

<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMTECH2021.4>

## Koncepcja modułowego przejezdnego przenośnika taśmowego

**Sebastian Janas** – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

**Zbigniew Szkudlarek** – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

**Streszczenie:** W rozdziale przedstawiono koncepcję budowy przenośnika taśmowego, składającego się z modułów, połączonych ze sobą przegubowo, które mają możliwość przemieszczania się wzdłuż wyrobiska po określonej trajektorii. W rozdziale zawarto wizualizację 3D oraz opis budowy przenośnika wraz ze wstępną analizą geometryczną przenośnika w ograniczonej przestrzeni wyrobiska. Przeanalizowana została również kinematyka układu zawieszenia przenośnika.

Słowa kluczowe: transport, odstawa, przenośnik

### Concept of the modular belt conveyor

**Abstract:** The chapter presents the concept of a belt conveyor design, consisting of modules, articulated with each other, which can move along the working along a certain trajectory. The chapter contains 3D visualization and a description of the conveyor design along with a preliminary geometric analysis of the conveyor in the confined space of the working. Kinematics of the conveyor suspension system is also analysed.

Keywords: transport, haulage, conveyor

## 1. Wprowadzenie

Intensyfikacja wydobycia rud surowców mineralnych na świecie jest zasadniczym elementem wymuszającym zmianę technologii ich wydobycia. W większości, tradycyjne systemy odstawy, stosowane w istniejących krajowych kopalniach głębinowych, oparte są w całości na stacjonarnych układach przenośników taśmowych i zgrzeblowych. Są to systemy mało elastyczne i nie mobilne, które wymagają dużego nakładu pracy w celu ich alokacji w inny obszar wydobycia. Często jest też tak, że danej aplikacji przenośnikowej nie można zastosować bezpośrednio w innym obszarze pracy ze względu na konieczność przebudowy konstrukcji przenośnika lub też wymagane jest przygotowanie odpowiedniej przestrzeni dla jej poprawnej pracy.

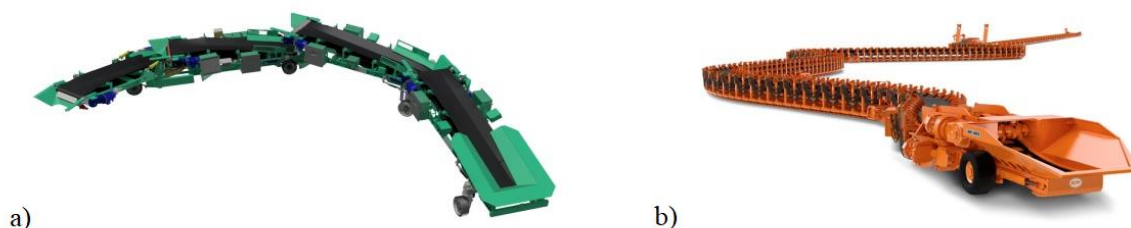
Zmianą takiego stacjonarnego systemu odstawy przenośnikowej jest zastosowanie elastycznych mobilnych systemów przenośnikowych, które przemieszczają się wraz z systemami urabiania surowca, zachowując jednocześnie swoją autonomiczność w przemieszczaniu się. Urządzenia takie współpracują także ze stacjonarnymi systemami odstawy, jak również mogą pracować jako samodzielne systemy odstawy.

Elastyczne systemy odstawy przenośnikowej znalazły zastosowanie np. w zabierkowym systemie urabiania czy w systemach filarowo-komorowych. Opracowana w ITG KOMAG koncepcja elastycznego systemu odstawy przenośnikowej wykorzystuje budowę segmentową, w której powtarzalne modułowe przenośniki taśmowe połączone są ze sobą przegubowo.

## 2. Istniejące rozwiązania

W górnictwie, głównie południowoafrykańskim i australijskim, znane są rozwiązania przenośników modułowych. Takim przykładem może być przenośnik modułowy Flexiveyor (rys. 1a) kanadyjskiej firmy Prairie Machine. Posiada cztery wykonania uzależnione od prześwitu nad spągciem. Jego sumaryczna moc dla 23 segmentów to 238 kW, a całkowita szerokość 2,5 m.

Innym przykładem jest przenośnik taśmowy Flexible Conveyor Train 4FCT (rys. 1b) firmy Joy. Wyróżnia go przede wszystkim niezwykła elastyczność, wynikająca z dużej ilości krótkich modułów. Taki układ umożliwia maszynie, wpisywanie się w niemal dowolny kształt wyrobiska i sprawne przemieszczanie się po narzuconej trajektorii.

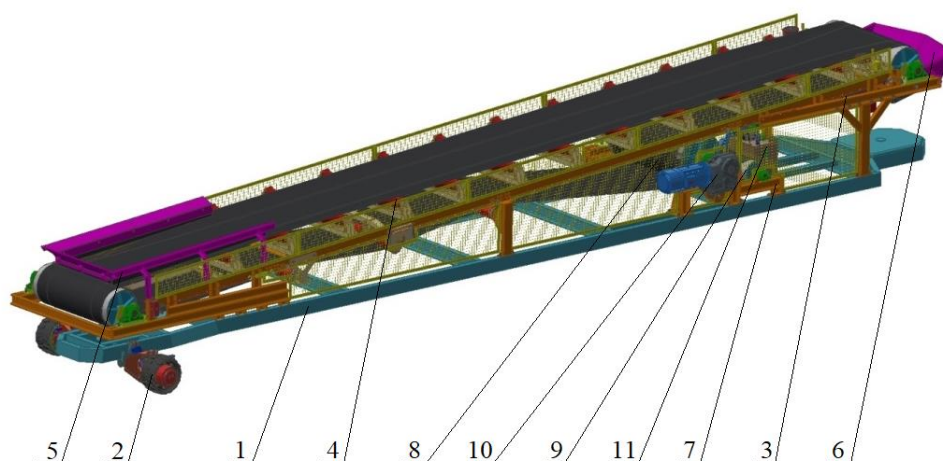


Rys. 1. Przykłady rozwiązań przenośników modułowych:  
a) Flexiveyor firmy Prairie Machine, b) Flexible Conveyor Train firmy Joy [1], [2]

## 3. Opis koncepcji modułowego przejezdnego przenośnika taśmowego

Konstrukcja przenośnika składa się z określonej liczby modułów połączonych ze sobą przegubowo. Przenośnik wyposażony jest w pojedyncze skrajne segmenty: zasypowy i wysypowy oraz n-liczbę segmentów podstawowych. Segment zasypowy wyróżnia się od podstawowego wydłużonym koszem zasypowym, a segment wysypowy nie jest wyposażony w moduł sprzęgający do następnego modułu.

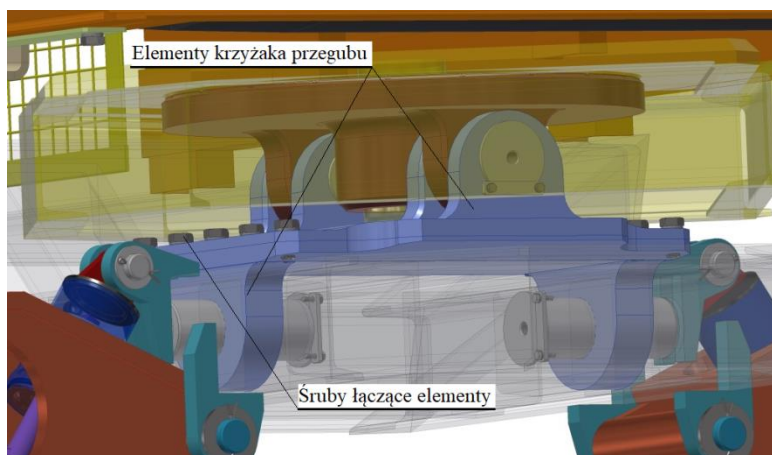
Budowa wszystkich modułów jest podobna (rys. 2). Każdy z nich składa się z podwozia i części przenośnikowej. Na jednym końcu ramy podwozia (1), od spodniej strony, zamocowane zostały koła jezdne (2) w układzie wahaczowym. Do górnej płaszczyzny przykręcona została rama części przenośnikowej (3) wraz z zespołem krążników (4) oraz koszem zasypowym (5) i lejem wysypowym (6). Na osobnej ramie (7) posadowiony został napęd części przenośnikowej w postaci bębna napędowego (8) oraz bębna przewojowego (9). Na czopie bębna napędowego osadzona jest jednostka napędowa w postaci motoreduktora (10). Przed zespołem napędowym taśmy zabudowany został agregat hydrauliczny (11), służący do napędu kół jezdnych w module.



Rys. 2. Moduł podstawowy przenośnika:

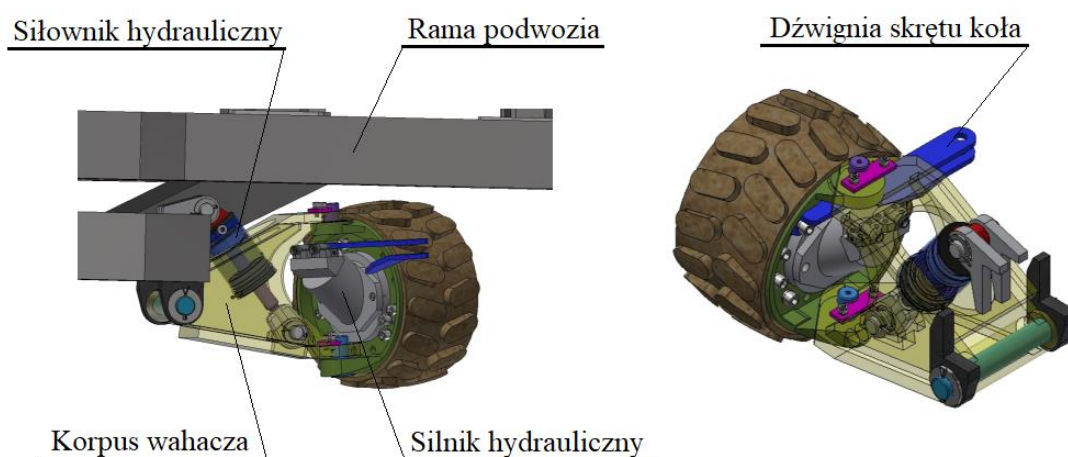
- 1 – rama podwozia, 2 – koło jezdne, 3 – rama części przenośnikowej, 4 – zespół krążników,  
 5 – kosz zasypowy, 6 – lej wysypowy, 7 – rama podnapędowa, 8 – bęben napędowy,  
 9 – bęben przewojowy, 10 – motoreduktor, 11 – agregat hydrauliczny [3]

Moduły połączone są ze sobą za pomocą elementu w postaci przegubu Cardana (rys. 3). Sprzężenie takie umożliwia swobodne wychylanie się modułów względem siebie po najeździe na nierówności wykraczające poza graniczny skok zawieszenia podwozia. Połówki przegubu Cardana są zintegrowane z ramą podwozia, rolę krzyżaka pełni element składający się z dwóch części skręcony śrubami.



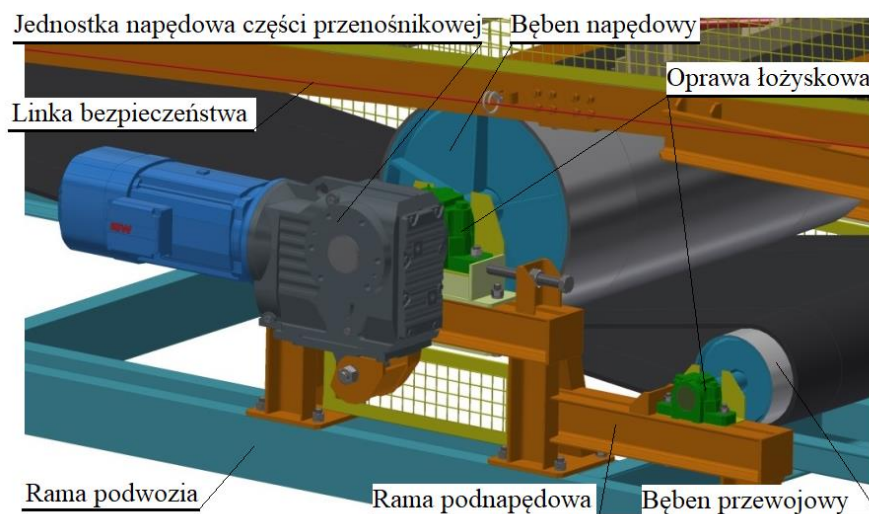
Rys. 3. Przegubowe sprzężenie modułów [3]

Układ jezdny oparty jest o system wahaczowy umieszczony w korpusie (rys. 4). Korpus ten osadzony jest przegubowo w uchach przyspawanych do ramy podwozia. Całość podparta jest siłownikiem hydraulicznym, którego zadaniem jest utrzymywanie poszczególnych kół na określonym poziomie oraz możliwość wychylania ich w określonym zakresie. Skręt realizowany jest również na drodze hydraulicznej poprzez indywidualny siłownik dla każdego koła. Pozwala to na odpowiednie sterowanie kątem skrętu koła, aby osiągnąć poprawny kąt wyprzedzenia podczas skrętu.



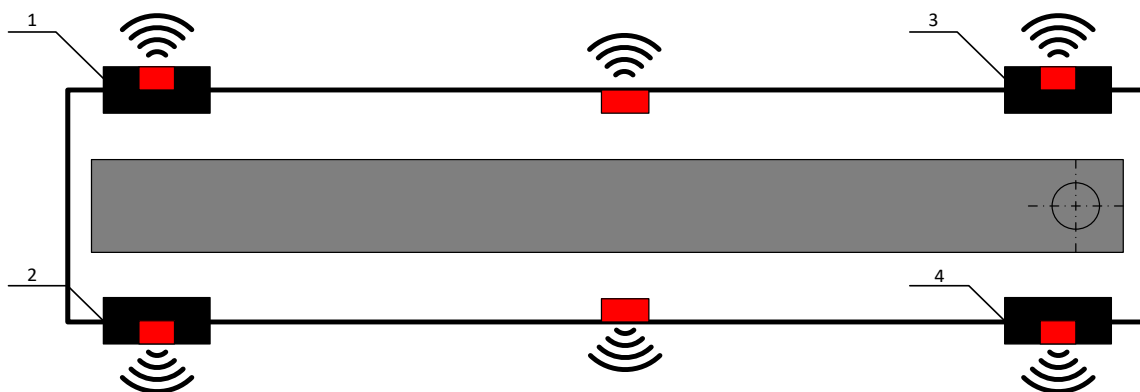
Rys. 4. Zespół jezdy przenośnika modułowego [3]

Układ napędowy części przenośnikowej (rys. 5), w postaci motoreduktora, zasilany jest elektrycznie. Motoreduktor osadzony został na czopie bębna napędowego. Bęben napędowy współpracuje z bębniem przewojowym, którego zadaniem jest zwiększenie kąta opasania na bębnie napędowym oraz zmiana kierunku biegu taśmy do bębna zwrotnego. Cały układ napędowy części przenośnikowej osadzony jest na stojakach przymocowanych do ramy podwozia. Bębny mają możliwość regulacji, która realizowana jest poprzez zmianę położenia opraw łożyskowych.



Rys. 5. Widok układu napędowego części przenośnikowej [3]

Każdy moduł wyposażony jest w agregat hydrauliczny i lokalny sterownik, który zasilają dwa silniki hydrauliczne zabudowane w kołach oraz siłowniki stabilizacji i skreću. Każdy silnik hydrauliczny może osiągnąć maksymalny moment 8255 Nm. Układy hydrauliczne i lokalne sterowniki, na każdym z modułów będą nadzorowane poprzez sterownik centralny. Sterowanie całym przenośnikiem odbywać się będzie bezprzewodowo z poziomu operatora maszyny (za pomocą pilota). Pokonywanie wyrobisk nadzorowane będzie zespołem przetworników ultradźwiękowych (rys. 6) zabudowanych na każdym module. Wyniki pomiarów realizowanych przez przetworniki, wpływać będą na kąt ustawienia kół napędowych, a tym samym na trajektorię toru jazdy przenośnika.



Rys. 6. Zabudowa przetworników ultradźwiękowych na segmencie przenośnika:  
1, 2, 3, 4 – przetworniki ultradźwiękowe zabudowane na kołach napędowych [4]

#### 4. Analiza geometryczna przenośnika w wyrobisku

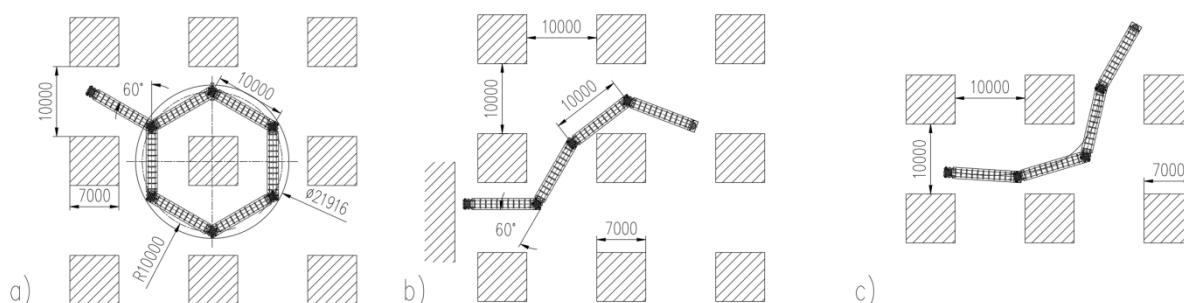
Dla przeprowadzenia analizy geometrycznej istotnymi parametrami była długość segmentu przenośnika oraz jego całkowita szerokość, które bezpośrednio wpływają na wpisywanie się przenośnika w przekrój poprzeczny wyrobiska.

Podane parametry wyrobiska filarowo-komorowego narzucały odległość między filarami wynoszącą 10 m, przy wymiarach poprzecznych filara wynoszących 7×7 m. Wysokość wyrobiska nie powinna przekraczać 2 m.

Wstępnie dla takich parametrów przyjęto, że długość segmentu będzie wynosiła 10 m, a wydajność przenośnika wyniesie 3600 t/dobę. Aby zrealizować założoną wydajność, przy określonych parametrach napędu taśmy przenośnikowej, przyjęto szerokość taśmy B=1000 mm.

Dla tak zdefiniowanych danych wejściowych konstrukcyjnie określono szerokość segmentu przenośnika, która wyniosła 1600 mm.

Przeanalizowana została możliwość wpisywania się zespołu segmentów w zarys wyrobiska filarowo-komorowego (rys. 7a i 7b). Rozpatrzono teoretyczny, skrajny przypadek, kiedy przenośnik modułowy ma zatoczyć okrąg wokół filara (rys. 7a).

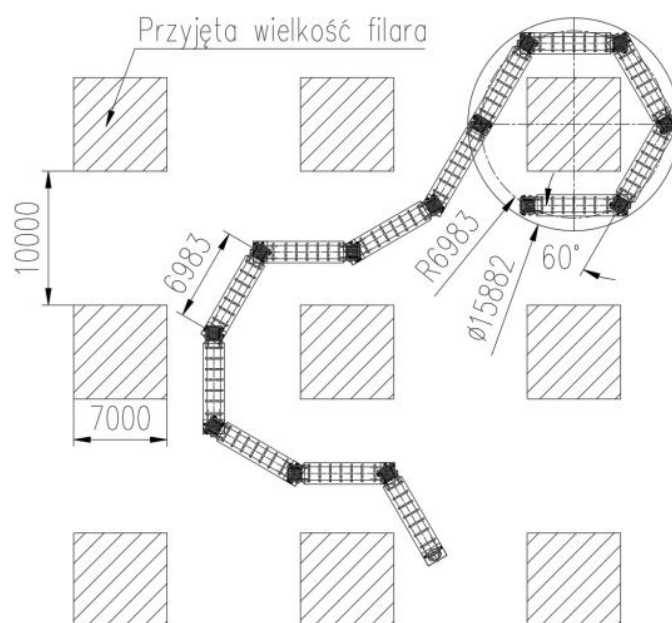


Rys. 7. Analiza geometryczna wpisywania się przenośnika modułowego o długości modułu 10 m w wyrobisko komorowo-filarowe, przykłady: a) zatoczenie okręgu, b) zakleszczenie przenośnika, c) nieoptymalny tor jazdy [3]

Przyjmując kąt skreślenia 60° oraz wpisanie osi skreślenia segmentów w okrąg minimalny, promień skreślenia równa się długości odcinka osi między punktami skreślenia segmentów przenośnika. Jak wynika

z analizy geometrycznej przenośnik może wykonać taki zwrot czysto teoretycznie. Jednak ze względów praktycznych taka długość segmentu będzie dostarczała dużo problemów podczas manewrowania całym układem. Może to doprowadzać do sytuacji, kiedy urządzenie może się „zakleszczać” z powodu nieoptymalnego toru jazdy (rys. 7b i 7c).

Dla celów porównawczych, przeprowadzono analizę pracy przenośnika o krótszych modułach. Do sprawdzenia przyjęty został moduł o długości 7 m. Krótsze segmenty pozwalają na bezproblemowe przemieszczanie się przenośnika w narzuconych gabarytach wyrobisk. W tym przypadku nie ma ryzyka „zakleszczenia” się przenośnika, a jego parametry trakcyjne nie uległy zmianie (rys. 8). Dzięki krótszym segmentom, takim przenośnikiem można będzie również pokonać wyrobiska o mniejszych rozmiarach.

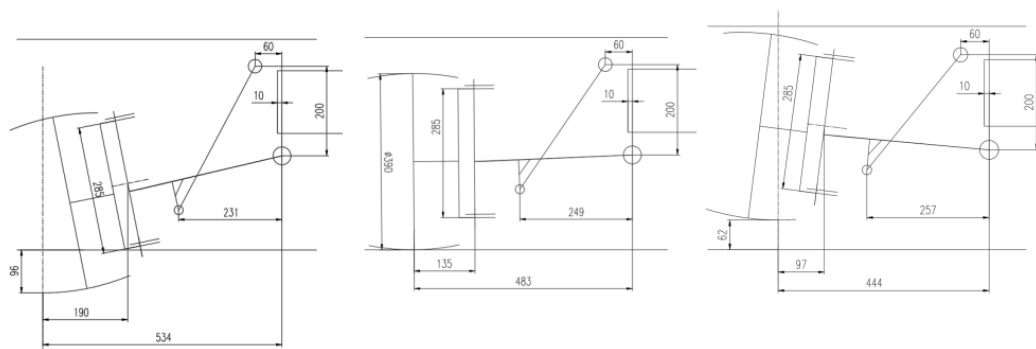


Rys. 8. Analiza geometryczna wpisywania się przenośnika modułowego o długości modułu 7 m w wyrobisko komorowo-filarowe [3]

W kolejnym kroku dokonano analizy geometrii przesypu między sąsiednimi modułami. Optymalny przypadek prawidłowego przesypywania materiału występuje, gdy oś skrętu między dwoma modułami pokrywa się z punktem wysypu. Jednak w praktyce taki przypadek powoduje problemy natury konstrukcyjnej, związanej ze zbyt dużym promieniem jaki zataczał punkt wysypu strugi urobku. Po rozsunięciu modułów przenośnika promień po jakim będzie się przemieszczał punkt wysypu, będzie powodował ograniczenie kątowe przestrzeni w jakiej będzie przesypywany urobek na następny moduł (rys. 9).



Ze względów trakcyjnych w analizie wysokości przenośnika uwzględniono również średnicę koła jezdnego zastosowanego w module. Do analizy brane były pod uwagę dwie średnice: 460 mm albo 390 mm. Średnice mniejsze niż 390 mm odrzucone zostały ze względów trakcyjnych, większe od 460 mm – ze względu na znaczny wzrost gabarytu wysokościowego. Do dalszej analizy przyjęto średnicę 390 mm. Dodatkowo rozpatrywana była wersja podwozia z osią poprzeczną albo koła z wahaczem. Ze względu na prześwit do koncepcji przyjęto wersję koła z wahaczem (rys. 11). Zastosowanie belki poprzecznej mocno ograniczało prześwit między kołami, który wynosił 180 mm. Zastosowanie koła z wahaczem pozwoliło zwiększyć prześwit do wartości 260 mm. Założony skok wahacza koła określony został w sposób geometryczny. Zawierał się w zakresie od +62 mm (ugięcie w górę) do -96 mm (ugięcie w dół).



Rys. 11. Geometryczna analiza zawieszenia wahaczowego [3]

Napęd przenośnika zrealizowany został na drodze elektryczno-hydraulicznej. W każdym module znajdują się dwa silniki elektryczne o łącznej mocy 4 kW. Układ jazdy jest zasilany hydraulicznie z agregatu napędzanego silnikiem elektrycznym o mocy 1,5 kW. W kołach jezdnych zastosowano silniki hydrauliczne, co pozwala na indywidualne sterowanie obrotami każdego koła. Do napędu taśmy zastosowano motoreduktor o mocy 2,5 kW, zabudowany z boku modułu.

## 5. Podsumowanie

1. Zaproponowana koncepcja przenośnika modułowego pozwoliła określić jego następujące parametry techniczne i konstrukcyjne:

– wydajność masowa	3600	[t/dobę],
– szerokość taśmy	1000	[mm],
– maksymalna prędkość przemieszczania się przenośnika	3	[m/min],
– długość modułu przenośnika w płaszczyźnie poziomej	10000	[mm],
– całkowita szerokość segmentu	1600	[mm],
– całkowita długość segmentu przenośnika	11218	[mm],
– długość części przenośnikowej	10170	[mm],
– średnica bębna napędowego	524	[mm],
– średnica koła jezdnego	390	[mm],
– maksymalny kąt łamania modułów	60	[°],
– maksymalny kąt załamania modułów w pł. pionowej	1	[°],
– kąt wzniosu taśmy w module	4	[°],



- minimalny prześwit między ramą podwozia, a spągciem 260 [mm],
  - napięcie zasilania 500, 1000 [V],
  - maksymalne ciśnienie zasilania 350 [bar].
2. Przyjęte do analizy geometrycznej wymiary wyrobisk  $7 \times 10$  m oraz długość segmentu 10 m wymuszają przemieszczanie się przenośnika po bardzo precyzyjnej trajektorii, nie pozostawiając dużego marginesu na swobodne manewrowanie. Stwarzać to może częste problemy związane z zakleszczaniem się przenośnika w wyrobiskach czy blokowanie maszyny ze względu na zadziałanie przetworników odległości.
  3. W przypadku przenośnika z modułami o długości 7 m, dla wyrobisk o takich samych wymiarach jak powyżej, analiza geometryczna wykazała, iż trajektoria jazdy pozostawia więcej swobody na manewrowanie czy pokonywanie wyrobisk o mniejszych przekrojach. Tym samym przenośnik posiada większe możliwości mobilne, w których może się bezproblemowo wycofać z rejonu prac, czy przenieść w inne miejsce.
  4. Dzięki zachowaniu takiego samego kąta skrętu, geometria przesypu między modułami nie ulega zmianie niezależnie od długości modułu. Spodziewany „przeпад” nadawy ograniczony został poprzez wprowadzenie kosza zasypowego oraz gardzieli wysypowej przemieszczającej się w obrębie wewnętrznej przestrzeni kosza zasypowego.
  5. Przy narzuconej wysokości wyrobiska 2 m oraz uniesieniu taśmy pod kątem  $4^\circ$  i długości modułu 10 m przenośnik w swoim najwyższym punkcie osiąga wysokość 1883 mm wraz z nosiwem. Wysokość ta w niektórych przypadkach może być powodem kolizji ze stropem. W przypadku segmentów krótszych należy zwiększyć kąt uniesienia taśmy celem umożliwienia przesypu z modułu na moduł. W obu przypadkach w węźle przesypu należy zmniejszyć kąt uniesienia taśmy.
  6. Uwzględniając powyższe uwagi można wywnioskować, że ilość segmentów przenośnika będzie miała zasadniczy wpływ na cenę takiej maszyny. Im więcej segmentów tym lepsza mobilność przenośnika modułowego. Jednak powoduje wzrost kosztów, ponieważ, w myśl założeń konstrukcyjnych, że każdy moduł wyposażony jest w układ zasilania i sterownia, wzrośnie również ich ilość. Mniejsza ilość segmentów, ale dłuższych, to mniej podzespołów, jednak gorsze parametry trakcyjne.

## Literatura

1. <https://prairiemachine.com/continuous-haulage#safety> (dostęp: 24.09.2021)
2. <https://mining.komatsu/en-gb/product-details/joy-flexible-conveyor-train> (dostęp: 24.09.2021)
3. Szkudlarek Z., Sobolewski A., Kaczmarczyk K., Nieśpiałowski K., Janas S., Rawicki N.: Opracowanie koncepcji segmentowego przenośnika taśmowego, ITG KOMAG, Gliwice 2019 (materiały niepublikowane)
4. Jura J., Gołabek L., Majewski M., Deja P., Skóra M.: Opracowanie koncepcji wyposażenia elektrycznego i układu sterowania do segmentowego przenośnika taśmowego oraz koncepcji algorytmu serowania, ITG KOMAG, Gliwice 2020 (materiały niepublikowane)