

dr inż. PIOTR SOBOTA
mgr inż. ANNA BUJNOWSKA
Politechnika Śląska
Instytut Mechanizacji Górnictwa
Wydział Górnictwa i Geologii

Wpływ konfiguracji napędów na obciążenie łańcucha zgrzeblowego w miejscu zbiegania z bębna napędu zwrotnego w przenośniku ścianowym

Konieczność dojazdu kombajnu ścianowego do końca ściany przy napędzie zwrotnym wymusza zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych skracających długość kadłuba napędu zwrotnego. Łańcuch zgrzeblowy zbiegający z bębna łańcuchowego napędu zwrotnego wprowadzany jest na krótkim odcinku do gałęzi górnej rynnościogu przez ślizgi prowadzące zgrzebla. Docisk zgrzebel do ślizgów prowadzących powoduje wzrost oporów ruchu łańcucha oraz zużywanie się ślizgów i wzrost ich temperatury. Jednym z najprostszych sposobów znaczącego zmniejszenia zużycia ślizgów może być zastosowanie w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych zamiast trzech, tylko dwóch zespołów napędowych – po jednym w napędzie wysypowym i w napędzie zwrotnym, przy tej samej mocy sumarycznej zainstalowanej w przenośniku. Z analizy rozkładu wartości obciążeń statycznych wzdłuż konturu łańcucha zgrzeblowego wynika możliwość zmniejszenia wartości siły w łańcuchu zbiegającym z bębna napędu zwrotnego, co jest zaletą takiej konfiguracji napędów.

1. WPROWADZENIE

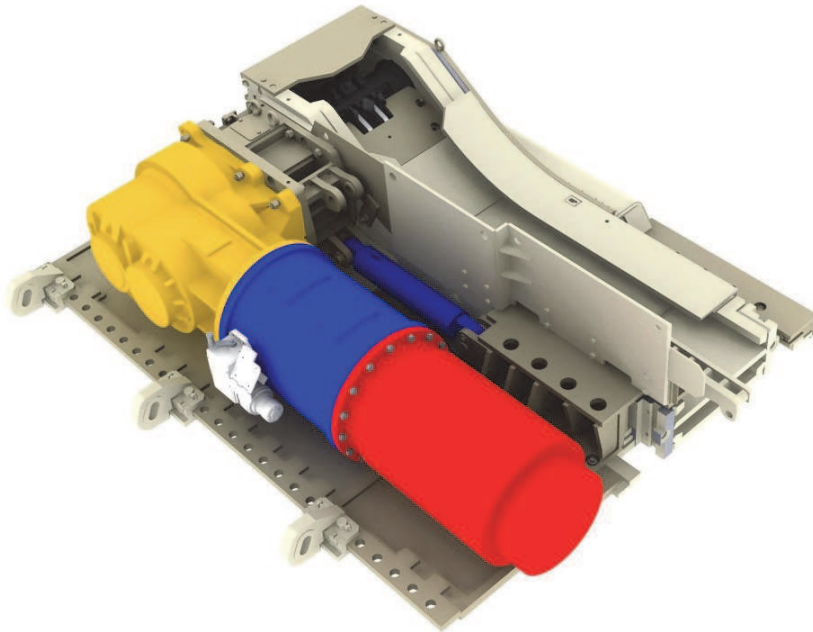
Stosowane w górnictwie węgla kamiennego ścianowe przenośniki zgrzeblowe wyposażone są w dwa napędy: wysypowy i zwrotny, co w długich przenośnikach ścianowych pozwala na zmniejszenie wartości maksymalnych obciążeń statycznych w łańcuchu zgrzeblowym. Konfiguracja napędu zwrotnego musi przy tym uwzględniać możliwości dojazdu kombajnu ścianowego do końca ściany, co przy bezwzniekowej eksploatacji związane jest z koniecznością minięcia kadłuba napędu zwrotnego przenośnika przez ramię wychylne wraz z organem urabiającym kombajnu. Z tego względu w napędach zwrotnych przenośników ścianowych stosuje się wyłącznie pojedyncze zespoły napędowe (rys. 1). Natomiast napęd wysypowy prze-

nośnika ścianowego najczęściej wyprowadzony jest do chodnika podścianowego, co umożliwia zastosowanie w nim jednego lub dwóch zespołów napędowych. W związku z powyższym znacząca większość ścianowych przenośników zgrzeblowych w polskich kopalniach węgla kamiennego wyposażona jest w trzy silniki napędowe – dwa w napędzie wysypowym i jeden w napędzie zwrotnym. Przy zastosowaniu silników jednakowej wielkości moc zainstalowana w napędzie wysypowym jest w tym przypadku dwukrotnie wyższa niż w napędzie zwrotnym.

Możliwość dojazdu kombajnu ścianowego do końca ściany przy napędzie zwrotnym wymusza zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych skracających długość kadłuba napędu zwrotnego. Łańcuch zgrzeblowy zbiegający z bębna łańcuchowego napędu zwrotnego wprowadzany jest na krótkim odcinku do

gałęzi górnej rynnociągu przez ślizgi prowadzące zgrzebla (rys. 1). Kształt ślizgów zależy przy tym od wysokości kadłuba napędu zwrotnego zdeterminowanej liczbą zębów bębna łańcuchowego. Zastosowanie bębnow łańcuchowych o dużej liczbie zębów jest korzystne ze względu na mniejszą liczbę ząbów i wyębów ogniów poziomych łańcucha z jednym gniazdem bębna w jednostce czasu przy tej samej prędkości łańcucha zgrzeblowego. Niestety znaczącą przeszkodą w zastosowaniu bębnow łańcuchowych o dużej liczbie zębów w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych jest ich średnica zewnętrzna determinująca wysokość kadłubów napędów. W przypadku, gdy łańcuch zbiegający z bębna napędu zwrotnego nie jest zluźniany, zgrzebla są dociskane do ślizgów prowadzących. Siła docisku zgrzebel jest tym większa, im większe jest obciążenie łańcucha zbiegającego z bębna zwrotnego. Docisk zgrzebel do ślizgów

prowadzących powoduje wzrost oporów ruchu łańcucha oraz zużywanie się ślizgów i zgrzebel. Zużycie ślizgów, zwłaszcza w ścianach silniej nachylonych, jest znaczące. Z tych względów projektuje się je jako elementy wymienne. Dodatkowo praca tarcia zgrzebel o ślizgi powoduje znaczący wzrost temperatury ślizgów – tym większy, im większa jest wartość siły w łańcuchu zbiegającym z bębna napędu zwrotnego oraz im większa jest wartość współczynnika tarcia pomiędzy zgrzeblami i ślizgami. Poszukuje się więc rozwiązań, które pozwoliłyby na zmniejszenie temperatury ślizgów i wzrost ich trwałości. Jednym z najprostszych sposobów znaczącego zmniejszenia zużycia tych elementów może być zastosowanie w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych zamiast trzech, tylko dwóch zespołów napędowych – po jednym w napędzie wysypowym i w napędzie zwrotnym, przy tej samej mocy sumarycznej zainstalowanej w przenośniku.



Rys. 1. Napęd zwrotny przenośnika ścianowego produkcji Kopex Machinery [3]

2. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ROZKŁAD OBCIĄŻEŃ STATYCZNYCH WZDŁUŻ KONTURU ŁAŃCUCHA

Rozkład obciążeń statycznych wzdłuż konturu łańcucha zgrzeblowego określa wartości sił w łańcuchach nabiegających na bęben łańcuchowy i zbiegających z bębna łańcuchowego zarówno w napędzie wysypowym, jak i zwrotnym przenośnika ścianowego. Liczba czynników wpływających na wartość obciążeń statycznych wzdłuż konturu łańcuchów jest znaczna, a do najistotniejszych zaliczyć można:

- wartość napięcia wstępnego łańcucha zgrzeblowego;
- wystąpienie stanu luzowania bądź nieluzowania łańcucha zgrzeblowego;
- miejsce luzowania łańcucha;
- opory ruchu gałęzi górnej, będące sumą oporów ruchu urobku i oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego, oraz zróżnicowanie tych oporów wzdłuż łańcucha zgrzeblowego (zależne od masy urobku na przenośniku i jej rozłożenia na długości przenośnika, współczynnika tarcia urobku o rynny przenośnika, masy łańcucha zgrzeblowego, współczynnika tarcia zgrzebel o rynny, kąta nachylenia po-

- dłużnego przenośnika w wyrobisku i zmienności tego kąta wzdłuż długości przenośnika);
- opory ruchu w gałęzi dolnej przenośnika (zależne od masy łańcucha zgrzeblowego, współczynnika tarcia łańcucha zgrzeblowego o rynny lub o spąg, kąta nachylenia podłużnego przenośnika i jego zmienności, ewentualnych oporów przemieszczania resztek urobku w gałęzi dolnej);
 - rozdział sił obwodowych na bębny napędu wysypowego i zwrotnego (zależny od konfiguracji napędów przenośnika, zróżnicowania rzeczywistych podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcucha zgrzeblowego, zróżnicowania rzeczywistych charakterystyk mechanicznych zespołów napędowych, zróżnicowania sprawności poszczególnych zespołów napędowych).

Zmniejszenie wartości siły w łańcuchu zbiegającym z bębna napędu zwrotnego, powodujące zmniejszenie siły docisku zgrzebel do ślizgów prowadzących, zależy jest przy tym od możliwości wystąpienia minimalnej wartości siły w łańcuchu zgrzeblowym właśnie w tym miejscu konturu łańcucha. Zależy to głównie od możliwości wystąpienia stanu luzowania bądź resztowego napięcia wstępnego w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna napędu zwrotnego.

Napięcie wstępne łańcucha jest to statyczne obciążenie konturu łańcucha w czasie postoju przenośnika, mające na celu kompensację wydłużeń sprężystych pojawiających się w ruchu. Podczas ruchu przenośnika zgrzeblowego występują wydłużenia sprężyste łańcucha o charakterze statycznym i dynamicznym. Pierwsze wywołane są oporami ruchu, natomiast drugie są wynikiem występujących drgań. W zależności od relacji występujących pomiędzy oporami ruchu a wartością napięcia wstępnego łańcuch może się znajdować w stanie nieluzowania, w stanie stałego luzowania lub w stanie okresowego luzowania [1]. Stanem nieluzowania łańcucha zgrzeblowego nazywamy taki stan, w którym nie występują luzy międzyogniowe, co oznacza, że napięcie wstępne skompensowało całkowicie wydłużenia sprężyste. W stanie stałego luzowania luzy międzyogniowe w łańcuchu występują stale w miejscu jego zbiegania z jednego z bębnow napędowych. Stany napięcia łańcucha można również zdefiniować za pomocą resztowego napięcia wstępnego. Jest to ta część napięcia wstępnego łańcucha, która pozostaje po skompensowaniu wydłużeń sprężystych. Dodatniej wartości resztowego napięcia wstępnego odpowiada stan nieluzowania, natomiast wartości ujemnej i zerowej – stan stałego luzowania. Fizycznie ujemnej wartości resztowego napięcia wstępnego odpowiada zwisanie łańcucha w

miejscu jego zbiegania z napędowego bębna łańcuchowego.

Określenie miejsca wystąpienia luzowania łańcucha dla danej wartości napięcia wstępnego bądź miejsca wystąpienia minimalnej wartości siły w konturze łańcuchowym w stanie nieluzowania łańcucha (czyli miejsca wystąpienia dodatniego resztowego napięcia wstępnego) jest niezbędne dla określenia rozkładu sił statycznych wzdłuż konturu łańcucha. W ścianowym przenośniku zgrzeblowym przesuwającym urobek miejscami wystąpienia luzowania łańcucha bądź miejscami wystąpienia dodatniego resztowego napięcia wstępnego mogą być miejsca zbiegania łańcucha zgrzeblowego z napędowego bębna łańcuchowego napędu wysypowego lub napędu zwrotnego. Wystąpienie luzowania łańcucha bądź dodatniego resztowego napięcia wstępnego (nieluzowania) w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna łańcuchowego napędu zwrotnego ma miejsce, gdy [2]:

$$u_A \leq \frac{W_G}{W} \quad (1)$$

przy czym:

$$W = W_G + W_D \quad (2)$$

gdzie:

W – całkowite opory ruchu w gałęzi górnej (ładownej) i dolnej (powrotnej) przenośnika,

W_G – opory ruchu w gałęzi górnej (ładownej) przenośnika,

W_D – opory ruchu w gałęzi dolnej (powrotnej) przenośnika,

u_A – współczynnik rozdziału sił obwodowych określony jako:

$$u_A = \frac{S_A}{S_A + S_B} \quad (3)$$

gdzie:

S_A – siła obwodowa na bębnie napędu głównego,

S_B – siła obwodowa na bębnie napędu pomocniczego.

Możliwość wystąpienia luzowania łańcucha bądź dodatniego resztowego napięcia wstępnego (nieluzowania) w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna łańcuchowego napędu zwrotnego zależy więc od udziału oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego wraz z urobkiem w gałęzi górnej przenośnika w ogólnych oporach przenośnika oraz od współczynnika rozdziału sił obwodowych. Przy równomiernym obciążeniu wszystkich silników napędowych teoretyczna wartość współczynnika rozdziału sił obwodowych u_A zależy przy tym w istotny sposób od proporcji mocy zainstalowanej w napędzie wysypowym i zwrotnym. W przypadku przenośnika napędzanego

dwoma silnikami o jednakowej mocy nominalnej (po jednym silniku w napędzie wysypowym i zwrotnym) $u_A = 0,5$, zaś dla przenośnika napędzanego trzema silnikami o jednakowej mocy nominalnej (dwa silniki w napędzie wysypowym i jeden w napędzie zwrotnym) $u_A = 0,67$. Tak więc między innymi od konfiguracji napędów ścianowego przenośnika zgrzeblowego zależne są warunki występowania luzowania lub dodatniego resztowego napięcia wstępnego przy zbieganiu łańcucha z bębna napędu zwrotnego.

3. WARUNKI WYSTĄPIENIA MINIMALNEJ WARTOŚCI SIŁY W ŁAŃCUCHU PRZY ZBIEGANIU Z BĘBNA NAPĘDU ZWROTNEGO

W celu określenia warunków wystąpienia minimalnej wartości obciążeń statycznych wzdłuż konturu łańcucha zgrzeblowego w miejscu jego zbiegania z bębna napędu zwrotnego wyznaczono wartość udziału oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego wraz z urobkiem w gałęzi górnej przenośnika w całkowitych oporach przenośnika W_G/W , w zależności od stopnia załadowania przenośnika urobkiem oraz kąta nachylenia podłużnego przenośnika w wyrobisku. Przykładowe obliczenia przeprowadzono dla przenośnika prostoliniowego o długości $L = 200$ m transportującego urobek w gałęzi górnej po upadzie pod kątem α i załadowanego na całej długości urobkiem o jednostkowej masie przypadającej na metr jego długości m_u . Opory ruchu łańcucha zgrzeblowego w gałęzi dolnej przenośnika oraz opory ruchu łańcucha zgrze-

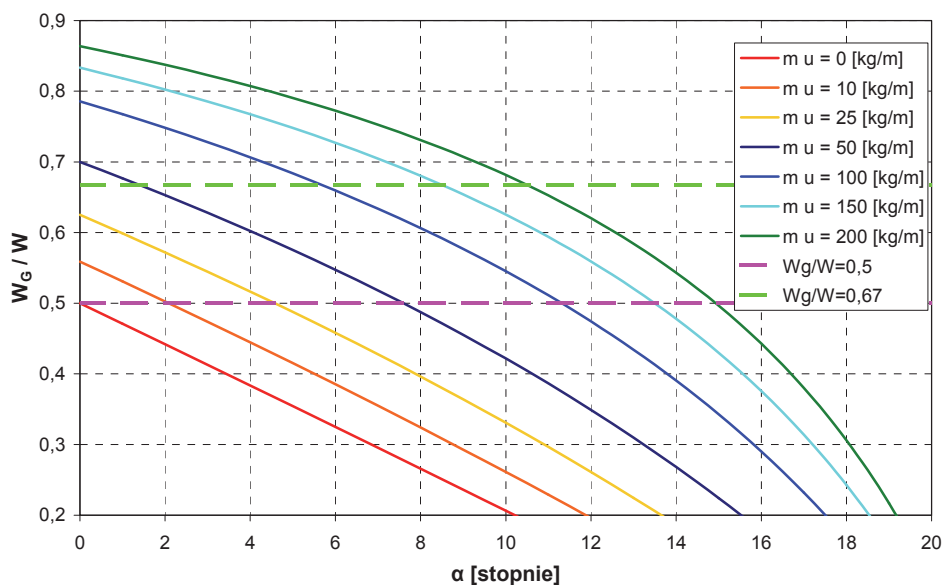
blowego z urobkiem w gałęzi górnej przenośnika wyznaczono z zależności:

$$W_D = L \cdot m_l \cdot g \cdot (f_l \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (4)$$

$$W_G = L \cdot m_l \cdot g \cdot (f_l \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) + L \cdot m_u \cdot g \cdot (f_u \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (5)$$

Wyznaczoną w ten sposób wartość stosunku oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego wraz z urobkiem w gałęzi górnej przenośnika do całkowitych oporów ruchu przenośnika W_G/W , w zależności od stopnia załadowania przenośnika urobkiem oraz kąta nachylenia podłużnego przenośnika w wyrobisku, zaprezentowano na rys. 2. Stosunek oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego wraz z urobkiem w gałęzi górnej przenośnika do całkowitych oporów ruchu przenośnika W_G/W maleje nieliniowo ze wzrostem kąta nachylenia podłużnego przenośnika w wyrobisku oraz rośnie ze wzrostem załadowania przenośnika urobkiem. Dla pustego przenośnika poziomego ($m_u = 0$, $\alpha = 0$) opory ruchu łańcucha zgrzeblowego w gałęzi górnej i dolnej przenośnika są takie same ($W_G/W = 0,5$), zaś w miarę wzrostu kąta nachylenia podłużnego przenośnika wartość stosunku W_G/W maleje (linia w kolorze czerwonym na rys. 2). Ze wzrostem załadowania przenośnika urobkiem wartość stosunku W_G/W wzrasta i dla przenośnika poziomego ($\alpha = 0$) osiąga wartości $W_G/W > 0,5$:

- $W_G/W = 0,625$ dla $m_u = 25$ kg/m,
- $W_G/W = 0,700$ dla $m_u = 50$ kg/m,
- $W_G/W = 0,786$ dla $m_u = 100$ kg/m,
- $W_G/W = 0,864$ dla $m_u = 200$ kg/m.



Rys. 2. Stosunek oporów ruchu łańcucha w gałęzi górnej do całkowitych oporów ruchu przenośnika w zależności od stopnia załadowania urobkiem oraz kąta nachylenia przenośnika [opracowanie własne]

Z zależności (1) wynika, że warunkiem wystąpienia luzowania łańcucha bądź dodatniego resztowego napięcia wstępnego (nie luzowania) w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna łańcuchowego napędu zwrotnego jest to, by wartość udziału oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego wraz z urobkiem w gałęzi górnej przenośnika w całkowitych oporach przenośnika W_G/W była równa lub większa od wartości współczynnika rozdziału sił obwodowych u_A . Zaznaczono więc dla tego przypadku graniczne wartości stosunku W_G/W dla konfiguracji napędów z dwoma silnikami ($W_G/W = 0,5$ – linia przerywana pozioma w kolorze fioletowym na rys. 2) oraz dla konfiguracji napędów z trzema silnikami ($W_G/W = 0,67$ – linia przerywana pozioma w kolorze zielonym na rys. 2).

Luzowanie łańcucha bądź wystąpienie dodatniego resztowego napięcia wstępnego w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna napędu zwrotnego analizowanego przenośnika z dwoma silnikami napędowymi wystąpi:

- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 2,0^\circ$, gdy $m_u = 10$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 4,6^\circ$, gdy $m_u = 25$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 7,6^\circ$, gdy $m_u = 50$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 11,3^\circ$, gdy $m_u = 100$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 13,5^\circ$, gdy $m_u = 150$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 14,9^\circ$, gdy $m_u = 200$ kg/m,

zaś dla analizowanego przenośnika z trzema silnikami napędowymi wystąpi:

- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 1,4^\circ$, gdy $m_u = 50$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 5,7^\circ$, gdy $m_u = 100$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 8,5^\circ$, gdy $m_u = 150$ kg/m,
- dla kąta nachylenia podłużnego z zakresu $0 \leq \alpha \leq 10,5^\circ$, gdy $m_u = 200$ kg/m.

Z powyższego porównania wynika, że w przenośniku z dwoma silnikami napędowymi luzowanie łańcucha bądź wystąpienie dodatniego resztowego napięcia wstępnego w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna napędu zwrotnego może wystąpić w większym zakresie nachylenia podłużnego przenośnika i przy mniejszym obciążeniu urobkiem gałęzi górnej przenośnika. Ze względu na luzowanie łańcucha lub wystąpienie minimalnej wartości siły w łańcuchu w miejscu jego kontaktu ze ślizgami prowadzącymi zużycie ślizgów będzie mniejsze dla

konfiguracji napędów z dwoma silnikami niż dla konfiguracji z trzema silnikami.

W przenośnikach z trzema silnikami luzowanie łańcucha w miejscu jego zbiegania z bębna napędu zwrotnego może wystąpić przy niewielkim nachyleniu podłużnym przenośnika i przy dużym stopniu załadowania gałęzi górnej przenośnika urobkiem. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, przy takiej konfiguracji napędów przenośnika luzowanie łańcucha bądź wystąpienie dodatniego resztowego napięcia wstępnego w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna napędu zwrotnego w praktyce nie będzie występowało przy nachyleniu podłużnym przenośnika przekraczającym $\alpha > 10^\circ$.

Spełnienie warunku zapisanego w zależności (1) zależy nie tylko od wartości współczynnika rozdziału sił obwodowych u_A , lecz również od wartości współczynników oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego f_l i współczynnika oporów ruchu urobku f_u . Ze wzrostem wartości współczynnika oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego zmniejsza się wartość stosunku W_G/W , czyli zmniejsza się możliwość wystąpienia luzowania łańcucha przy jego zbieganiu z bębna napędu zwrotnego. Natomiast wzrost wartości współczynnika oporów ruchu urobku zwiększa wartość stosunku W_G/W , sprzyjając wystąpieniu luzowania łańcucha bądź wystąpieniu dodatniego resztowego napięcia wstępnego w tym miejscu.

4. PODSUMOWANIE

Konieczność dojazdu kombajnu ścianowego do końca ściany przy napędzie zwrotnym wymusza zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych skracających długość kadłuba napędu zwrotnego. Łańcuch zgrzeblowy zbiegający z bębna łańcuchowego napędu zwrotnego wprowadzany jest na krótkim odcinku do gałęzi górnej rynności przez ślizgi prowadzące zgrzebla. Docisk zgrzebel do ślizgów prowadzących powoduje wzrost oporów ruchu łańcucha oraz zużycie się ślizgów i wzrost ich temperatury. Zmniejszenie wartości siły w łańcuchu zbiegającym z bębna napędu zwrotnego, powodujące zmniejszenie siły docisku zgrzebel do ślizgów prowadzących, zależy od możliwości wystąpienia minimalnej wartości siły w łańcuchu zgrzeblowym właśnie w tym miejscu konturu łańcucha. Warunkiem wystąpienia luzowania łańcucha bądź dodatniego resztowego napięcia wstępnego w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna łańcuchowego napędu zwrotnego jest to, by wartość udziału oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego wraz z urobkiem w gałęzi górnej przenośni-

ka w całkowitych oporach przenośnika W_G/W była równa lub większa od wartości współczynnika rozdziału sił obwodowych u_A . Z przeprowadzonej analizy wynika, że w przenośniku z dwoma silnikami napędowymi luzowanie łańcucha bądź dodatnie resztowe napięcie wstępne (nieluzowania) w miejscu zbiegania łańcucha zgrzeblowego z bębna napędu zwrotnego może wystąpić w większym zakresie nachylenia podłużnego przenośnika i przy mniejszym obciążeniu urobkiem gałęzi górnej przenośnika niż w przenośnikach z trzema silnikami. W przenośnikach z trzema silnikami luzowanie łańcucha w miejscu jego zbiegania z bębna napędu zwrotnego może wystąpić przy niewielkim nachyleniu podłużnym przenośnika i przy dużym stopniu załadowania gałęzi górnej przenośnika urobkiem i w praktyce nie będzie występo-

wało przy nachyleniu podłużnym przenośnika przekraczającym 10° .

Jednym z najprostszych sposobów znaczącego zmniejszenia temperatury i zużycia ślizgów może być zastosowanie w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych zamiast trzech, tylko dwóch zespołów napędowych – po jednym w napędzie wysypowym i w napędzie zwrotnym, przy tej samej mocy sumarycznej zainstalowanej w przenośniku.

Literatura

1. Dolipski M.: *Dynamika przenośników łańcuchowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
2. Sobota P.: *Analiza wpływu parametrów przenośnika zgrzeblowego na obciążenia statyczne metodą symulacji komputerowej*. W: *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo*, z. 201, Gliwice 1992.
3. Materiały promocyjne firmy Kopex Machinery S.A.