

KRZYSZTOF FILIPOWICZ  
MARIUSZ KUCZAJ  
MACIEJ KWAŚNY  
KRZYSZTOF TWARDOCH

## Bezpieczeństwo układów napędowych maszyn górniczych – zagadnienia wybrane

*Współczesne maszyny stosowane w górnictwie podziemnym pracują w skrajnie trudnych warunkach środowiskowych, zwłaszcza przy zmiennym obciążeniu. Jest to powodem występowania obciążeń dynamicznych, które w szczególności oddziałują na zespoły mechaniczne układu napędowego maszyny, wpływając niekorzystnie na jego trwałość, niezawodność oraz bezpieczeństwo użytkowania. Przeciwdziałanie występującym niekorzystnym skutkom wzajemnych oddziaływań dynamicznych elementów układów napędowych jest możliwe w wyniku stosowania odpowiednich metod i środków prowadzących do ograniczenia tych obciążeń. Specyfika pracy maszyn górniczych sprawia, że szczególnie duże obciążenia dynamiczne z licznymi stanami przeciążenia występują zarówno podczas rozruchu, jak i pracy ustalonej. W artykule przedstawiono stosowane aktualnie metody łagodzenia skutków obciążeń dynamicznych podczas rozruchu i zabezpieczania układów napędowych, które może odbywać się w sposób elektryczny lub mechaniczny. Zaprezentowano również wybrane konstrukcje sprzęgła stosowanych w maszynach górniczych mających za zadanie łagodzenie obciążeń dynamicznych i zabezpieczanie napędów podczas ich pracy ustalonej.*

Słowa kluczowe: zabezpieczenie, przeciążenie, układ napędowy

### 1. WPROWADZENIE

Podstawowymi maszynami ze względu na proces wydobywczy, zainstalowanymi w podziemnych kopalniach węgla kamiennego są maszyny urabiające i przeznaczone do odstawy urobku z przodka ścianowego. Należą one do grupy maszyn najbardziej narażonych na oddziaływanie eksploatacyjne w górnictwie podziemnym. Sytuacja ta wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na proces ich projektowania, a później eksploatacji.

Podstawowym zespołem mechanicznym pośredniczącym w wykonywaniu pracy użytecznej każdej maszyny górniczej jest jego układ napędowy. W jego skład zwykle wchodzi takie elementy, jak: silnik elektryczny, przekładnia (zębata), sprzęgła oraz element lub elementy wykonawcze, najczęściej w postaci organu urabiającego czy bębna napędowego.

Główne zespoły mechaniczne w układzie napędowym maszyn urabiających i odstawczych, tj. sprzęgła i przekładnie zębate, narażone są na szczególnie

intensywne wymuszenia eksploatacyjne w postaci zmiennych obciążeń ze znacznymi chwilowymi przeciążeniami o dużej częstotliwości, które występują przede wszystkim w niestabilnych stanach rozruchowych (przełożniki zgrzeblowe), a także podczas pracy ustalonej. Ostatecznym skutkiem tych oddziaływań jest zmniejszenie ich niezawodności, a ostatecznie trwałości. Sposobem zaradczym na niekorzystne warunki eksploatacyjne jest zastosowanie specjalnych środków technicznych mających na celu zabezpieczenie elementów układu napędowego przed przeciążeniem. Przykładem może być układ napędowy przenośnika zgrzeblowego, gdzie znaczne problemy sprawia już sam jego rozruch. Zastosowanie mają tutaj urządzenia rozruchowe ułatwiające ten proces na drodze elektrycznej lub/ oraz mechanicznej. Tak jak wspomniano, przeciążenia występują również podczas pracy ustalonej maszyny (kombajn chodnikowy, ścianowy, przenośniki ścianowe i podścianowe). W tym przypadku zastosowanie mają przede wszystkim sprzęgła podatne skrętnie o różnej konstrukcji.

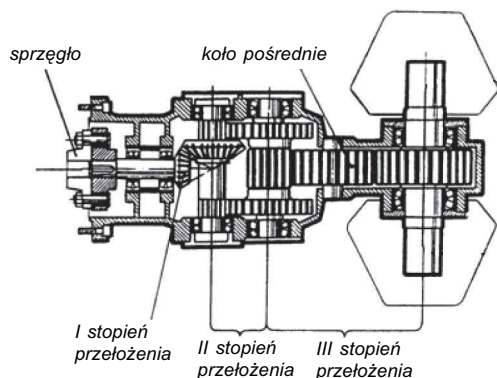
W niniejszym artykule zarazem w sposób przeglądowy, jak i syntetyczny ujęto problematykę zabezpieczenia układów napędowych wybranych maszyn górniczych przed niekorzystnym działaniem warunków eksploatacyjnych. Skupiono się przede wszystkim na stosowanych rozwiązaniach mechanicznych.

## 2. ZABEZPIECZENIE UKŁADU NAPĘDOWEGO MASZYN URABIAJĄCYCH

W procesie wydobywania węgla kamiennego jako maszyny do urabiania urobku są wykorzystywane kombajny ścianowe oraz chodnikowe.

Kombajny chodnikowe służą do drażenia wyrobisk korytarzowych udostępniających, a także wydobywania węgla kamiennego, soli oraz rud miedzi. Poszczególne ruchy robocze elementów wykonawczych są realizowane za pomocą układów napędowych organu urabiającego, podwozia gąsienicowego oraz ładowarki urobku.

Najbardziej obciążony jest układ napędowy głowicy urabiającej. Co prawda, ich rozruch odbywa się przeważnie bez obciążenia, lecz występują z kolei duże obciążenia dynamiczne pochodzące od skrawania nożami calizny węglowej lub kamiennej. Niestołość parametrów mechanicznych urabianej calizny oraz sposób przemieszczania głowic urabiających przez operatora są powodem występowania zmiennego obciążenia w układzie przeniesienia napędu z silnika elektrycznego do głowic urabiających. Na rysunku 1 przedstawiono jako przykład budowę organu urabiającego kombajnu chodnikowego AM-50z. W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego w danym modelu kombajnu reduktor może przybierać różną postać pod względem kinematycznym, jednak łącznikiem pomiędzy wałem wejściowym reduktora a silnikiem jest zawsze sprzęgło podatne. W większości przypadków jest to sprzęgło wkładkowe bądź, tak jak w przypadku kombajnu AM 50z, sprzęgło palcowe.



Rys. 1. Układ napędowy głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego AM-50z [1]

Sprzęgło to ma za zadanie w pierwszej kolejności złagodzić obciążenie dynamiczne pojawiające się na wale wejściowym przekładni od silnika podczas jego rozruchu, a następnie złagodzić obciążenie na wale silnika pochodzące od reakcji na obciążenie skrawaniem. Na rysunku 2 przedstawiono człon bierny sprzęgła wkładkowego, a na rysunku 3 sprzęgła palcowego podłużnej głowicy urabiającej.



Rys. 2. Widok członu biernego sprzęgła wkładkowego zastosowanego w organie urabiającym kombajnu chodnikowego



Rys. 3. Widok członu biernego sprzęgła palcowego zastosowanego w organie urabiającym kombajnu chodnikowego

Oprócz sprzęgieł podatnych mogą być stosowane również sprzęgła cierne, tak jak ma to miejsce np. w kombajnie AM-75. Pełni ono też wtedy funkcję sprzęgła przeciążeniowego.

Zabezpieczeniem przeciążeniowym w organie urabiającym jest przede wszystkim pierścień rozporowy (rys. 4), za pomocą którego przenoszony jest moment obrotowy z wału biernego reduktora na głowicę urabiającą.



Rys. 4. Widok pierścienia rozporowego do zastosowania w głowicy urabiającej kombajnu

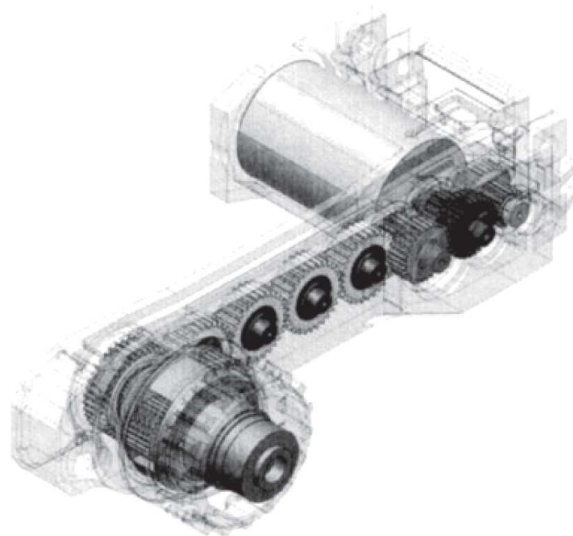
Stanowi on połączenie cylindrycznej gładkiej piasty głowicy urabiającej z cylindrycznym gładkim wałem wyjściowym reduktora [2]. Podczas wystąpienia przeciążenia dochodzi do przekroczenia wartości momentu sił tarcia w pierścieniu, występuje wtedy poślizg i przerwa w przekazaniu momentu na głowicę urabiającą.

Oprócz bezpośrednich metod zabezpieczenia układu napędowego urabiania w kombajnie chodnikowym przed przeciążeniem stosowane są metody pośrednie, do których zalicza się [2]:

- zabezpieczenie termiczne silnika napędowego,
- ograniczenie siły docisku głowicy urabiającej do calizny w miarę wzrostu ciśnienia w układzie zasilania siłowników wychyłania wysięgnika,
- ograniczenie prędkości przemieszczania głowicy urabiającej w miarę wzrostu poboru mocy przez silnik w układzie urabiania.

Kolejną maszyną wykorzystywaną do równoczesnego urabiania i ładowania urobku na przenośnik jest

kombajn ścianowy. Wchodzi on w skład kompleksu ścianowego. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy widok modelu geometrycznego układu napędowego organu urabiającego.



Rys. 5. Model geometryczny układu napędowego kombajnu ścianowego [3]

Zabezpieczenie układu napędowego przed przeciążeniem wynikającym z procesu urabiania calizny węglowej może odbywać się bezpośrednio lub pośrednio. Do pośrednich metod należą wszelkie zabezpieczenia ujęte w systemie sterowania kombajnu, np. układ sterowania Faceboss marki Joy, gdzie kontrolowane są parametry silników, aby nie dopuścić do ich zablokowania i przegrzania.

Największe obciążenia od urabiania calizny węglowej występują w układzie napędowym organu urabiającego. Co prawda, sam proces rozruchu nie stanowi problemu, gdyż odbywa się bez obciążenia, jednak podczas procesu skrawania dochodzi do występowania obciążeń o dużej zmienności w czasie, a jego intensywność jest uzależniona od prędkości posuwu kombajnu.

Zabezpieczenie podzespołów układu napędowego organu urabiającego oraz napędu posuwu przed przeciążeniem mogą stanowić wały bezpiecznikowe przekazujące moment obrotowy silnika na pierwszy stopień przekładni [4, 5]. Rozwiązanie to ma zastosowanie np. w kombajnach KSW 460, KSW 620E oraz KSW-1140E. Wał bezpiecznikowy ma wykonane podcięcie i w przypadku wystąpienia przeciążenia w układzie napędowym w tym miejscu dochodzi do jego zniszczenia. Wał ten jest w prosty sposób wymieniany na nowy od strony zawałowej.



### 3. ZABEZPIECZENIE UKŁADU NAPĘDOWEGO MASZYN TRANSPORTUJĄCYCH UROBEK

#### 3.1. Przenośniki zgrzeblowe

Przenośniki zgrzeblowe ścianowe i podścianowe stanowią początek ciągu transportującego urobek z przodka ścianowego. Warunki pracy przenośnika zgrzeblowego ścianowego należą do najcięższych warunków eksploatacyjnych w górnictwie podziemnym. Znaczne problemy sprawia już bowiem rozruch maszyny spowodowany masą urobku znajdującego się na trasie, a także zbyt duże napięcie wstępne łańcucha oraz wszelkie problemy po stronie zasilania silników (stan sieci kopalnianej, niewłaściwa kolejność załączania napędów itp.).

Oprócz utrudnionego rozruchu główne mechanizmy układu napędowego ścianowego przenośnika zgrzeblowego są narażone na szczególnie intensywne wymuszenia eksploatacyjne w postaci zmiennych obciążeń ze znacznymi chwilowymi przeciążeniami, również podczas pracy ustalonej.

Przeciwdziałanie występującym niekorzystnym skutkom wzajemnych oddziaływań elementów układów napędowych przenośników zgrzeblowych możliwe jest w wyniku stosowania odpowiednich metod i środków prowadzących do ograniczenia przenoszonych obciążeń dynamicznych, gdyż mają one znaczący wpływ na rozwój procesów degradacyjnych, a zwłaszcza zmęczenia.

Tak jak wspomniano, duży problem stanowi rozruch załadowanego przenośnika. Jest to szczególnie istotne, gdyż praktyka kopalniana pokazuje, że przenośnik ścianowy jest stosunkowo często włączany i wyłączany [6].

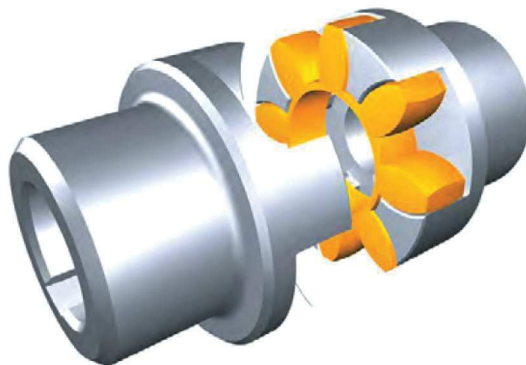
Umożliwienie rozruchu załadowanego przenośnika jest możliwe po przedsięwzięciu odpowiednich środków technicznych. Może ono odbywać się metodą elektryczną (najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie silnika dwubiegowego) lub mechaniczną. Stosowanymi urządzeniami rozruchowymi przy metodzie elektrycznej są:

- rozruszniki stycznikowe,
- agregaty tyrystorowe,
- przemienniki częstotliwości.

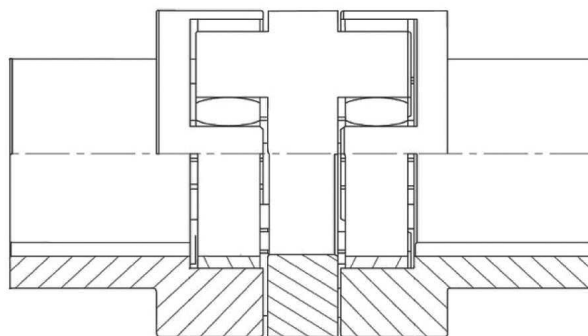
Umożliwienie rozruchu przenośnika, a także ograniczenie negatywnych skutków wzajemnych oddziaływań elementów układu napędowego podczas pracy ustalonej jest możliwe również przez zastosowanie prostych sprzęgieł podatnych skrętnie oraz bardziej

zaawansowanych konstrukcyjnie sprzęgieł przeciążeniowych/rozruchowych.

Aktualnie w górniczych przenośnikach zgrzeblowych często są stosowane na wejściu układów napędowych, między silnikiem i przekładnią, sprzęgła elastyczne z wkładkami elastomerowymi lub poliuretanowymi jedno- (rys. 6) lub dwuwkładkowe (rys. 7).

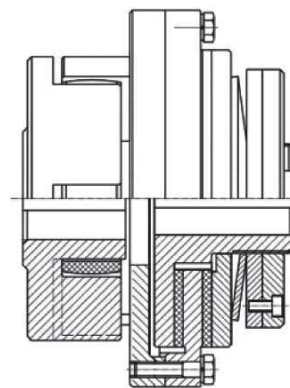


Rys. 6. Sprzęgło podatne jednowkładkowe SP (ASR) [7, 8]



Rys. 7. Sprzęgło podatne dwuwkładkowe SPP (ASR) [7]

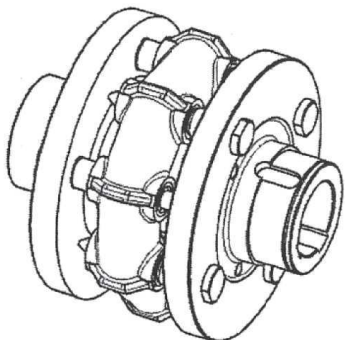
W przenośnikach zgrzeblowych wykorzystywane jest również połączenie sprzęgła podatnego z przeciążeniowym. Na rysunku 8 przedstawiono przykładową konstrukcję takiego rozwiązania.



Rys. 8. Sprzęgło przeciążeniowe APMX [8]

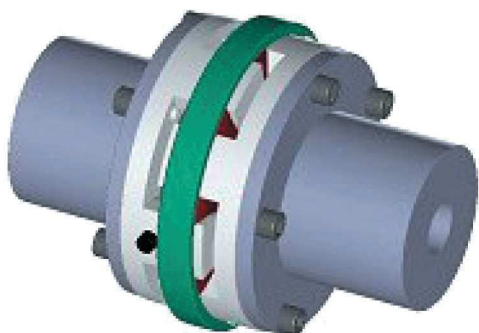
Jest to typowe sprzęgło wkładkowe z regulowaną wartością momentu obrotowego, przy którym następuje poślizg na okładzinach ciernych i dochodzi do rozłączenia napędu.

Stosowane są również inne konstrukcje sprzęgieł podatnych. Przykładem może być sprzęgło, którego producentem jest RFM Ryfama (rys. 9), gdzie elementem elastycznym jest gumowy torus, w którym są zawulkanizowane tulejki stalowe. W tulejki wchodzi naprzemiennie stalowe trzpienie mocowane do tarcz znajdujących się na członie czynnym i biernym sprzęgła [9].



Rys. 9. Sprzęgło podatne produkcji RFM Ryfama [9]

Z kolei oryginalne rozwiązanie sprzęgła podatnego o wymiennej części elastycznej (wkładki) bez demontażu silnika ma w swojej ofercie firma TZ Polska. Są to sprzęgła kłowe typu BHDD i SDD. Różnią się one głównie konstrukcją części wymiennej, a dokładniej ujmując: kształtem kłów i wkładki elastycznej. Przykład takiego rozwiązania przedstawia rysunek 10.



Rys. 10. Sprzęgło typu Tschan BHDD [10]

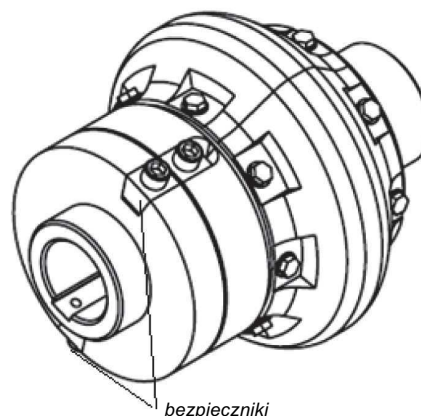
Podsumowując, sprzęgła wkładkowe ze względu na swe atuty, jakimi są niski koszt wytwarzania, trwałość oraz brak obsługi podczas eksploatacji, wykorzystywane są w układach napędowych przenośników zgrzeblowych. Tłumią one drgania skrętne, jednak posiadają stosunkowo mały względny kąt skręcenia członów i nie wspomagają w wystarczający sposób procesu rozruchu przenośnika.

W napędach przenośników zgrzeblowych mogą mieć zastosowanie również sprzęgła oponowe (rys. 11). Przenoszą one duże momenty obrotowe i posiadają wyraźnie większą podatność elementu elastycznego w porównaniu ze sprzęgłami wkładkowymi. Dodatkowym ich atutem jest możliwość wymiany wkładki elastycznej bez demontażu któregoś z elementów układu napędowego.



Rys. 11. Sprzęgło oponowe [8]

Nowym typem sprzęgła, które w najbliższej przyszłości może znaleźć zastosowanie w napędach maszyn górniczych, jest sprzęgło Raptor firmy Dodge. Łączy ono w sobie zalety wysokiej elastyczności sprzęgła oponowego i łatwej wymiany wkładu elastycznego z wysoką żywotnością i niezawodnością. Na rysunku 12 przedstawiono widok sprzęgła Raptor w wersji z bezpiecznikami.



Rys. 12. Sprzęgło podatne Raptor-SK z bezpiecznikami [8]

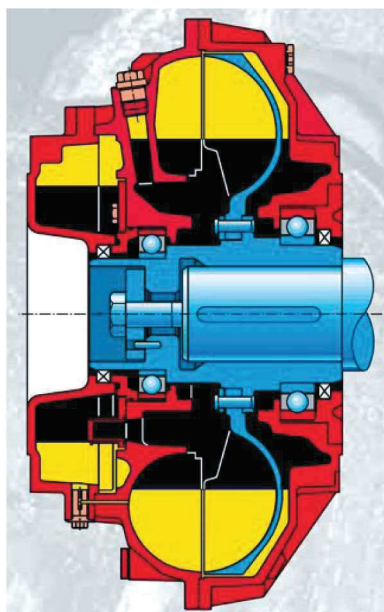
Zastosowanie bezpieczników w sprzęgłe ogranicza wartość przenoszonego momentu obrotowego do wartości, po której przekroczeniu następuje ich ścięcie, a w konsekwencji rozłączenie napędu.

Element podatny sprzęgła Raptor składa się z dwóch części. Wykonany jest z kauczuku naturalnego i posiada specjalną konstrukcję zapewniającą mu dużą wytrzymałość w newralgicznych miejscach. Podatność skrętna tego typu sprzęgieł wynosi aż kilkadziesiąt stopni.

Jak już wspomniano, sprzęgła z wkładkami elastycznymi mają wiele wad. Przede wszystkim nie zabezpieczają w pełni elementów układu napędowego przed przeciążeniem oraz nie spełniają oczekiwań podczas tzw. ciężkiego rozruchu, co może prowadzić do niemożności uruchomienia przenośnika bez jego wcześniejszego częściowego rozładowania. W związku z tym w polskim górnictwie szerokie zastosowanie znalazły sprzęgła hydrodynamiczne.

Sprzęgła hydrodynamiczne są to złożone układy, w których przeniesienie momentu obrotowego z członu czynnego (zwanego wirnikiem pompowym) na człon bierny (zwany wirnikiem turbinowym) odbywa się za pomocą *łącznika* w postaci cieczy [11–12]. Stosowane są głównie sprzęgła o stałym napełnieniu z komorą opóźniającą lub bez niej oraz przepływowe [9].

Dla przenośników, gdzie spodziewany jest ciężki rozruch, znalazły zastosowanie przede wszystkim sprzęgła hydrokinetyczne o stałym napełnieniu z komorą opóźniającą. Zadaniem dodatkowych komór jest zgromadzenie części płynu z komory roboczej, dzięki czemu jest go odpowiednio mniej. Ostatecznie uzyskuje się prawie bezobciążeniowy rozruch silnika przenośnika. Potentatem w produkcji takich sprzęgieł jest firma Voith Turbo GmbH ze sprzęgłami typu TV. Dostawcami tego typu sprzęgieł na polski rynek są ponadto takie firmy jak Flender-Siemens ze sprzęgłami typu FV i FN oraz w najbliższej przyszłości Fasing (MOJ). Na rysunku 13

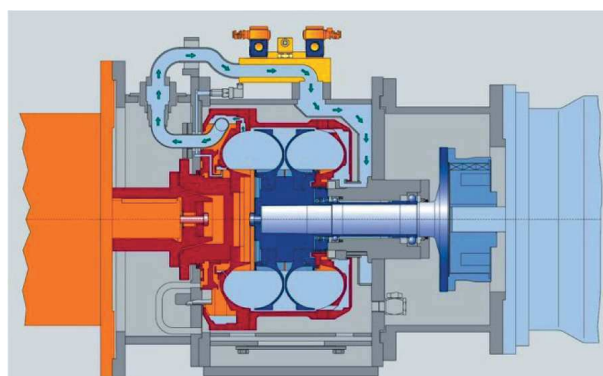


Rys. 13. Sprzęgło typu 487 650 TVF firmy Voith [12]

przedstawiono budowę jednego sprzęgła z serii firmy Voith typu 487 650 TVF. Sprzęgła tej firmy budowane są w kilkunastu typach, dostosowanych do szczególnych warunków pracy maszyn roboczych. Różni je głównie budowa i wielkość komór opóźniających.

Sprzęgła hydrodynamiczne o stałym napełnieniu posiadają zabezpieczenie w postaci korków topikowych. Zadaniem ich jest zabezpieczenie przed termicznym przegrzaniem sprzęgła oraz nadmiernym wzrostem ciśnienia przez wypuszczenie płynu roboczego.

Oprócz sprzęgieł hydrodynamicznych o stałym wypełnieniu cieczą w mocno obciążonych przenośnikach stosowane są sprzęgła o regulowanym stopniu napełnienia przestrzeni roboczej wodą. Przykład budowy takiego sprzęgła przedstawia rysunek 14 [13].



Rys. 14. Sprzęgło hydrodynamiczne o regulowanym napełnieniu wodą DTPKWL 2 [13]

Początkowa faza rozruchu układu napędowego z takim sprzęgłem odbywa się bez obciążenia (przy sprzęgle opróżnionym). Ciecz hydrauliczna jest doprowadzona dopiero po pełnym rozruchu silnika i od tej chwili następuje powolny rozruch przenośnika zgrzeblowego.

Ścianowy przenośnik zgrzeblowy wyposażony w sprzęgła hydrodynamiczne o regulowanym napełnieniu po uzyskaniu przez łańcuch zgrzeblowy prędkości roboczej przechodzi w stan pracy ustalonej. Za optymalne uznaje się wypełnienie przestrzeni roboczej w granicach 70–75% całkowitej pojemności sprzęgła przy pracy ustalonej przenośnika [14].

W przypadku stosowania takiego rodzaju sprzęgieł prędkość roboczą łańcuch zgrzeblowy osiąga po około 30 s od uruchomienia, co przy częstych rozruchach jest czasem zbyt długim. Stanowi to istotną wadę tego typu sprzęgieł hydrodynamicznych.

W przypadku mocno obciążonych przenośników zgrzeblowych, gdzie spodziewane są częste i ciężkie rozruchy, mogą być stosowane sprzęgła przepływowe



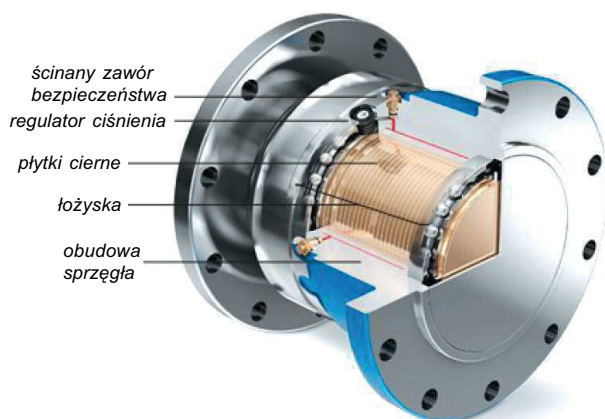
typu DTPW [9]. Konstrukcja tego typu sprzęgieł została wspólnie opracowana przez firmy Voith oraz JOY. W sprzęgle tym następuje ciągła wymiana wody, która najczęściej pochodzi z rurociągu przeciwpożarowego. Jej objętość w komorze roboczej sprzęgła jest ciągle regulowana w zależności od stanu obciążenia przenośnika. Sprzęgło to może pracować z około dwa razy większym poślizgiem niż sprzęgło o stałym napełnieniu.

Podsumowując, sprzęgła hydrodynamiczne są konstrukcją często stosowaną w praktyce eksploatacyjnej od kilkudziesięciu lat. Charakteryzuje je szereg zalet, lecz ich użytkowanie nie jest pozbawione sporej liczby wad. Dlatego też firmy produkujące sprzęgła dla branży wydobywczej poszukiwały nowych rozwiązań.

Firma Halbach-Braun zaproponowała konstrukcję wielopłytkowego sprzęgła przeciążeniowego (sprzęgło poślizgowe). Można je montować pomiędzy silnikiem i przekładnią, a także na wale biernym przekładni.

Sprzęgła tego typu przy umieszczeniu pomiędzy silnikiem a przekładnią łączy się szeregowo ze sprzęgłem elastycznym, np. wkładkowym. Sprzęgła te spotyka się jednak bardzo rzadko w krajowym przemyśle wydobywczym [9].

Podobne rozwiązanie stosuje również firma Voith w swych sprzęgłach przeciążeniowych serii SafeSet (rys. 15). Są one wykorzystywane przede wszystkim w przenośnikach zgrzeblowych amerykańskiego producenta maszyn górniczych Joy Mining Machinery. W tym przypadku również dochodzi do poślizgu w mechanizmie sprzęgła. Regulacja momentu, w którym on następuje, odbywa się w układzie hydraulicznym.

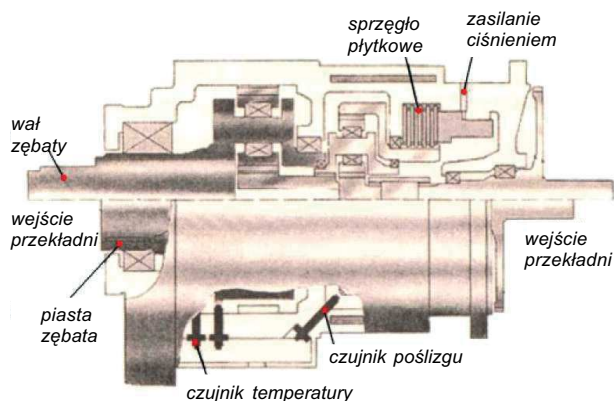


Rys. 15. Budowa sprzęgła przeciążeniowego SafeSet firmy Voith [15]

Do bardziej zaawansowanych sposobów zabezpieczenia układów napędowych przed przeciążeniem,

trudnym rozruchem oraz wyrównującym obciążenie poszczególnych napędów w ścianowym przenośniku zgrzeblowym służą systemy Safesydor firmy Dorstener oraz CST firm DBT i Dodge. W obu rozwiązaniach elementy zabezpieczające zostały bezpośrednio powiązane z przekładnią.

W pierwszym z wymienionych rozwiązań koło o uzębieniu wewnętrznym pierwszego stopnia planetarnego zostało powiązane ze sprzęgłem wielopłytkowym smarowanym olejem (rys. 16).



Rys. 16. System Safesydor firmy Dorstener [9]

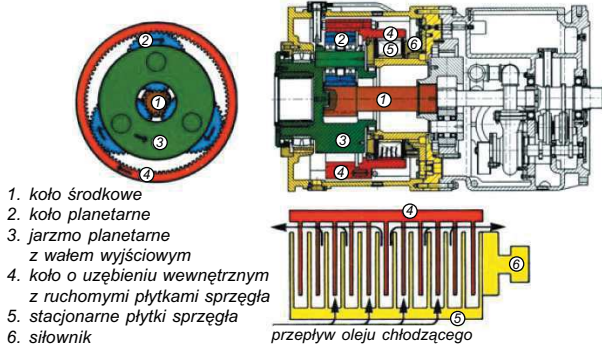
Rozwiązanie to umożliwia zarówno łatwy rozruch przenośnika, a także zabezpiecza układ napędowy przed przeciążeniami w trakcie pracy ustalonej. Dodatkowo pozwala na wyrównywanie mocy poszczególnych silników napędowych.

System ten nie znalazł jednak większego zastosowania w praktyce kopalnianej [9]. Do jego wad należy wysoki koszt produkcji powiązany ze skomplikowanym systemem sterowania, a także zła współpraca z silnikami dwubiegowymi.

W napędach przenośników zgrzeblowych od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku znalazł zastosowanie system CST (*Control Start Transmission*). Wbrew nazwie rozwiązanie to nie służy jedynie ułatwieniu startu przenośnika, lecz przez system sterowania i powiązane z nim układy czujników jest w stanie reagować na wszelkie zmiany obciążenia przenośnika.

Podobnie jak przy systemie Safesydor, układ napędowy CST stanowi połączenie dwóch podzespołów układu napędowego, przekładni i sprzęgła. Umieszczone są one w dwóch zespolonych na stałe częściach wspólnej obudowy. W jednej części znajduje się przekładnia planetarna z wbudowanym sprzęgłem CST, osadzonym na wale wyjściowym. Jest to mokre sprzęgło wielopłytkowe ze specjalnymi wykładzinami ceramicznymi (rys. 17).

Przekładnia planetarna ze sprzęgłem lamelowym



Rys. 17. Budowa zintegrowanego układu CST [16]

W drugiej części obudowy (kolor szary na rys. 16) znajdują się pozostałe elementy systemu, takie jak:

- pompa wysokiego ciśnienia, wymiennik ciepła chłodzący olej;
- sterowanie hydrauliczne, filtr dokładny serwozaworu z płynną regulacją;
- czujnik ciśnienia, temperatury, prędkości obrotowej wejściowej i wyjściowej;
- układ elektroniczny wstępnej obróbki mierzonych wartości;
- sterownik napędowy PROTEC.

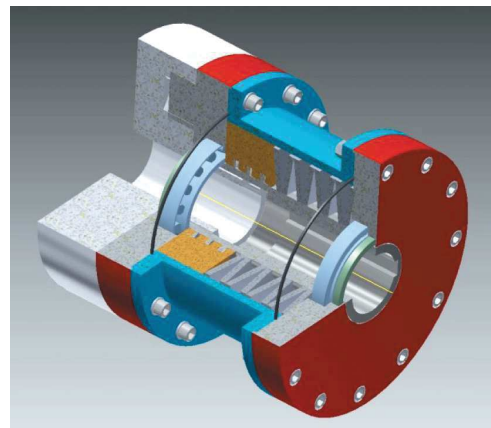
W fazie początkowej rozruchu następuje kolejno uruchomienie wszystkich silników napędowych przenośnika zgrzeblowego. Odbywa się to bez obciążenia. Dopiero po ich całkowitym uruchomieniu do sprzęgła systemu CST doprowadzany jest olej pod ciśnieniem. Podczas tej fazy rozbiegowej następuje synchronizacja wzrostu ciśnienia oleju i tym samym obciążenia silnika. W przypadku wystąpienia różnic w poborze mocy w napędzie mniej obciążonym następuje podwyższenie ciśnienia, wskutek czego wzrasta docisk tarcz sprzęgła i zmniejsza się poślizg, aż do chwili wyrównania obciążeń. Natomiast w przypadku zablokowania napędu przenośnika sterownik urządzenia nakazuje odpowiednim elementom wykonawczym całkowite rozłączenie wszystkich napędów.

System CST oprócz niewątpliwych zalet, wynikających z wymienionych powyżej możliwości, ma również wady, które sprawiły, że nie jest on powszechnie wykorzystywany w polskim górnictwie. Rozwiązanie to charakteryzuje się bowiem dość skomplikowaną konstrukcją, która rzutuje na cenę jego wytworzenia oraz koszty obsługi technicznej [17]. Nie bez znaczenia są również wysokie wymagania co do kultury technicznej użytkownika [9]. Te negatywne cechy sprawiły, że rozwiązanie to jest o wiele rzadziej stosowane w porównaniu ze sprzęgłami hydrodynamicznymi.

Opisane do tej pory konstrukcje sprzęgieł wykorzystywanych w górniczych przenośnikach zgrzeblowych mają zarówno wiele zalet, jak i wad. „Starsze” konstrukcje odznaczają się prostotą oraz niskimi kosztami produkcji i eksploatacji. Nie spełniają one jednak szeregu oczekiwań, jakie się przed nimi stawia. „Nowsze” konstrukcje sprzęgieł spełniają wymagania, natomiast wyróżnia je coraz większy stopień złożoności budowy, co podnosi ich koszty wytworzenia oraz obsługi. Dlatego też należy poszukiwać nowych rozwiązań konstrukcyjnych sprzęgieł łączących pozytywne cechy opisanych powyżej. Takim krokiem jest np. konstrukcja tzw. metalowego sprzęgła podatnego skrętnie, które zostało opracowane w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej.

W skład tego sprzęgła wchodzi elementy wykonane całkowicie z metalu, co stanowi istotną różnicę w porównaniu z aktualnie produkowanymi konstrukcjami. Jego idea, budowa oraz zasada działania zostały opisane m.in. w następujących pozycjach literaturowych [18–20]. Charakteryzuje się ono prostotą budowy, a co za tym idzie niskim kosztem wytworzenia.

Na rysunku 18 przedstawiono widok sprzęgła zaprojektowanego dla układu napędowego o mocy silnika elektrycznego 400 kW. Jest ono zintegrowane ze sprzęgłem wkładkowym i umieszczone pomiędzy silnikiem i przekładnią.

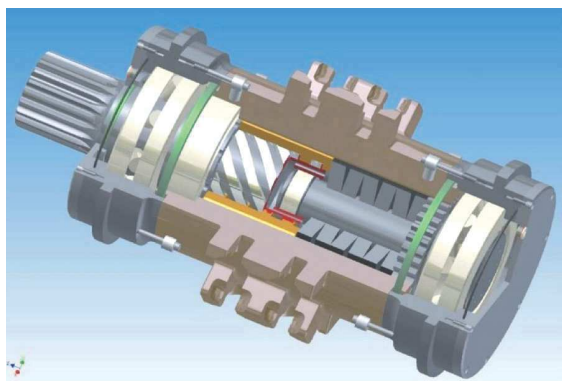


Rys. 18. Widok modelu bryłowego metalowego sprzęgła zaprojektowanego dla układu napędowego przenośnika zgrzeblowego o mocy napędu 400 kW

Mechanizm metalowego sprzęgła podatnego skrętnie może być również umieszczony w bębnie napędowym (rys. 19).

Zintegrowanie dwóch podzespołów układu napędowego w jednej bryle wprowadza oszczędność miejsca. Jest to rozwiązanie oryginalne, niestosowane do tej pory.





Rys. 19. Sprzęgło metalowe podatne skrętnie zintegrowane z bębniem napędowym przenośnika zgrzeblowego (moc napędu 400 kW)

Pośrednim zabezpieczeniem układu napędowego przed przeciążeniem jest również zapewnienie właściwej współpracy łańcucha zgrzeblowego z bębniem łańcuchowym. Rozwiązanie tego problemu zostało opracowane w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Opory ruchu oraz drgania wynikające z przemieszczania się urobku w rynnach są powodem wydłużeń sprężystych łańcucha. Konsekwencją tego zjawiska są zakłócenia w eksploatacji przenośnika spowodowane niewłaściwą współpracą bębna z łańcuchem w miejscu zbiegania. Rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie nadążnego dostosowania wymaganego napięcia wstępnego łańcuchów do warunków eksploatacji przenośnika. Odbywa się to przez przesuwanie kadłuba napędu pomocniczego z wykorzystaniem odpowiedniego algorytmu sterowania o nazwie ASTEN [21].

### 3.2. Przenośniki taśmowe

Przenośniki taśmowe po przenośnikach zgrzeblowych stanowią kolejny element ciągu transportującego urobek z przodka ścianowego.

W układzie napędowym przenośnika jako element zabezpieczenia układu napędowego przed przeciążeniem, które występuje głównie podczas rozruchu, są stosowane następujące rozwiązania techniczne [22]:

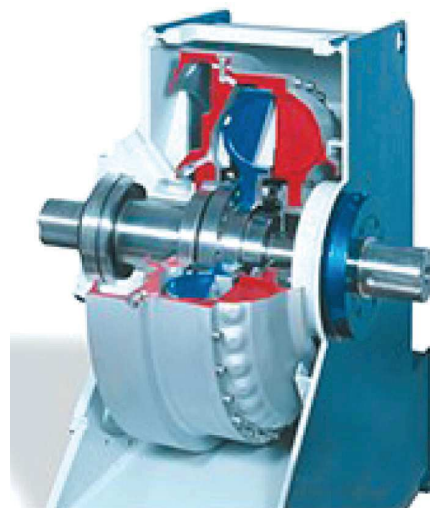
- silniki dwubiegowe,
- rozruszniki tyrystorowe,
- przemienniki częstotliwości,
- wykorzystanie silnika prądu stałego,
- sprzęgła elastyczne,
- sprzęgła hydrodynamiczne,
- system CST.

Podobnie jak w układach napędowych przenośników zgrzeblowych, rozruch przenośnika taśmowego

jest możliwy dzięki zastosowaniu odpowiednich urządzeń rozruchowych. Urządzenia te wspierają fazę rozruchu przenośnika sposobem elektrycznym lub mechanicznym.

Wspomaganie procesu rozruchu w sposób mechaniczny odbywa się za pomocą mechanizmu sprzęgła. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie sprzęgła elastycznego, jednak nie nadaje się ono do przenośników długich i o bardzo dużej bezwładności. Mała podatność skrętna takiego sprzęgła sprawia, że zmniejsza się zdolność uruchomienia załadowanego przenośnika.

W przenośnikach taśmowych wykorzystywane są również sprzęgła hydrodynamiczne, najczęściej o stałym napełnieniu. Są to sprzęgła firmy Voith systemu T, TV, TVV, TVVS [22]. Stosowane mogą być również sprzęgła przepływowe o regulowanym napełnieniu systemu TPKL (rys. 20) i DTPKL lub ich odmiany [22].



Rys. 20. Sprzęgło przepływowe TPKL firmy Voith [15]

Do rozruchu przenośników taśmowych wielonapędowych o znacznej długości i bezwładności stosuje się opisane wyżej systemy o sztucznej inteligencji CST [22]. System ten dobrze nadaje się do współpracy z tego samego typu napędami w przenośniku wyposażonym w bębnowe napędy pośrednie, gdzie prawidłowe usytuowanie napędu o identycznych mocach silników jest bardzo trudne.

## 4. PODSUMOWANIE

Maszyny wykorzystywane w górnictwie podziemnym pracują w szczególnie trudnych warunkach roboczych oraz środowiskowych. Odnosi się to przede wszystkim do maszyn urabiających oraz transportujących urobek. Dodatkowo nowoczesne górnictwo

stawia przed nimi szczególnie trudne wymagania, bowiem mają się one charakteryzować dużą niezawodnością oraz znaczną trwałością. Od ich bezawaryjnej pracy zależy ciągłość wydobywania w zakładzie górniczym.

Ciągły wzrost efektywności procesów technologicznych w górnictwie podziemnym, czyli wydajności maszyn wchodzących w cykl wydobywczy sprawia, że najbardziej narażony na dynamicznie zmieniające się obciążenie podczas pracy jest układ napędowy, który stanowi najważniejszy podzespół każdej maszyny górniczej. Od jego działania zależy efektywność danej maszyny.

Sposobem łagodzenia tych niekorzystnych warunków eksploatacyjnych maszyn urabiających i transportujących urobek w wyrobiskach chodnikowych może być zastosowanie metod pośrednich i bezpośrednich, które mają na celu zabezpieczenie przed przeciążeniem występującym podczas fazy rozruchu oraz pracy ustalonej.

Metody pośrednie związane są z systemem sterowania, gdzie kontrolowane są parametry silników, nie dopuszczając do ich zablokowania i przegrzania.

W metodach bezpośrednich stosowane są przede wszystkim sprzęgła różnych konstrukcji. Sprzęgła wkładkowe składają się z trwałych podzespołów i posiadają prostą budowę oraz zasadę działania, lecz mają sporo ograniczeń. Bardziej zaawansowane systemy, np. CST, Safesydor oraz popularne sprzęgła hydrodynamiczne cechują się wieloma zaletami, ale nie są też wolne od wad. Dlatego wciąż poszukuje się nowych rozwiązań. Jednym z nich może być opracowane w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej metalowe sprzęgło podatne skrętnie. Posiada ono znacznie większą podatność skrętną w porównaniu ze sprzęgłami wkładkowymi, łącząc z nimi prostotę budowy.

#### Literatura

- [1] Broen A.: *Kombajny chodnikowe*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980.
- [2] Dolipski D., Cheluska P.: *Dynamika układu urabiania kombajnu chodnikowego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [3] Świtoński E., Chuchnowski W.: *Optymalizacja cech konstrukcyjnych mechatronicznych układów napędowych maszyn górniczych*, „Maszyny Górnicze” 2008, 4: 23–30.
- [4] Rupik J., Skrzypiec A., Kurek M.: *Doświadczenia eksploatacyjne napędów maszyn przeznaczonych dla górnictwa od hydraulicznych do elektrycznych*, „IV Szkoła Mechanizacji i Automatyizacji Górnictwa”, Szczyrk 2008.
- [5] Suchosek J., Nogas Z.: *Współpraca DAMEL-u z ZSM S.A.*, Sympozjum z okazji 60-lecia Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A., Zabrze 2007.

- [6] Grzesica P.: *Wpływ obciążenia zewnętrznego na siły międzyzębne w przekładniach zębatych maszyn górniczych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
- [7] *Sprzęgła elastyczne typu SP*, dokumentacja techniczno-ruchowa, MOJ S.A. (Grupa Fasing), Katowice 2013.
- [8] Oferta firmy Fabryka Elementów Napędowych FENA, Katowice 2017.
- [9] Suchoń J.: *Górnictwo przemieszczalne. Budowa i zastosowanie*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012.
- [10] Oferta firmy TZ Polska Sp. z o.o., Bytom.
- [11] Antoniuk J.: *Przepływowe sprzęgła wodne do napędów wysokowydajnych ścianowych przenośników zgrzeblowych*, „Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa” 2002, 11: 21–29.
- [12] *Start-up Components for Mining*, broszura firmy Voith Turbo GmbH & Co. KG, Crailsheim 2007.
- [13] *Fill-controlled Fluid Couplings*, broszura firmy Voith Turbo GmbH & Co. KG, Crailsheim 2007.
- [14] Antoniuk J.: *Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1990.
- [15] Oferta firmy Voith GmbH & Co, Niemcy 2017.
- [16] *Zintegrowany układ napędowy WB/CST*, broszura firmy DBT GmbH, Lünen 2000.
- [17] Mendiya P.: *Układy rozruchowe ścianowych przenośników zgrzeblowych*, „Napędy i Sterowanie” 2014, 7/8: 138–144.
- [18] Filipowicz K.: *Doświadczalna i teoretyczna identyfikacja cech dynamicznych nowej konstrukcji sprzęgła podatnego w zastosowaniu do układu napędowego maszyn górniczych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
- [19] Filipowicz K., Kuczaj M.: *Wpływ metalowego sprzęgła podatnego skrętnie na pracę układu napędowego przenośnika zgrzeblowego*. XXIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Trwałość Elementów i Węzłów Konstrukcyjnych Maszyn Górniczych TEMAG” 2015: 19–30.
- [20] Kuczaj M., Filipowicz K.: *Badania symulacyjne wpływu metalowego sprzęgła podatnego skrętnie na rozruch układu napędowego*, XXIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Trwałość Elementów i Węzłów Konstrukcyjnych Maszyn Górniczych TEMAG” 2015: 89–98.
- [21] Dolipski M., Cheluska P., Remiorz E., Sobota P.: *Innowacyjne górnictwo przemieszczalne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2017.
- [22] Antoniuk J.: *Przenośniki taśmowe: wprowadzenie do teorii i obliczenia*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.

dr hab. inż. KRZYSZTOF FILIPOWICZ

dr inż. MARIUSZ KUCZAJ

dr inż. MACIEJ KWAŚNY

Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa

Wydział Górnictwa i Geologii

Politechnika Śląska

ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

{krzysztof.filipowicz, mariusz.kuczaj,

maciej.kwasny}@polsl.pl

dr inż. KRZYSZTOF TWARDOCH

Instytut Podstaw Budowy Maszyn

Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych

Politechnika Warszawska

ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa

krzysztof.twardoch@simr.pw.edu.pl