

MODELOWANIE PRZEPŁYWÓW STRUMIENI KOHEZYJNYCH MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH W WĘZŁACH ZRZUTOWYCH Z TAŚMĄ WZNOSZĄCĄ

MODELLING OF THE FLOW OF COHESIVE BULK MATERIALS STREAMS IN THROWING POINTS WITH AN ASCENDING BELT

Joanna A. Cyganiuk – Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, Zakład Automatyzacji Procesów Produkcyjnych, Uniwersytet Zielonogórski
Franciszek W. Przystupa - Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii, Politechnika Wrocławska

Artykuł przedstawia analizę warunków ustalonego przepływu kohezyjnych materiałów ziarnistych w węźle zrzutowym z taśmą wznoszącą. Analizę wykonano dla przepływów ustalonych w czasie, przebiegających z dużymi prędkościami. Przedstawiono matematyczny sposób opisu prędkości materiału opuszczającego węzeł zrzutowy oraz równanie końcowe umożliwiające wyznaczenie wartości prędkości materiału z dokładnością wystarczającą dla zastosowań praktycznych. W artykule przedstawiono również praktyczny przykład zastosowania proponowanego równania dla dwóch różnych przypadków.

The paper presents the analysis of a stationary flow of cohesive materials in a throwing point with an ascending belt. The analysis was carried out for stationary flows proceeding with high velocities. It also presents a mathematical method of description of the velocity of material leaving the throwing point as well as the final equation, which enables determination of the value of the velocity of the material with the accuracy sufficient for practical use. The example of a practical application of the proposed equation for two different cases has been also presented.

Wprowadzenie

Rozładunek przenośnika taśmowego przez bęben w węźle zrzutowym stanowi najprostszą formę opróżniania taśmy z transportowanego materiału, niezależnie od jego rodzaju. W przypadku kohezyjnych materiałów II i III grupy materiałowej, do których należą materiały drobno-, grubo- i średnioziarniste przeznaczone do przechowywania w silosach (grupa II) i materiały drobnoziarniste, pylaste i proszkowe (grupa III) oprócz takich parametrów wypływu jak prędkość taśmy, promień bębna, kąt pochylenia warstwy czy grubość nosiwa na taśmie, należy jeszcze uwzględnić adhezję. Jest to parametr, który wpływa na proces oddzielania się materiału od taśmy na bębnie wyładowczym. Adhezja zachodzi na styku dwóch materiałów, to znaczy materiału transportowanego i materiału, z którego wykonano taśmę przenośnika. Zjawisko tarcia kontaktowego dla warunków statycznych, które ma miejsce w punkcie wyładowania, gdzie materiał na skutek sił adhezji przylega do taśmy opisuje warunek (1), przy czym działanie sił adhezji nie może być tu pominięte:

$$\frac{F_r - A_d}{\cos \alpha} \geq 1 \quad (1)$$

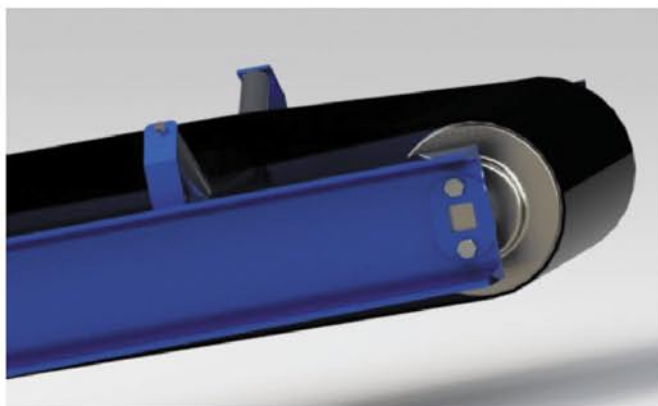
przy czym:

$$A_d = \frac{\sigma_a}{\gamma \cdot h_m} \quad (2)$$

$$F_r = \frac{v^2}{g \cdot R_b}, \quad (3)$$

gdzie: v – prędkość przenośnika [m/s], γ – ciężar właściwy materiału masowego [N/m³], σ_a – adhezja [N/m²], α – kąt pochylenia taśmy [rad].

Warunek (1) dotyczy przenośników pracujących z dużymi prędkościami, dla których w dalszej części zostanie przedstawiona analiza wypływu materiału z bębna dla przenośnika z taśmą wznoszącą (rys. 1) oraz równanie umożliwiające szacowanie prędkości materiału za bębniem, które uwzględnia adhezję. W analizie przyjęto, że przepływ materiału ma charakter ustalony.



Rys.1. Bęben przenośnika z taśmą wznoszącą [opracowanie własne]
Fig. 1. Conveyor drum with ascending belt

Analiza warunków przepływu materiałów ziarnistych w węźle zrzutowym dla taśmy wznoszącej i materiałów grupy II i III

Na rysunku 2 przedstawiono główne wielkości, jakie mają wpływ na proces wyładowania materiałów grupy II i III z szybkich przenośników z taśmą wznoszącą. Na rysunku tym przedstawiono warunki kinematyczne, dynamiczne i geometryczne ruchu elementarnej masy dm w węźle zrzutowym zbudowanym

w oparciu o szybki przenośnik taśmowy transportujący materiały ziarniste grupy II i III. Jak już wcześniej wspomniano, w przypadku tych dwóch grup materiałowych, ważną wielkością, która ma wpływ na proces oddzielania się materiału od taśmy na bębnie wyładowczym jest adhezja, oddziałująca na styku dwóch materiałów: materiału transportowanego i materiału taśmy przenośnika.

W rozważaniach założono, że do oddzielenia strumienia materiału od bębna wyładowczego dochodzi w punkcie A, gdzie taśma przenośnika nabiega na bęben wyładowczy. Założono także, że spełniony jest warunek (1).

W węźle tym (rys.2), na transportowany materiał działają następujące siły, opisujące warunki dynamiczne przepływu:

- siła ciężkości dG [N],
- siła odśrodkowa dF_c [N],
- siła adhezji dF_a [N],
- siła normalna dN_{xs} [N] powstała pomiędzy wyładowywanym materiałem, a taśmą przenośnika,
- siła styczna dT_{xs} [N] powstała pomiędzy wyładowywanym materiałem, a taśmą przenośnika,
- siła bezwładności dJ [N], powstała na skutek działania siły ciężkości dG , siły odśrodkowej dF_c , sił powierzchniowych dN_{xs} i dT_{xs} i siły adhezji dF_a .

Warunki kinematyczne opisują:

- prędkość taśmy przenośnika v_t [m/s],
- prędkość dopływu strumienia materiału ziarnistego do bębna wyładowczego v_p [m/s] równa prędkości taśmy,
- prędkość materiału opuszczającego bęben wyładowczy v_w [m/s].

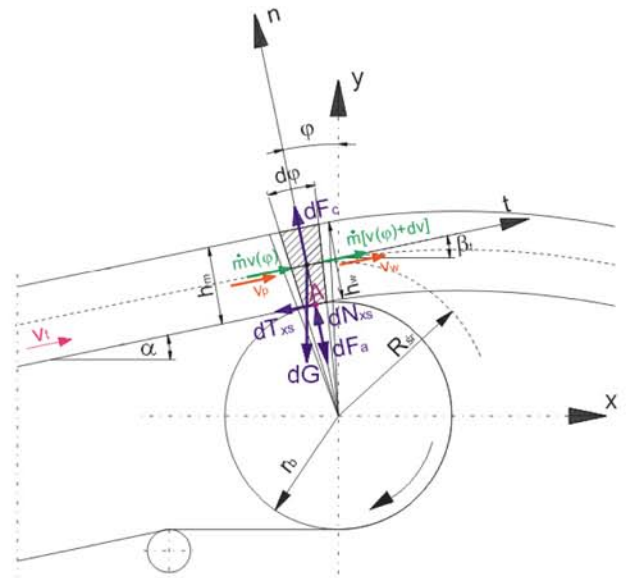
Do warunków geometrycznych wypływu kohezyjnego materiału grupy II i III z bębna wyładowczego w węźle zrzutowym z taśmą wznoszącą zaliczają się:

- kąt pochylenia przenośnika α [°],
- kąt wypływu strumienia materiału z bębna wyładowczego β_1 [°],
- współrzędna kątowa opisująca pozycję nieskończenie małej masy materiału na bębnie wyładowczym φ [°],
- średni promień krzywizny strumienia materiału R_{sr} [m],
- promień bębna wyładowczego r_b [m],
- grubość warstwy strumienia materiału w momencie dopływu do bębna wyładowczego h_m [m],
- grubość warstwy strumienia materiału opuszczającego bęben wyładowczy h_w [m].

Wymienione parametry (rys. 2) to parametry najistotniejsze z punktu widzenia proponowanej analizy warunków przepływu materiału ziarnistego, na bębnie przenośnika z taśmą wznoszącą. Są to parametry wpływające na sposób zachowania się materiału w węźle i na warunki jego oddzielenia od taśmy. Parametry te zostały ujęte w opisie matematycznym omówionego tu zjawiska wypływu materiału kohezyjnego z taśmy przenośnika, który to opis umożliwia szacowanie prędkości materiału za bębniem.

Matematyczny model przepływu strumienia kohezyjnego materiału ziarnistego w węźle zrzutowym z taśmą wznoszącą

Przeprowadzona analiza węzła zrzutowego z taśmą wznoszącą bez progów, przeznaczonego do transportu kohezyjnych materiałów ziarnistych grupy II i III, dla których zachodzi zjawisko adhezji wykazała, że układ równań umożliwiający wyprowadzenie zależności przeznaczonej do wyznaczenia wartości prędkości v_w [m/s] materiału opuszczającego węzeł zrzutowy składa się z poniższych równań zapisanych w postaci:



Rys. 2. Oznaczenie kinematycznych, geometrycznych i dynamicznych warunków przepływu strumienia kohezyjnego materiału ziarnistego grupy II i III na bębnie wyładowczym przenośnika z taśmą wznoszącą [opracowanie własne]

Fig. 2. Designation of kinematic, geometric and dynamic conditions of streams flow of cohesive bulk materials of II and III group on a discharge drum of a conveyor with ascending belt

- równania ciągłości:

$$\dot{m} = \rho \cdot v(\varphi) \cdot A(\varphi) \quad (4)$$

- równania równowagi:

$$\dot{m}(\bar{v} + d\bar{v}) - \dot{m}\bar{v} = d\bar{G} + d\bar{F}_c + d\bar{F}_a + d\bar{N}_{xs} + d\bar{T}_{xs} \quad (5)$$

- równania opisującego warunek tarcia kontaktowego na powierzchniach ograniczających drogę przepływu strumienia materiału ziarnistego dla warunków statycznych:

$$\tau_{ws} = (\sigma_n + \sigma_a) \mu_{xs} \quad (6)$$

Ogólna postać układu równań dla węzła zrzutowego z taśmą wznoszącą i materiałem grupy II i III, który opisuje ustalony przepływ strumienia materiału ziarnistego, składa się z trzech równań:

$$\begin{cases} \dot{m} = \rho \cdot v(\varphi) \cdot A(\varphi) \\ \dot{m}(\bar{v} + d\bar{v}) - \dot{m}\bar{v} = d\bar{G} + d\bar{F}_c + \bar{F}_a + d\bar{N}_{xs} + d\bar{T}_{xs} \\ \tau_{ws} = (\sigma_n + \sigma_a) \mu_{xs} \end{cases} \quad (7)$$

Wielkości występujące w powyższych równaniach opisane są następująco:

- przepływ masowy $\dot{m}$ [kg/s],
- gęstość usypowa ρ materiału ρ [kg/m³],
- współczynnik tarcia kontaktowego dla warunków statycznych μ_{xs} ,
- przekrój poprzeczny strumienia $A(\varphi)$ [m²]:

$$A(\varphi) = B \cdot h(\varphi) = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot v(\varphi)} \quad (8)$$

gdzie $h(\varphi)$ to grubość warstwy strumienia materiału [m],
B - szerokość strumienia materiału [m],

- siła ciężkości dG [N]:

$$|d\vec{G}| = \rho g R(\varphi) A(\varphi) d\varphi = \gamma R(\varphi) A(\varphi) d\varphi \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & - \text{ciężar właściwy materiału masowego } \gamma \left[\frac{N}{m^3} \right]: \\ \gamma &= \rho g \end{aligned} \quad (10)$$

gdzie g to przyspieszenie ziemskie $\left[\frac{m}{s^2} \right]$, $R(\varphi)$ jest średnim promieniem krzywizny strumienia $[m]$,

$$\begin{aligned} & - \text{siła odśrodkowa } dF_c \text{ [N]:} \\ |d\vec{F}_c| &= \dot{m} v(\varphi) d\varphi \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & - \text{siła adhezji } dF_a \text{ [N]:} \\ |d\vec{F}_a| &= \sigma_a B R(\varphi) d\varphi \end{aligned} \quad (12)$$

gdzie $\sigma_a \left[\frac{N}{m^2} \right]$ to adhezja.

$$\begin{aligned} & - \text{siła normalna } dN_{xs} \text{ [N]:} \\ |d\vec{N}_{xs}| &= \sigma_n B R(\varphi) d\varphi \end{aligned} \quad (13)$$

- siła tarcia dT_{xs} [N]:

$$|d\vec{T}_{xs}| = \tau_{ws} R(\varphi) B d\varphi = \sigma_n \mu_{xs} R(\varphi) B d\varphi + \sigma_a \mu_{xs} R(\varphi) B d\varphi = \mu_{xs} |d\vec{N}_{xs}| + \mu_{xs} |d\vec{F}_a| \quad (14)$$

Rzutowanie równania 5 na kierunku przyjętego układu współrzędnych $\langle n, t \rangle$ daje poniższy układ równań w funkcji parametru kątowego φ :

$$\sum_n = |d\vec{F}_c| - |d\vec{F}_a| + |d\vec{N}_{xs}| - |d\vec{G}| \cos \varphi = 0 \quad (15)$$

$$\sum_t = -\dot{m} v(\varphi) + \dot{m} [v(\varphi) + dv] + |d\vec{T}_{xs}| + |d\vec{G}| \sin \varphi = 0 \quad (16)$$

który po uproszczeniu można zapisać w sposób następujący:

$$\begin{cases} \mu_{xs} |d\vec{F}_c| - \mu_{xs} |d\vec{F}_a| - \mu_{xs} |d\vec{G}| \cos \varphi = 0 \\ \dot{m} dv + |d\vec{G}| \sin \varphi + \mu_{xs} |d\vec{F}_a| = 0 \end{cases} \quad (17)$$

Rozwiązując układ równań (17) otrzymuje się poniższe równanie różniczkowe:

$$\frac{dv^2(\varphi)}{d\varphi} - 2\mu_{xs} v^2(\varphi) = -2g R(\varphi) \left[\mu_{xs} \cos \varphi + \sin \varphi + \frac{2\mu_{xs} \sigma_a}{\gamma h(\varphi)} \right] \quad (18)$$

Przez całkowanie równania (18) otrzymuje się postać równania opisującego prędkość materiału opuszczającego węzeł zrzutowy v_w :

$$v_w = \sqrt{C_w e^{2\mu_{xs}\varphi} + \frac{2g R(\varphi)}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \varphi (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \varphi] + \frac{2g R(\varphi) \sigma_a}{\gamma h(\varphi)}} \quad (19)$$

Z równania 19 wyznaczamy stałą całkowania C_w , której wartość wyznaczamy z poniższych warunków brzegowych:

$$\varphi = \alpha \quad (20)$$

$$R(\varphi) = R(\alpha) = R_0 = r_b + 0.5h_m \quad (21)$$

$$h_m = \frac{\dot{m}}{\rho v_t B} \quad (22)$$

$$v(\varphi) = v(\alpha) = v_0 = v_t \quad (23)$$

$$A(\varphi) = A(\alpha) = A_0 = \frac{\dot{m}}{v(\alpha)\rho} = \frac{\dot{m}}{v_t \rho} = h_m B \quad (24)$$

Wyznaczenie prędkości v_w umożliwia przyjęcie następującego założenia:

$$\varphi = \varphi_w = \beta_t \quad (25)$$

Szacowanie wartości prędkości v_w uzyskujemy stosując warunki brzegowe 20 – 25, i tak:

- w pierwszym kroku przybliżenia:

$$A_0 = A_{w1} = \frac{\dot{m}}{v_t \rho} = h_m B, \quad h_m = \frac{A_{w1}}{B} = \frac{\dot{m}}{\rho v_t B}, \quad R_{w1} = R_{sr1} = r_b + 0.5h_m \quad (26)$$

$$C_{w1} = e^{-2\mu_{xs}\alpha} \left\{ v_p^2 - \frac{2g R_{sr1}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \alpha (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \alpha] - \frac{2g R_{sr1} \sigma_a}{\gamma h_m} \right\} \quad (27)$$

$$v_{w1} = \sqrt{C_{w1} e^{2\mu_{xs}\beta_t} + \frac{2g R_{sr1}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \beta_t (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \beta_t] + \frac{2g R_{sr1} \sigma_a}{\gamma h_m}} \quad (28)$$

- w drugim kroku przybliżenia:

$$A_{w2} = \frac{\dot{m}}{v_{w1} \rho} = h_{w1} B, \quad h_{w1} = \frac{A_{w2}}{B} = \frac{\dot{m}}{\rho v_{w1} B}, \quad R_{w2} = R_{sr2} = r_b + 0.5h_{w1} \quad (29)$$

$$C_{w2} = e^{-2\mu_{xs}\alpha} \left\{ v_p^2 - \frac{2g R_{sr2}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \alpha (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \alpha] - \frac{2g R_{sr2} \sigma_a}{\gamma h_{w1}} \right\} \quad (30)$$

$$v_{w2} = \sqrt{C_{w2} e^{2\mu_{xs}\beta_t} + \frac{2g R_{sr2}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \beta_t (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \beta_t] + \frac{2g R_{sr2} \sigma_a}{\gamma h_{w1}}} \quad (31)$$

- w n -tym kroku przybliżenia:

$$A_{wn} = \frac{\dot{m}}{v_{wn-1} \rho} = h_{wn(n-1)} B, \quad h_{wn(n-1)} = \frac{A_{wn}}{B} = \frac{\dot{m}}{v_{wn-1} \rho B}, \quad R_{wn} = R_{srn} = r_b + 0.5h_{wn(n-1)} \quad (32)$$

$$C_{wn} = e^{-2\mu_{xs}\alpha} \left\{ v_p^2 - \frac{2g R_{srn}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \alpha (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \alpha] - \frac{2g R_{srn} \sigma_a}{\gamma h_{wn(n-1)}} \right\} \quad (33)$$

$$v_{wn} = \sqrt{C_{wn} e^{2\mu_{xs}\beta_t} + \frac{2g R_{srn}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \beta_t (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \beta_t] + \frac{2g R_{srn} \sigma_a}{\gamma h_{wn(n-1)}}} \quad (34)$$

W celu uzyskania dokładnego przybliżenia wartości prędkości materiału opuszczającego węzeł zrzutowy v_w powinna być spełniona następująca zależność:

$$\left| \frac{v_{wn} - v_{wn(n-1)}}{v_{wn}} \right| \leq \delta_{v_w} [\%] \quad (34)$$

gdzie δ_{v_w} jest dopuszczalną odchyłką względną przy szacowaniu prędkości v_w , która może przyjąć wartość 1% - 2% ($\delta_{v_w} = 1\% \div 2\%$).

Przykład zastosowania proponowanego rozwiązania dla węzłów zrzutowych z taśmą wznoszącą

Zaproponowane rozwiązanie może być stosowane do szacowania prędkości materiału za węzłem zrzutowym przy założeniach, że znane są parametry transportowanego materiału, dane są wartości liczbowe prędkości początkowej strumienia materiału wypływającego z bębna przenośnika taśmowego oraz dana jest wymagana wartość wydatku masowego. Znane są także parametry geometryczne strumienia dopływającego do punktu zrzutu oraz kąt strumienia materiału za bębniem przenośnika taśmowego.

W projektowaniu węzłów zrzutowych i współpracujących z nimi węzłów przesypowych przyjmuje się, że dla szybkich przenośników taśmowych prędkość materiału opuszczającego węzeł zrzutowy jest w przybliżeniu taka sama jak prędkość

Tab. 1. Porównanie obu przypadków wypływu materiału z bębna zrzutowego, dla $\beta_t = \alpha$ i $\beta_t < \alpha$
 Tab. 1. Comparison of both cases of materials outflow from discharge drum, for $\beta_t = \alpha$ i $\beta_t < \alpha$

Wariant $\beta_t = \alpha$	Wariant $\beta_t < \alpha$
1. kąt pochylenia strumienia materiału za węzłem zrzutowym $\beta_t = \alpha = 15$ [°], 2. warunki brzegowe do wyznaczenia stałej całkowania C_w : $\varphi = \alpha = 15$ $h_m = \frac{\dot{m}}{\rho v_t B} = \frac{350}{850 \cdot 3,15 \cdot 1} = 0,1306954$ $R(\varphi) = R(\alpha) = R_0 = r_b + 0,5h_m = 0,25 + 0,5 \cdot 0,1306954 = 0,3153477$ $v(\varphi) = v(\alpha) = v_0 = v_t = 3,15$ $A(\varphi) = A(\alpha) = A_0 = \frac{\dot{m}}{v(\alpha)\rho} = \frac{\dot{m}}{v_t \rho} = h_m B = 0,1306954 \cdot 1 = 0,1306954$ - warunek pozwalający na wyznaczenie prędkości materiału za węzłem zrzutowym:	1. kąt pochylenia strumienia materiału za węzłem zrzutowym $\beta_t < \alpha = 14,30$ [°], 2. warunki brzegowe do wyznaczenia stałej całkowania C_w : $\varphi = \alpha = 15$ $h_m = \frac{\dot{m}}{\rho v_t B} = \frac{350}{850 \cdot 3,15 \cdot 1} = 0,1306954$ $R(\varphi) = R(\alpha) = R_0 = r_b + 0,5h_m = 0,25 + 0,5 \cdot 0,1306954 = 0,3153477$ $v(\varphi) = v(\alpha) = v_0 = v_t = 3,15$ $A(\varphi) = A(\alpha) = A_0 = \frac{\dot{m}}{v(\alpha)\rho} = \frac{\dot{m}}{v_t \rho} = h_m B = 0,1306954 \cdot 1 = 0,1306954$ - warunek pozwalający na wyznaczenie prędkości materiału za węzłem zrzutowym:
$\varphi = \varphi_w = \beta_t = 15$ 3. szacowanie wartości liczbowej prędkości v_w : - w pierwszym kroku przybliżenia: $h_m = \frac{\dot{m}}{\rho v_t B} = \frac{350}{850 \cdot 3,15 \cdot 1} = 0,1306954$ $R_{w1} = R_{\beta t1} = r_b + 0,5h_m = 0,25 + 0,5 \cdot 0,1306954 = 0,3153477$ $\delta_{v_w} = 0,01 = 1$ [%], $C_{w1} = e^{-2\mu_{xs}\alpha} \left\{ v_p^2 - \frac{2gR_{\beta t1}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \alpha (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \alpha] - \frac{2gR_{\beta t1}\sigma_a}{\gamma h_m} \right\}$ $C_{w1} = 2,5684197 \left[\frac{m^2}{s^2} \right]$ $v_{w1} = \sqrt{C_{w1} e^{2\mu_{xs}\beta_t} + \frac{2gR_{\beta t1}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \beta_t (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \beta_t] + \frac{2gR_{\beta t1}\sigma_a}{\gamma h_m}}$ $v_{w1} = 3,15 \left[\frac{m}{s} \right]$ $\left \frac{v_{w1} - v_0}{v_{w1}} \right \cdot 100 \leq \delta_{v_w}$ $\left \frac{3,15 - 3,15}{3,15} \right \cdot 100 = 0 < \delta_{v_w}$	$\varphi = \varphi_w = \beta_t = 14,30$ 3. szacowanie wartości liczbowej prędkości v_w : - w pierwszym kroku przybliżenia: $h_m = \frac{\dot{m}}{\rho v_t B} = \frac{350}{850 \cdot 3,15 \cdot 1} = 0,1306954$ $R_{w1} = R_{\beta t1} = r_b + 0,5h_m = 0,25 + 0,5 \cdot 0,1306954 = 0,3153477$ $\delta_{v_w} = 0,01 = 1$ [%], $C_{w1} = e^{-2\mu_{xs}\alpha} \left\{ v_p^2 - \frac{2gR_{\beta t1}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \alpha (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \alpha] - \frac{2gR_{\beta t1}\sigma_a}{\gamma h_m} \right\}$ $C_{w1} = 2,5684197 \left[\frac{m^2}{s^2} \right]$ $v_{w1} = \sqrt{C_{w1} e^{2\mu_{xs}\beta_t} + \frac{2gR_{\beta t1}}{4\mu_{xs}^2 + 1} [\cos \beta_t (2\mu_{xs}^2 + 1) + \mu_{xs} \sin \beta_t] + \frac{2gR_{\beta t1}\sigma_a}{\gamma h_m}}$ $v_{w1} = 3,1429339 \left[\frac{m}{s} \right]$ $\left \frac{v_{w1} - v_0}{v_{w1}} \right \cdot 100 \leq \delta_{v_w}$ $\left \frac{3,1429339 - 3,15}{3,1429339} \right \cdot 100 = 0,2248256 < \delta_{v_w}$

taśmy, a kąt wypływu jest taki sam jak kąt pochylenia przenośnika. W dalszej części przeprowadzona zostanie analiza potwierdzająca powyższe założenie z zastosowaniem proponowanego rozwiązania oraz analiza zmian prędkości wypływu kohezynego materiału ziarnistego z węzła zrzutowego, w przypadku niewielkich zmian kąta wypływu materiału za węzłem. W obu przypadkach zostanie również przeanalizowana zmiana wydatku masowego, która wpływa na przebiegi procesów produkcyjnych. Analizę wykonano przy założeniu że przepływ materiału ma charakter ustalony. Tabela 1 zawiera porównanie obu omówionych powyżej przypadków, dla których proces przemieszczania materiału $\dot{m}$ w węźle charakteryzuje się następującymi parametrami:

- wymagany wydatek masowy $\dot{m} = 350$ [kg/s],
- prędkość taśmy $v_p = 3,15$ [m/s]
- szerokość taśmy $B_t = 1$ [m],

- promień bębna $r_b = 0,25$ [m],
- kąt pochylenia taśmy przenośnika $\alpha = 15$ [°],
- przyspieszenie ziemskie $g = 9,81$ [m/s²],
- gęstość usypowa materiału $\rho = 850$ [kg/m³],
- adhezja $\sigma_a = 300$ [N/m²],
- ciężar właściwy $\gamma = 8340$ [N/m³],
- współczynnik tarcia dla warunków statycznych $\mu_{xs} = 0,50$.

W przypadku wariantu $\beta_t = \alpha$ (tab. 1) otrzymane przybliżenie liczbowej wartości prędkości jest wystarczające, ponieważ błąd jej wyznaczenia jest mniejszy od 1% równy 0% co oznacza, że dla kąta wypływu materiału równego kątowi pochylenia taśmy prędkość materiału opuszczającego węzeł będzie taka sama jak prędkość taśmy, a więc proponowane równanie jest słuszne. Dla wariantu $\beta_t < \alpha$ (tab.1) otrzymane przybliżenie liczbowej wartości prędkości również jest wystarczające, po-

nieważ błąd jej wyznaczenia jest mniejszy od 1%. Wykazano jednak, że niewielka zmiana kąta strugi materiału za bębniem powoduje zmianę jego prędkości. Zmiana ta będzie powodowała również zmianę wydatku masowego. W takim przypadku należy sprawdzić, jak zmiana ta wpłynie na jego wielkość przy takiej samej wartości h_m :

$$\dot{m} = \rho v_t B h_m$$

$$\dot{m} = 850 \cdot 3,142339 \cdot 1 \cdot 0,1306954$$

$$\dot{m} = 349,2148756 \approx 349 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Wartość wydatku masowego w porównaniu z wartością założoną zmniejszy się o około 1 [kg/s]. Z punktu widzenia procesu produkcyjnego różnica ta jest niewielka, jednakże należy zwrócić uwagę na to że zmiana wydatku występuje.

Wnioski

Przedstawiony tu model teoretyczny oraz możliwości jego zastosowania w analizie wypływu kohezijnego materiału

Literatura

- [1] Cyganiuk J.A., *Modelowanie stacjonarnych przepływów strumieni materiałów ziarnistych w węzłach przesypowych transportu przenośnikowego*, Rozprawa Doktorska, Raport z serii PRE, nr 8/06, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2006
- [2] Cyganiuk J., *Modelowanie przepływu strumieni materiałów ziarnistych we współpracujących węzłach przesypowych systemów transportu przenośnikowego*, Górnictwo Odkrywkowe nr 3-4, 2007
- [3] Korzeń Z., *Stany naprężenia i warunki plastycznego płynięcia materiałów sypkich*, II Sympozjum Naukowo – Przemysłowe Składowanie i transport technologiczny materiałów sypkich w przemyśle, Wrocław – Rydzyna 2000
- [4] Korzeń Z., *Mechanics of bulk solid stream flow in throwing belt conveyors*, vol.10 nr 1, February 1990, s. 55-64
- [5] Korzeń Z., *Mechanics of belt conveyor discharge process as affected by air drag*, bulk solids handling, vol. 9 nr 3, August 1989, s. 289-297

Artykuł recenzowali prof. dr hab. inż. Dionizy Dudek

doc. dr inż. Andrzej Figiel

Rękopis otrzymano 11.08.2011 r. *2225

ziarnistego II i III grupy z bębna przenośnika z taśmą wznoszącą, pozwala na przewidywanie parametrów procesu transportowego. Konstruktor węzła zrzutowego może analizować zarówno kinematyczne jak i dynamiczne warunki przepływu oraz warunki oddziaływania materiału z taśmą przenośnika (współczynnik tarcia i adhezja). W szczególności może on na podstawie uzyskanych z obliczeń danych dokonać oceny wielkości wydatku masowego, a tym samym rozpatrzyć możliwe zmiany prędkości za węzłem zrzutowym, wpływające na ten wydatek. Proponowane rozwiązania mogą być przydatne zarówno w fazie projektowania linii transportowej, jak i w trakcie jej eksploatacji. Projektant może również analizować warunki geometryczne węzła zrzutowego i rozpatrywać wpływ tych warunków na przepływ materiału ziarnistego. Może on także za pomocą proponowanych rozwiązań analizować prędkość materiału za węzłem zrzutowym, czyli np. materiału dopływającego do kolejnego węzła przesypowego, jakim może być np. węzeł odbojowy, co szerzej opisano w [2].



Cykl: prolog do konstrukcji...