

TRANSPORT PRZENOŚNIKOWY

a) przenośniki cięgnowe (taśmowe, kubelkowe, zabierakowe, członowe)

b) bezciągnowe (wibracyjne, grawitacyjne, śrubowe, przepływowe)

Budowa

Podstawy projektowania

Eksploatacja



.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Systemy transportu przenośnikowego – podział przenośników

Przenośniki - środek transportu bliskiego o ograniczonym zasięgu i ruchu ciągłym służący do przemieszczania materiałów (np. surowców, półfabrykatów, podzespołów) w stanie sypkim luzem lub w postaci ładunków jednostkowych wzdłuż ściśle określonej trasy.

Podział przenośników

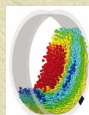
- a) ze względu na organ przemieszczający materiał transportowany:
1- **ciągnowe**, 2- **bezcągnowe**, 3 -z **ośrodkiem pośredniczącym**
- b) ze względu na cechy konstrukcyjno-użytkowe:
 - w grupie cięgnowych: taśmowe, członowe, kubelkowe, zabierakowe, ciągnąco-niosące
 - w grupie bezciągnowych: wałkowe oraz krążkowe nienapędzane i napędzane, śrubowe (ślimakowe), wstrząsowe, wibracyjne, miotające,
 - w grupie z ośrodkiem pośredniczącym: pneumatyczne, hydrauliczne,
- c) ze względu na sposób działania: przemieszczające materiał ciągłą strugą lub w sposób pulsacyjny (okresowy)
- d) ze względu na układ i ukształtowanie trasy: o trasie liniowej poziomej lub wielopoziomowej, o trasie ukształtowanej w różnych kierunkach i poziomach, złożonej z odcinków poziomych, pochyłych i łukowych

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Charakterystyka techniczna transportowanych materiałów sypkich, ziarnistych, brylowych i sztukowych - tzw. transport materiałów luzem

Podstawowe cechy materiałów, z uwagi na możliwość ich transportowania luzem:

- gęstość usypowa i kąt naturalnego usypu
- współczynnik tarcia (wewnętrzny i zewnętrzny)
- granulacja, wilgotność, twardość
- własności korodujące i trujące
- własności samozapalające i wybuchowe
- skłonność do zlegania się (do tworzenia zasklepień)
- skłonność do zlepiania i do zbijania się
- skłonność do zamarzania



.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Charakterystyka techniczna transportowanych materiałów sypkich, ziarnistych, bryłowych i sztukowych - tzw. [transport materiałów luzem](#)

Gęstość usypowa ρ – to masa jednostki objętości materiału swobodnie usypanego, zależy od ziarnistości (granulacji) cząstek materiału i stanu wilgotności, w przypadku materiałów kawałkowych i ziarnistych ze zmniejszaniem cząstek materiału obniża się jego gęstość usypowa, w wyniku zagęszczania materiału powodowanego równomiernym ściskaniem, gęstość usypowa może zwiększyć się (np. w przypadku materiałów suchych i dobrze sypanych się o 5-10% oraz w przypadku materiałów wilgotnych, higroskopijnych i zbijających się o 30-50%).

Znajomość gęstości usypowej transportowanego materiału jest jedną z podstawowych informacji niezbędnych do wyznaczania wydajności urządzeń transportowych.

Transportowane materiały w zależności od wartości gęstości usypowej, zwykle dzieli się na:

- lekkie, dla których $\rho \leq 0,6$ [t/m^3],
- średnie: $0,6 < \rho \leq 1,1$ [t/m^3],
- ciężkie: $1,1 < \rho \leq 2,0$ [t/m^3],
- bardzo ciężkie: $\rho > 2,0$ [t/m^3].

Kąt naturalnego usypu materiału ϕ_u – to kąt nachylenia tworzącej stożka względem jego podstawy, usypanego na płaszczyźnie poziomej, jego wartość zależy od składu granulometrycznego materiału, wilgotności, temperatury i skłonności do zlepiania się. Wyróżnia się kąty naturalnego usypu w spoczynku oraz kąt naturalnego usypu w ruchu ($\phi_{u-ruch} \approx 50-70\% \cdot \phi_{u-spoczynek}$).

Charakterystyka techniczna transportowanych materiałów sypkich, ziarnistych, bryłowych i sztukowych - tzw. [transport materiałów luzem](#)

Podział materiałów z uwagi na granulację i jednorodność cząstek

Jednorodność cząstek materiału pod względem wielkości - określa się stosunkiem wymiaru cząsteczki największej a_{max} do wymiaru cząsteczki najmniejszej a_{min} :

$$K = a_{max}/a_{min};$$

- ▶ jeśli $K > 2,5$ to materiał uważa się za niesortowany,
- ▶ jeśli $K \leq 2,5$ to uznaje się że jest to materiał sortowany (jednorodny)

Materiały sortowane określa się według średnich wielkości kawałków definiowanej następująco:

$$a = (a_{max} + a_{min})/2$$

Granulacja materiału oznacza liczbowe określenie cząstek materiału wg ich wielkości; wielkość cząstek określa się największym wymiarem długości mierzonym po przekątnej prostopadłościąnu stanowiącego obrys danej cząstki:

- pyliste $a \leq 0,05$ [mm] (np. cement portlandzki)
- proszkowe $0,05 < a \leq 0,5$ [mm] (np. miazki piasek)
- ziarniste $0,5 < a \leq 10$ [mm] (np. drobny żwir)
- drobnokawałkowe $10 < a \leq 50$ [mm] (np. żwir)
- średniokawałkowe $50 < a \leq 150$ [mm] (np. węgiel)
- wielokawałkowe $150 < a \leq 300$ [mm] (np. ruda)
- bryłowe $a > 300$ [mm] (np. głazy)

Charakterystyka techniczna transportowanych materiałów sypkich, ziarnistych, bryłowych i sztukowych - tzw. [transport materiałów luzem](#)

Podział z uwagi na ścierające oddziaływanie transportowanych materiałów na elementy konstrukcyjne przenośników:

- materiały nieścierające (np. talk)
- mało ścierające (np. szpat wapienny)
- średnio ścierające (np. koncentrat apatytowy)
- bardzo ścierające (np. granit)

Wybrane własności podstawowych materiałów transportowanych luzem:

Nazwa materiału	Gęstość usypowa ρ [t/m^3]	Kąt naturalnego usypu ϕ_u [$^\circ$]	Współczynnik tarcia po stali μ
Cement portlandzki	1,2 + 1,8	20	0,8 + 0,9
Piasek formierski	1,2 + 1,6	30 + 40	0,71
Węgiel kamienny	0,8 + 1,0	45	0,7
Węgiel brunatny	0,45 + 0,75	30 + 40	0,6 + 0,7

Schemat blokowy – klasyfikacja ogólna przenośników

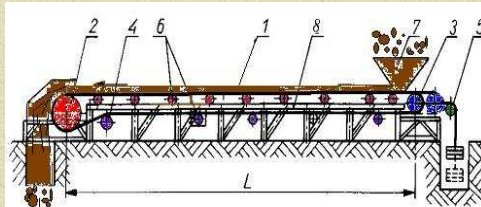


Przenośniki taśmowe – charakterystyka techniczno-eksploatacyjna

Przenośniki taśmowe należą do podstawowych, powszechnie stosowanych środków transportu bliskiego (ograniczony zasięg) materiałów sypkich i rozdrobnionych.

Dzięki wielu zaletom: prosta budowa, łatwość obsługi i automatyzacji, możliwość pokonywania dużych odległości (pojedyncze przenośniki do 30 km) i nachyleń oraz osiągnięcia znacznych wydajności (do 40[t/h]), wysoka niezawodność i bezpieczeństwo pracy, łatwy załadunek i rozładunek w dowolnym miejscu oraz dostosowanie do ukształtowania podłoża – stosuje się je powszechnie w górnictwie, hutnictwie, energetyce, w zakładach chemicznych, w portach, na placach składowych i przeładunkowych.

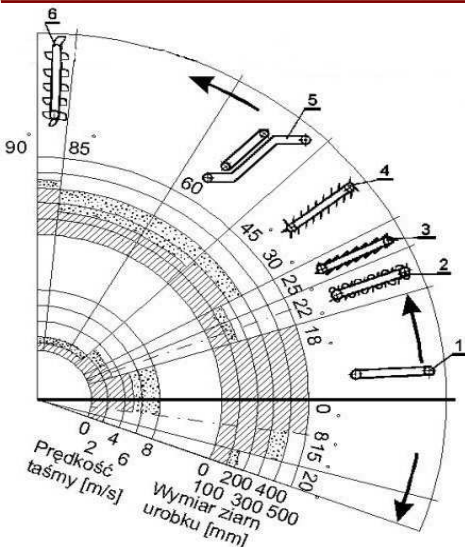
Do ich budowy stosowane są **taśmy połączone w pętle**, podparte na rolkach zwanych **krążnikami nośnymi**, a wzdłuż trasy prowadzone krążnikami centrującymi. Ruch taśmy wymusza **napędzany elektrycznie bęben**. W przypadku transportu materiałów sypkich przenośnik wyposażony jest w urządzenia czyszczące, a taśma posiada poprzeczki ułatwiające transport pod większymi kątami.



Przykładowy schemat stacjonarnego przenośnika:

- 1- taśma, 2- bęben napędowy (lub zrzutowy), 3- bęben zwrotny, 4- bęben kierujący, 5- zespół napinający, 6- zespół krążników podtrzymujących taśmę, 7- kosz zasypowy, 8- konstrukcja wsporcza

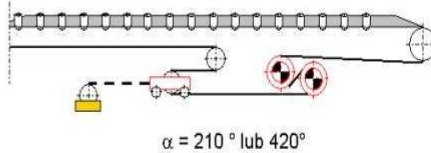
Przenośniki taśmowe - zakres zastosowań technicznych różnych typów



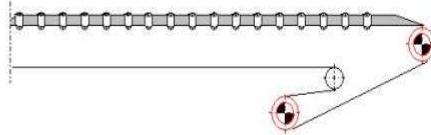
1. wznoszące z gładką taśmą dla nachyleń do 18° (w specjalnych wykonaniach do 20°)
- 1.1. opadające z gładką taśmą dla nachyleń do 15° (w specjalnych wykonaniach do 20°)
2. z taśmą o okładce profilowanej (dla nachyleń od 18° do 25°)
3. z nawulkanizowanymi występnymi na taśmie (dla nachyleń od 25° do 30°)
4. z taśmą korytową z progami (dla nachyleń od 30° do 45°)
5. z taśmą gładką i dodatkową taśmą dociskową (dla nachyleń od 45° do 60°)
6. z taśmą gładką i przymocowanymi do niej kubelkami (dla nachyleń od 85° do 90°)

NAPĘDY PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH - wybrane konstrukcje

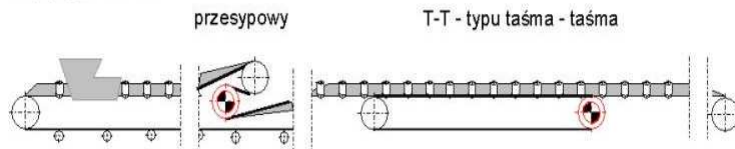
- jedno lub dwubębnowy z wysięgnikiem
/kopalnie podziemne węgla kamiennego/



- napęd czołowy dwubębnowy
/kopalnie węgla brunatnego/

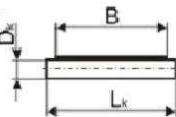


- napędy pośrednie

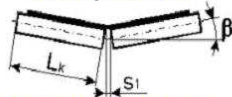


NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANE UKŁADY PROWADZENIA TAŚM PRZENOŚNIKÓW

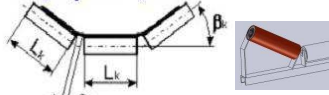
A) taśma w układzie płaskim



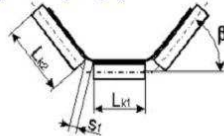
B) taśma w układzie nieckowym dwukrażnikowym



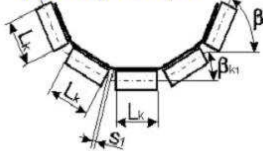
C) taśma w układzie nieckowym trójkrażnikowym



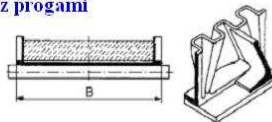
D) taśma w układzie nieckowym trójkrażnikowym głębokim



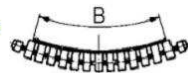
E) taśma w układzie nieckowym pięciokrażnikowym



F) taśma w układzie korytowym z progami



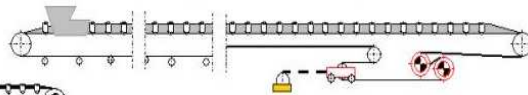
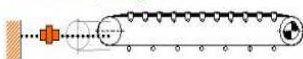
G) taśma w układzie nieckowym z rolkami nośnymi



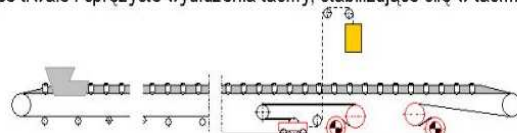
UKŁADY NAPINAJĄCE

- sztywne, uruchamiane okresowo, podczas postoju przenośnika - kompensuje trwałe wydłużenia taśmy

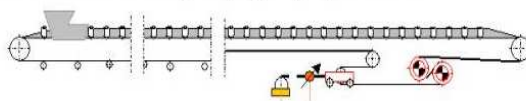
śrubowe, wciągarkowe



- ciężarowe, kompensujące trwałe i sprężyste wydłużenia taśmy, stabilizujące siłę w taśmie
- pneumatyczne
- hydrauliczne



- automatyczne, wyposażone w układ automatycznej regulacji siły w taśmie



- nadażne, kompensujące trwałe i sprężyste wydłużenia taśmy, regulujące wartość siły w taśmie w funkcji momentu napędowego

Zasada sprzężenia ciernego w przenośnikach taśmowych – (procedura obliczeń wg. PN – 93/M-46552) – zależności teoretyczne

$P = S_n - S_z$
 $\frac{S_n}{S_z} \leq e^{\mu \cdot \alpha}$ wzór Eulera
 $M_n = R_b \cdot P$
 $P_{max} = S_z \cdot e^{\mu \cdot \alpha} - S_z$
 $M_{max} = R_b \cdot S_z (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)$

α - kąt opasania bębnow napędowych [rad]
 μ - współczynnik tarcia między taśmą a bębniem
 P - siła napędowa (pociągowa) [N]
 $S_{z,n}$ - siła w taśmie zbieg. i nabiegającej [N]
 M - moment napędowy [Nm]
 R_b - promień bębna [m]

Użyteczna siła pociągowa bębna przy rozwiniętym tarcu

Sprzężenie ciernie umożliwia ruch taśmy i decyduje o możliwościach transportowych przenośnika taśmowego. Dla uzyskania dużych sił sprzężenia ciernego należy zapewnić odpowiedni nacisk taśmy na powierzchnię bębna napędowego przez jej naciąg za pomocą mechanizmów napinających. Napięcie taśmy powinno zapewnić dobre sprzężenie taśmy z bębniem i niezbyt duże jej ugięcie w części ładownej, by nie wystąpił „efekt skoczni” i zrzucanie materiału z taśmy, jak również nadmierne oddziaływanie dynamiczne na podpory kraźnikowe. Zbyt duże napięcie taśmy powoduje zmniejszenie trwałości zmęczeniowej taśmy, jej połączeń oraz bębnow i kraźników.

Użyteczną siłą pociągowa P_u :

$$P_u = P_{max} = S_z (e^{\mu \alpha} - 1)$$

Maksymalna siła w taśmie w fazach ruchu nieustalonego (rozruch, hamowanie)

$$S_{nr_max} = S_r \left(1 + \frac{k_p}{e^{\mu \alpha} - 1} \right)$$

gdzie: k_p – współczynnik zabezpieczenia przed poślizgiem;

a) dla bębna z płaszczem sztywnym podczas ruchu ustalonego $k_{pu} = 1,3$; podczas rozruchu $k_{pr} = 1,0(1,3)$, podczas hamowania $k_{ph} = 1,1$; b) dla bębna z okładziną elastyczną na płaszczu nośnym o grubości $h > 6mm$ podczas ruchu ustalonego $k_{pu} = 1,2$; podczas rozruchu $k_{pr} = 1,1$, podczas hamowania $k_{ph} = 1,1$;

Użyteczną siłę sprzężenia ciernego P_u można zwiększać trzema sposobami:

- 1) zwiększenie siły naciągu S_n (wpływ liniowy);
- 2) zwiększenie współczynnika sprzężenia μ (wpływ wykładniczy);
- 3) zwiększenie kąta opasania α (wpływ wykładniczy)

Obliczenia podstawowe przenośników taśmowych

Wydajność masowa: $Q = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \rho \cdot k_n \cdot k_z$

gdzie: F – pole przekroju nominalnego strugi nosiwa zależne od jego właściwości oraz geometrii niecki [m²]; v – prędkość taśmy [m/s]; ρ – gęstość usypowa nosiwa [t/m³]; k_n – współczynnik uwzględniający pochylenie trasy przenośnika (dla kąta $\alpha < 4^\circ \rightarrow k_n = 1,0$; dla $4^\circ < \alpha < 10^\circ \rightarrow k_n = 0,95$; dla $10^\circ < \alpha < 17^\circ \rightarrow k_n = 0,88$; dla $17^\circ < \alpha < 20^\circ \rightarrow k_n = 0,81$; k_z – współczynnik załadunku określający stopień wykorzystania przekroju nominalnego $k_z = 0,6 - 0,8$

Opory ruchu taśmy:

- a) opory główne (rozłożone w sposób ciągły wzdłuż przenośnika): opory wgniatania taśmy w kraźniki, opory ruchu kraźników, opory przeginania taśmy na kraźnikach, opory związane z deformacją strugi urobku na podporach kraźnikowych;
- b) opory skupione: opory w miejscu zasilania przenośnika urobkiem związane z jego przyspieszaniem, tarciami o ścianki ograniczeń bocznych oraz przeginaniem taśmy na bębnach
- c) opory związane z podnoszeniem urobku.

Podstawowe metody obliczeń:

- a) metoda oporów jednostkowych (wymaga znajomości poszczególnych oporów składowych – np. oporu przewijania taśmy na bębnach, wgniotu kraźnika w taśmę, itp., i daje dobre wyniki pod warunkiem znajomości poszczególnych oporów
- b) metoda podstawowa wyznaczania oporów łącznych przenośnika (wg DIN 22101), zalecana do obliczania konstrukcji przenośników o długości $L=60-1000m$ i nachyleniu trasy $\alpha < 15^\circ$

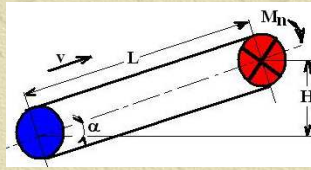
Obliczenia podstawowe przenośników taśmowych

Opory ruchu ciężna górnego: $W_g = C \cdot f \cdot g \cdot L \cdot (m_T + m_K + m_n) \cdot \cos \alpha$

Opory ruchu ciężna dolnego: $W_d = C \cdot f \cdot g \cdot L \cdot (m_T + m_D) \cdot \cos \alpha$

gdzie: C – współczynnik oporów skupionych (przykładowo dla $L=63\text{m} \rightarrow C=2.0$; dla $L=100\text{m} \rightarrow C=1.75$; dla $L=230\text{m} \rightarrow C=1.4$; dla $L=480\text{m} \rightarrow C=1.2$; dla $L=850\text{m} \rightarrow C=1.1$; dla $L=2000\text{m} \rightarrow C=1.045$)

f – współczynnik oporów głównych (wg tabel $f=0,0025-0,0033$), L – długość przenośnika, m_T – jednostkowa masa taśmy, m_K – masa krążników górnych przypadająca na 1 m długości taśmy, m_D – masa krążników dolnych przypadająca na 1 m długości taśmy, m_n – jednostkowa masa nosiwa, α – kąt pochylenia



gdzie:
 v – prędkość taśmy [m/s];
 Q – wydajność masowa [kg/s]

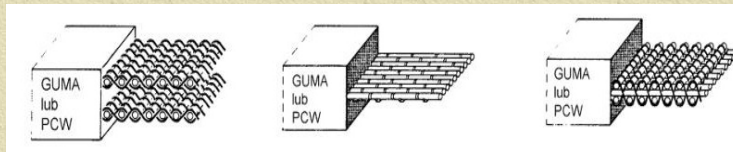
Opory podnoszenia nosiwa: $W_h = \frac{Q}{v} \cdot g \cdot H$

Opory całkowite w ruchu ustalonym: $W_c = W_g + W_d + W_h$

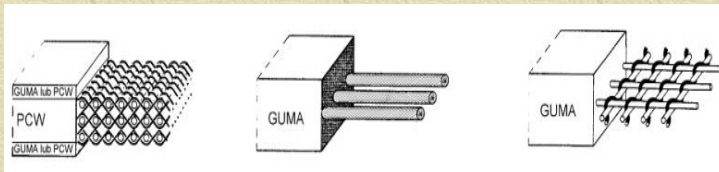
Moc zespołu napędowego w fazach napędzania oraz hamowania: $N_r = \frac{W_c \cdot v}{\eta_r}$ oraz $N_h = W_c \cdot v \cdot \eta_h$

gdzie: $\eta=0,82-0,87$ dla sprzęgła hydrokinetycznego, $\eta=0,90-0,92$ dla sprzęgła podatnego

STOSOWANE KONSTRUKCJE RDZENI TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH



- tkaninowy
- kordowy
- tkaninowy z osnową ułożoną prostoliniowo



- jednolicie tkany
- z linek stalowych
- z linek stalowych tworzących siatkę

Wytyczne eksploatacyjno-konstrukcyjne - dobór taśm przenośnikowych

1. **Szerokość taśmy:** ze względów ekonomicznych należy dążyć do zastosowania możliwie najwęższej taśmy. Minimalna szerokość taśmy wyznacza się uwzględniając wielkość transportowanych brył a_{max} (długość przekątnej graniastostłupa opisanego na bryle) i ich udział procentowy w całej masie.

2. **Prędkość taśmy:** prędkość taśmy ograniczona jest ze względu na jej trwałość i możliwość spadania brył z przenośnika w czasie transportu.

Małe prędkości taśmy stosuje się przy niekorzystnych właściwościach nosiwa takich jak: silnie ścierające ostro krawędziowe ziarna, lub bryły i nosiwa ciężkie, drobne i lekkie czułe na wpływy zewnętrzne.

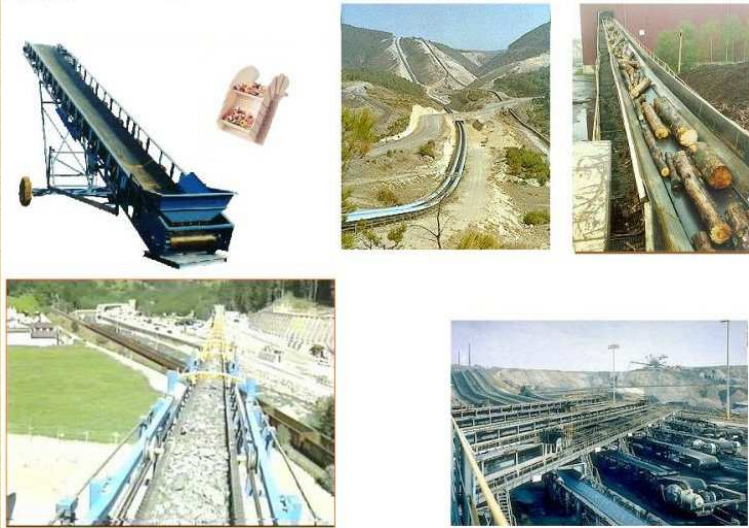
Duże prędkości taśmy można zastosować przy odstawie nosiwa nie ścierającego lub mało ścierającego, średniej gęstości lub o średnim uziarnieniu. Duże prędkości przy stałej prędkości przenośnika powodują wzrost wydajności.

W większości przemysłowych realizacji przenośników stosuje się małe i umiarkowane prędkość jedynie w górnictwie odkrywkowym potrzeba bardzo dużych wydajności wymusza stosowanie dużych prędkości taśm w przenośnikach. Małe prędkości taśm przy stałej wydajności wymagają zastosowania szerszych taśm, lepiej układających się w nieckę. Zwiększonym napięciem taśmy odpowiada mniejsze zużycie ścierne taśmy i mniejsze rozdrobnienie nosiwa.

$$K_n \geq \frac{S_{max_r} \cdot k_e \cdot k_b}{B}$$

gdzie: S_{max_r} – maksymalna siła w taśmie w czasie rozruchu, $S_{max_r} = (1.3-3.0) \cdot S_{max_{st}}$, B – szerokość taśmy, k_e – współczynnik bezpieczeństwa $k_e=3.8-4.0-4.2$ – dla warunków dobrych – przeciętnych – ciężkich; k_b – współczynnik spiętrzenia naprężeń w złączu $k_b=1.7-1.8-1.9$ – dla taśm wysokiej – średniej – niskiej jakości.

Przykłady zastosowań przenośników taśmowych



.....

.....

.....

.....

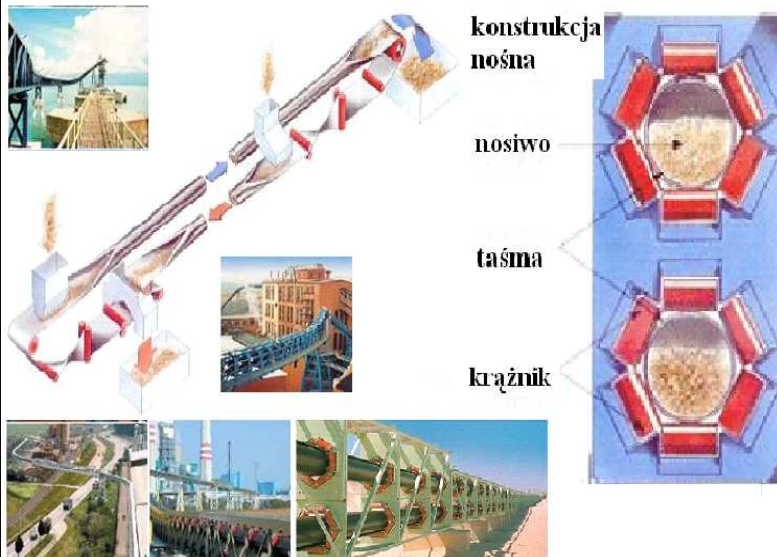
.....

.....

.....

.....

PRZENOŚNIK TAŚMOWY RUROWY



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

PRZENOŚNIKI KUBELKOWE



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

PRZENOŚNIKI DRAJĄCE - PODZIAŁ OGÓLNY

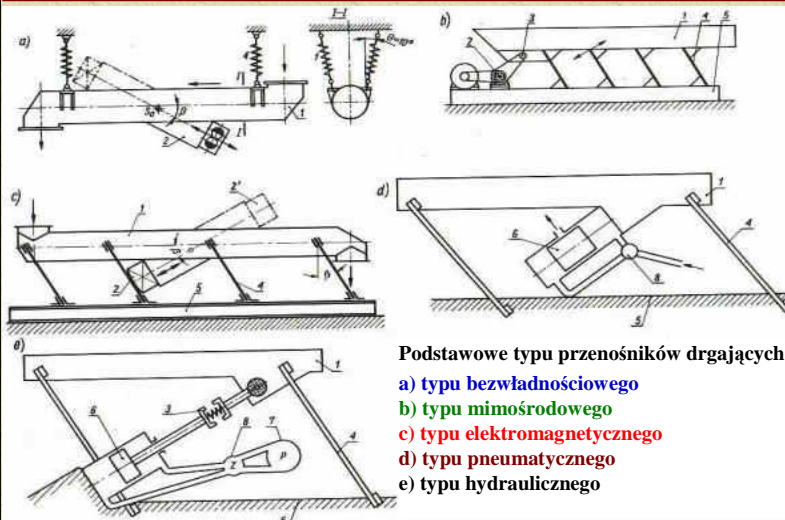
Przenośniki wstrząsowe są to przenośniki przemieszczające materiały luzem pod działaniem ruchów wahliwych lub drgań rynny. Rozróżnia się:

- **przenośniki wstrząsowe**
o częstotliwości ruchów **0.7 do 7Hz** i amplitudzie **20 do 150mm**.
- **przenośniki wibracyjne**
o częstotliwości drgań **7 do 50Hz** i amplitudzie **0,5 do 15mm**.

PRZENOŚNIKI WIBRACYJNE – PODZIAŁ FUNKCJONALNY

1. w zależności od kierunku i poziomu przemieszczania rozróżniamy przenośniki: poziome, pochyle i pionowe.
2. ze względu na sposób umocowania koryta: podwieszane na swobodnych sprężystych podwieszakach i wsparte na pochylonych sprężystych podporach,
3. odnośnie do ilości jednocześnie drgających mas: jednomasowe, dwumasowe i wielomasowe,
4. według rodzaju dynamicznego wyważenia: niewyważone i wyważone,
5. z punktu widzenia ilości roboczych elementów: jednokorytowe i dwukorytowe,
6. z uwagi na charakterystykę sprężystych elementów: z systemem rezonansowym, dorezonansowym i zarezonansowym.

Podstawowe typu przenośników drgających

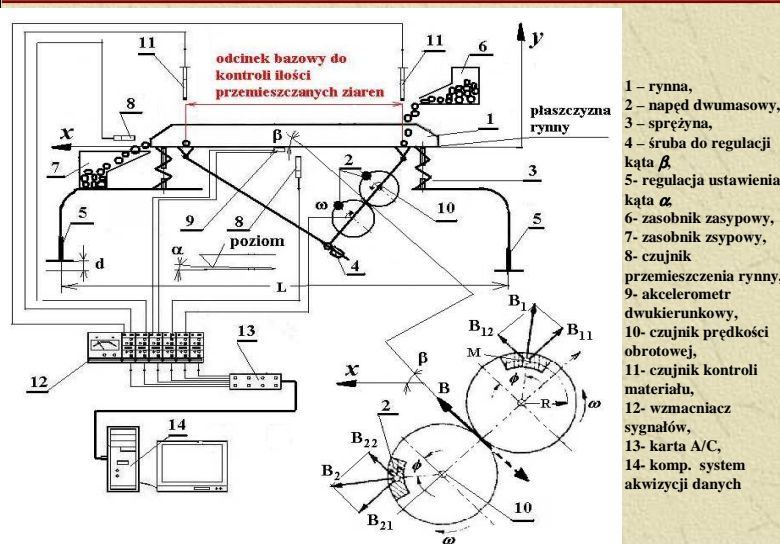


Podstawowe typu przenośników drgających

- a) typu bezwładnościowego
- b) typu mimośrodowego
- c) typu elektromagnetycznego
- d) typu pneumatycznego
- e) typu hydraulicznego

Podstawowe zespoły (opis): 1. rynna transportowa; 2. wibrator; 3. element sprężysty; 4. zawieszenie sprężyste; 5- rama wsporcza; 6. siłownik; 7. pompa; 8. rozrząd

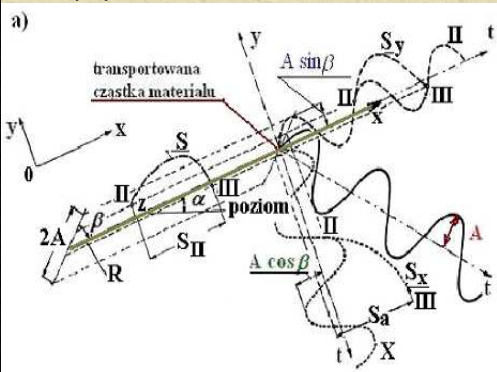
Przykładowy model przenośnika wibracyjnego typu bezwładnościowego



Zasada działania przenośników wibracyjnych

W działaniu przenośników wibracyjnych wykorzystywana jest zdolność do przemieszczania się cząstek transportowanego materiału na drgającej płaszczyźnie (rynnie).

W/w przenośniki wykorzystują drgania harmoniczne do przemieszczania materiału w rynnach prostych lub śrubowych. Materiał znajdujący się na powierzchni nośnej rynny przenośnika wibracyjnego, poddanej prostoliniowym drganiom harmonicznym na kierunku nachylonym względem osi pod kątem ostrym, jest okresowo podrzucany siłami bezwładności i przemieszczany wzdłuż rynny.



Na rys. obok przedstawiony jest ślad płaszczyzny R , która pokrywa się z dnem rynny przenośnika wibracyjnego.

Płaszczyzna R jest nachylona względem poziomu pod kątem α i wykonuje drgania harmoniczne o częstotliwości n i o amplitudzie A . Kierunek drgań jest nachylony do płaszczyzny R pod kątem β .

Rozkład drgań rynny przenośnika wibracyjnego na drgania składowe: styczne i normalne do powierzchni rynny.

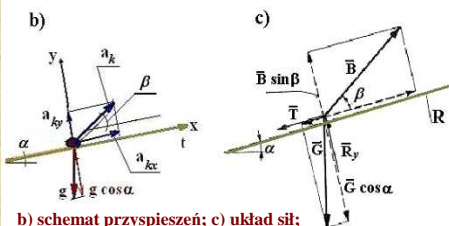
Model teoretyczny ruchu pojedynczego ziarna

Jeżeli drgania rynny rozłożymy na dwie składowe: styczną (wzdłuż osi Ox) oraz normalną (wzdłuż osi Oy), to wówczas przemieszczenie, prędkość oraz przyspieszenie będą odpowiednio wyrażone:

$$y = A \cdot \sin \beta \sin(2\pi n t) \quad \text{oraz} \quad x = A \cdot \cos \beta \sin(2\pi n t)$$

$$\dot{y} = 2\pi n A \cdot \sin \beta \cos(2\pi n t) \quad \text{oraz} \quad \dot{x} = 2\pi n A \cdot \cos \beta \cos(2\pi n t)$$

$$\ddot{y} = -4\pi^2 n^2 A \cdot \sin \beta \sin(2\pi n t) \quad \text{oraz} \quad \ddot{x} = -4\pi^2 n^2 A \cdot \cos \beta \sin(2\pi n t)$$



b) schemat przyspieszeń; c) układ sił;

α - kąt nachylenia rynny do poziomu,
 β - kąt nachylenia drgań,
 g - przyspieszenie ziemskie,
 t - czas,
 A - amplituda drgań w kierunku β ,
 a_k - przyspieszenie rynny w kierunku β ,
 a_{kx} - przyspieszenie rynny w kierunku x ,
 a_{ky} - przyspieszenie rynny w kierunku y ,
 A - amplituda drgań w kierunku β ,
 B - siła bezwładności,
 T - siła tarcia ziarna o rynnę w pierwszej fazie procesu jego przemieszczania

Pod wpływem drgań rynny, znajdujące się na niej ziarno zostaje podrzucane siłą bezwładności B i wykonuje skok lecąc po torze S . Ziarno startuje z punktu II i spada na rynnę w punkcie III . W czasie lotu przemieszcza się ono względem rynny w kierunku osi Ox na odległość III . Tor ziarna podobnie jak tor dowolnego punktu rynny można rzutować na obydwie osie współrzędnych.

Model teoretyczny ruchu pojedynczego ziarna

W ogólnym przypadku ruch ziarna składa się z czterech faz:

1. w pierwszej fazie ziarno jest nieruchome względem rynny, a więc przemieszcza się po tym samym torze co rynnę,
2. w drugiej fazie siła tarcia między ziarnem a rynną staje się mniejsza od siły bezwładności ziarna w kierunku osi Ox i ziarno ulega poślizgowi, przemieszczając się względem rynny tylko po jej powierzchni,
3. w trzeciej fazie składowa normalna przyspieszenia rynny staje się większa od normalnej składowej przyspieszenia ziemskiego, docisk ziarna do rynny maleje do zera i ziarna zaczynają lecieć swobodnie nad rynną,
4. czwarta faza następuje w chwili upadku ziarna na rynnę. W tym czasie prędkości ziarna i rynny różnią się zarówno co do wielkości, jak i kierunku. Występuje więc zderzenie i może nastąpić poślizg, aż do zrównania prędkości stycznych rynny i ziarna. Może także nastąpić odbicie ziarna od rynny.

Oderwanie ziarna od rynny, a więc koniec fazy drugiej i początek trzeciej następuje wtedy, kiedy docisk ziarna do rynny całkowicie zanika.

Siła ciężkości G działa pionowo w dół, siła bezwładności B w kierunku ruchu rynny i ma zwrot przeciwny do zwrotu przyspieszenia rynny, siła tarcia T działa stycznie do rynny i ma zwrot przeciwny do zwrotu prędkości ziarna względem rynny, jeżeli jest to pierwsza faza poślizgu, lub zwrot przeciwny do zamierzonego ruchu, jeżeli jest to druga faza ruchu. Siła R_y jest normalną reakcją rynny i definiuje się ją jako docisk ziarna do rynny.

Model teoretyczny ruchu pojedynczego ziarna

Siła bezwładności ziarna wyraża się zależnością: $B = \frac{G}{g} \cdot 4\pi^2 \cdot n^2 \cdot A \cdot \sin(2\pi \cdot n \cdot t)$

Siła bezwładności B ciała swoją składową normalną, stara się oderwać od rynny, przeciwdziała temu składowa normalna siły ciężkości G , a z warunku równowagi tych składowych wylicza się czas t_2 odpowiadający początkowi fazy trzeciej, tj. fazy lotu swobodnego ciała:

$$t_2 = \frac{1}{2\pi \cdot n} \cdot \arcsin \frac{1}{K}$$

gdzie: K - współczynnik podrzutu
(K - jest wielkością charakterystyczną dla przenośników wibracyjnych)

$$K = \frac{4\pi^2 \cdot n^2 \cdot A \cdot \sin \beta}{g \cdot \cos \alpha}$$

Podrzut materiału na rynnę występuje tylko wtedy, kiedy $K > 1$

W momencie upadku ziarna na rynnę (czas t_3) wychylenie ziarna i rynnę w kierunku normalnym są równe i wobec powyższego możliwym jest wyznaczenie czasu t_3 :

$$t_3 = \frac{m}{n} + \frac{1}{2\pi n} \arcsin \frac{1}{K}$$

gdzie: m - jest współczynnikiem długości lotu, który określa stosunek czasu swobodnego lotu ziarna do okresu drgań rynnę T_R .

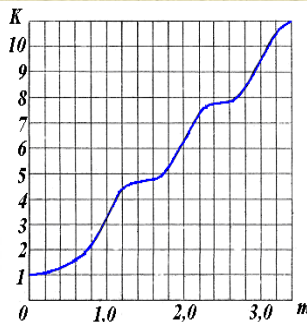
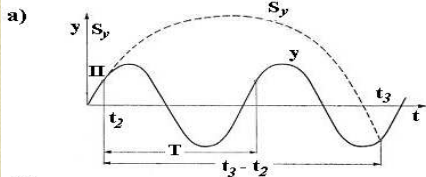
Model teoretyczny ruchu pojedynczego ziarna

Współczynnik podrzutu można wyrazić również zależnością

Dla potrzeb praktyki inżynierskiej, przy wyznaczaniu współczynnika podrzutu K , można korzystać z wykresu:

$$K = \sqrt{\left(\frac{\cos 2\pi \cdot m + 2\pi^2 \cdot m^2 - 1}{2\pi \cdot m - \sin 2\pi \cdot m}\right)^2 + 1}$$

Przy odpowiednio dużym współczynnikiem podrzutu K , wartość m może być większy od jedności, a zatem czas lotu może być większy od okresu drgań rynnę T_R (np. rys poniżej przedstawia przypadki, kiedy czas lotu jest wielokrotnością okresu drgań rynnę).



Wykres funkcji $K(m)$

Wykres normalnych składowych przemieszczenia ziarna przy różnych wartościach K i m

Model teoretyczny ruchu pojedynczego ziarna

Na podstawie analizy ruchu ciała po rynnę przenośnika wibracyjnego uzyskuje się następująca zależność na długość drogi jego lotu swobodnego si:

$$s_l = \frac{g \cdot m^2}{2 \cdot n^2} \cdot (\cos \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta - \sin \alpha)$$

a średnia prędkość transportowania pojedynczego ziarna wynosi:

$$v_{sr} = \frac{s_l}{p \cdot T} = \frac{g \cdot m^2}{2 \cdot p \cdot n} \cdot (\cos \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta - \sin \alpha)$$

W przypadku transportowania warstwy materiału, wprowadza się współczynnik ξ uwzględniający takie zjawiska, jak poślizgi materiału, nierównomierna prędkość na różnych głębokościach warstwy, opory powietrza, itp.. Zatem średnia prędkość transportowania warstwy materiału wynosi:

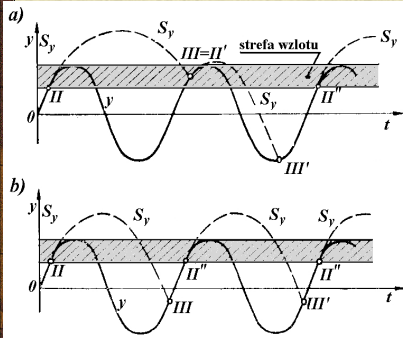
$$v_{sr m} = \xi \cdot \frac{g \cdot m^2}{2 \cdot p \cdot n} \cdot (\cos \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta - \sin \alpha)$$

a średnia wydajność masowa przenośnika wibracyjnego: $Q = \rho_n \cdot F \cdot v_{sr m}$

gdzie: ρ_n - gęstość nasypana, $[t/m^3]$, F - pole powierzchni warstwy transportowanego materiału, $[m^2]$, p - pierwsza z kolei liczba naturalna większa od m

Model teoretyczny ruchu pojedynczego ziarna

Z analizy w/w podanych zależności wynika, że średnią prędkość ziarna, a tym samym wydajność masową nie można wyznaczać dla wszystkich wartości stosunku K . Nie można w/w zależności stosować, jeżeli lot ziarna jest stosunkowo krótki i w ruchu ziarna przeważają poślizgi, a więc kiedy stosunek K jest bliski jedności. Ponadto zależności nie można stosować, kiedy ziarno po odbiciu się od rynny spada na nią w tzw. „strefie wlotu”.



Wykres normalnych składowych przemieszczenia ziarna: a) ładowanie w strefie wlotu, b) ładowanie poniżej strefy wlotu

Powyżej punktów II wg. rys. a w obszarze zakreślanym – czyli w strefie wlotu, ziarno opadające na koryto musi się natychmiast poderwać do następnego lotu. Ponieważ jednak, im wyżej znajduje się koryto (punkt III), tym jego prędkość jest mniejsza i ziarno otrzyma mniejszą prędkość początkową, a zatem i lot będzie krótszy. W ten sposób ruch materiału będzie składał się na przemian z długich i krótkich skoków (rys. a).

Na podstawie analizy w/w zależności, wynika, że materiał zawsze spada poniżej strefy wlotu, gdy $1 < K < 3,3$ (dla przenośników jednokorytowych, typu lekkiego, podpartych lub podwieszonych, z napędem bezwładnościowym, należy odpowiednio stosować: - przy materiałach proszkowych i pylistych $K \approx 3,0 + 3,3$ oraz - przy materiałach ziarnistych i kawałkowych $K \approx 2,8 + 3,0$).

Przykłady zastosowań przenośników wibracyjnych



Literatura

- [1] Czubak A., „Przenośniki wibracyjne”, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1964.
- [2] Czubak A., Michalczyk J., „Teoria transportu wibracyjnego”, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001.
- [3] Goździcki M., Świątkiewicz., „Przenośniki”, WNT, wyd. 2, Warszawa 1979.
- [4] Markowski M., „Przenośniki cz.2” Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej wyd.3 Łódź 1995
- 4] Furmanik K.: Transport przenośnikowy. UWND Kraków 2008

