6. Podsumowanie

W dążeniu do poprawy efektywności pracy przenośnikowych systemów transportowych doskonalone są elementy i zespoły przenośników w zakresie ich przystosowania do rosnących zadań transportowych oraz podejmuje się wielokierunkowe działania dla obniżania ich energochłonności, także przez zmniejszenie oporów ruchu. Przesypy są jednymi z węzłów przenośnikowych systemów transportowych wnoszących znaczące opory skupione i straty mocy oraz będących potencjalnym źródłem awarii i zwiększonego zużycia taśm. Optymalizacja konstrukcji przesypów jest więc aktualnym i ważnym problemem do rozwiązania. Uzyskane z analizy teoretycznej zależności na parametry ruchu ziarna mogą być przydatne w kształtowaniu konstrukcji elementów przesypów dla wyeliminowania, bądź ograniczenia ich wad. Znajomość trajektorii ruchu urobku w przestrzeni przesypu pozwala na właściwe kształtowanie jego postaci konstrukcyjnej. Problematyka ta będzie przedmiotem dalszych prac naukowo-badawczych i konstrukcyjnych realizowanych w tym zakresie.

Literatura

1. Antoniak J. Systemy transportu przenośnikami taśmowymi w górnictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
2. Czuba W, Kulinowski P. Numeryczne obliczenia oporów załadunku urobku na taśmę przenośnik z wykorzystaniem metody elementów dyskretnych. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 2(12)/2011, s. 5–10.
3. Cyganiuk JA. Modelowanie przepływów strumieni materiałów ziarnistych na łukowych płytach odbojowych. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze. Nr 4(14)/2011 s. 36–40.
4. Conveyor Equipment Manufacturers Association. Belt Conveyors for Bulk Materials. 5th ed. 2002.

5. Gładysiewicz L. Przenośniki taśmowe. Teoria i obliczenia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2003.
6. Huque ST. Analytical and Numerical Investigations into Belt Conveyor Transfers. Engineering. University of Wollongong, 2004.
7. Kessler F, Prenner M. DEM – Simulation of Conveyor Transfer Chutes, FME Transactions, vol 37 no. 4, 2009, 185–192.
8. Maton AE. Transfer Station Design - Developments in the Iron Ore Industry, Bulk Solid Handling vol. 27 (2):2007, 94–100.
9. Swinderman R. Todd PE, Marti AD, Goldbeck LJ, Marshall D, Strebel MG. Foundations The Practical Resource for Cleaner, Safer, More Productive Dust & Material Control. Engineering. 4th ed. Neponset, Illinois, U.S.A.: Martin Engineering Company.
10. Żur T, Hardygóra M. Przenośniki taśmowe w górnictwie. Wydawnictwo „Śląsk” Katowice, 1979.