

## Sprzęgła podatne skrętnie i zespoły sprzęgłowe w układach napędowych przenośników zgrzeblowych

### Torsionally flexible couplings and clutch assemblies in drive systems of scraper conveyors



*Dr hab. inż. Krzysztof  
Filipowicz\**



*Dr inż. Mariusz Kuczaj\**

**Treść:** W opracowaniu zaprezentowano innowacyjne sprzęgło podatne skrętnie do zastosowania w układzie napędowym górnictwa przenośnika zgrzeblowego na tle innych aktualnie stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Omówiono stosowane sposoby łagodzenia negatywnych skutków rozruchu. Przedstawiono zalety i wady poszczególnych konstrukcji sprzęgła.

**Abstract:** This paper presents an innovative torsionally flexible coupling, for use in the drive system of mining scraper conveyor, in the light of other currently used design solutions. Methods of mitigating the negative effects are described. Advantages and disadvantages of individual coupling designs are presented.

#### **Słowa kluczowe:**

*sprzęgła, zabezpieczenie, przeciążenie, układ napędowy*

#### **Keywords:**

*couplings, protection, overload, drive system*

## 1. Wprowadzenie

Przenośniki zgrzeblowe są stosowane do odstawy urobku w wyrobiskach ścianowych i w chodnikach podścianowych. Współpracują również z maszyną urabiającą, stanowiąc dla niej tor jezdny, oraz z obudową zmechanizowaną. Funkcje, które spełniają oraz miejsce ich pracy sprawia, że należą one do najbardziej obciążonych maszyn transportu kopalnianego. Dodatkowo występująca w świecie tendencja do zwiększania efektywności procesów technologicznych poprzez wzrost mocy, a tym samym i wydajności maszyn wchodzących w cykl produkcyjny, przy jednoczesnej optymalizacji ich gabarytów i masy, często prowadzi do wzrostu wzajemnych niekorzystnych oddziaływań dynamicznych ich poszczególnych składowych zespołów mechanicznych. Szczególnie narażonym jest układ napędowy, który stanowi najważniejszy podzespół

każdej maszyny górniczej i jest on najbardziej zagrożony na destrukcyjne działanie zjawisk dynamicznych.

Charakter pracy przenośników zgrzeblowych sprawia, że ich główne zespoły mechaniczne w układzie napędowym, tj. sprzęgła i przekładnie zębate, narażone są na szczególnie intensywne wymuszenia eksploatacyjne w postaci zmiennych obciążeń ze znacznymi chwilowymi przeciążeniami o dużej częstotliwości, zwłaszcza w nieustalonych stanach rozruchowych, a także podczas pracy ustalonej.

Środkiem zaradczym na niekorzystne warunki eksploatacyjne, których przy obecnie prowadzonym, ścianowym systemie eksploatacji nie można zmienić, jest zastosowanie odpowiedniej konstrukcji sprzęgła podatnego skrętnie w układzie napędowym przenośnika zgrzeblowego.

W sprzęgłach podatnych podstawowym elementem jest łącznik (element sprężysty, ciecz, itp.), którego zadaniem jest umożliwienie chwilowego, względnego obrotu wału biernego w stosunku do wału czynnego. Dzięki podatności łącznika

\* Politechnika Śląska, WGiG, Gliwice

sprzęgła te mogą zmniejszać wpływ obciążeń dynamicznych na pracę napędu, łagodzić drgania, zmniejszać nierównomierność przenoszonego momentu obrotowego. W sprzęgłach podatnych łączniki wykonuje się najczęściej z gumy, tworzyw sztucznych, a w przypadku sprzęgieł całkowicie metalowych ze sprężyn najrozmaitszych kształtów (Katalog RULAND..., Katalog LOEWE..., Katalog SEMIFLEX...).

Wiele ośrodków naukowo-badawczych oraz firm produkujących dla potrzeb górnictwa węglowego prowadzi prace mające na celu opracowanie odpowiedniej konstrukcji sprzęgła. Zaproponowane rozwiązania charakteryzują się szeregiem zalet, a także licznymi wadami, o czym szerzej zostanie powiedziane w kolejnym rozdziale.

Mając powyższe na uwadze, w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach zaproponowano nowe rozwiązanie przenoszenia napędu w maszynach, pozwalające na ograniczenie występujących niekorzystnych obciążeń dynamicznych, poprzez zastosowanie oryginalnego, tzw. metalowego sprzęgła podatnego skrotnie.

## 2. Sprzęgła podatne stosowane w napędach górniczych przenośników zgrzeblowych

Warunki pracy maszyn górniczych, szczególnie przenośników zgrzeblowych ścianowych, a także maszyn urabiających sprawiają, że należą one do najtrudniejszych w górnictwie podziemnym. W przypadku przenośników zgrzeblowych znaczne problemy sprawia już sam jego rozruch spowodowany głównie masą urobku znajdującego się na jego trasie, a także zbyt duże napięcie wstępne łańcucha oraz wszelkie problemy po stronie zasilania silników (stan sieci kopalnianej, niewłaściwa kolejność załączania napędów itp.).

Umożliwienie rozruchu załadowanego przenośnika jest możliwe poprzez przedsięwzięcie odpowiednich środków technicznych. Może ono odbywać się na drodze elektrycznej lub mechanicznej. Stosowanymi urządzeniami rozruchowymi na drodze elektrycznej są:

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

W niniejszym artykule autorzy chcą się jednak skupić na metodach łagodzenia negatywnych skutków rozruchu na drodze mechanicznej, rolę tę spełniają sprzęgła podatne

skrotnie. Należy pamiętać, że sprzęgła te oprócz ułatwienia (umożliwienia) rozruchu pełnią również bardzo ważną rolę podczas pracy ustalonej przenośnika.

Dotychczas w górniczych przenośnikach zgrzeblowych często są stosowane na wejściu układów napędowych, między silnikiem i przekładnią, sprzęgła elastyczne z wkładkami elastomerowymi lub poliuretanowymi jedno- lub dwuwkładkowe oraz sprzęgła hydrodynamiczne (np. SH, TV firmy Voith Turbo GmbH, itp.). Rzadziej stosowane są zintegrowane układy napędowe typu WB/CST składające się z przekładni planetarnej i sprzęgła wielopłytkowego. W kolejnych częściach rozdziału przybliżono te rozwiązania techniczne.

### 2.1. Sprzęgło wkładkowe

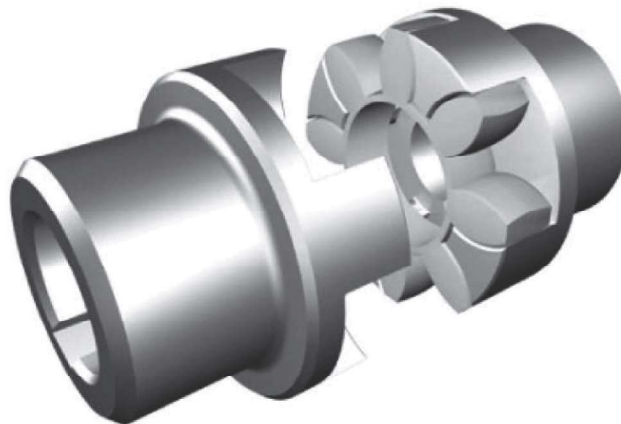
W polskim górnictwie węgla kamiennego typowy układ napędowy maszyny górniczej w postaci przenośnika zgrzeblowego składa się z następujących podzespołów:

- silnik asynchroniczny,
- sprzęgło podatne i/lub hydrodynamiczne,
- przekładnia zębata,
- bęben łańcuchowy.

W układzie napędowym przenośnika zgrzeblowego stosowane są sprzęgła podatne jednowkładkowe typu SP (rys. 1) lub dwuwkładkowe typu SPP (rys. 2). Wkładki wykonane są z gumy lub tworzywa sztucznego o różnym kształcie. Umieszczone są między występami na członach tarczowych. Występy i przedzielające je kanały mogą być umieszczone na obwodzie lub na jego czołowej powierzchni. Wkładki mogą mieć kształt trapezoidalny (rys. 1) lub walcowy. Sprzęgła te pozwalają na przenoszenie maksymalnego momentu obrotowego o wartości do 15 000 Nm. Kształt kłów piast, jak również kształt wkładki elastycznej, zapewniają optymalną wzajemną współpracę w warunkach niedokładnego wyosiowania wałów silnika i urządzenia napędzanego (Sprzęgła elastyczne..., Sprzęgła...).

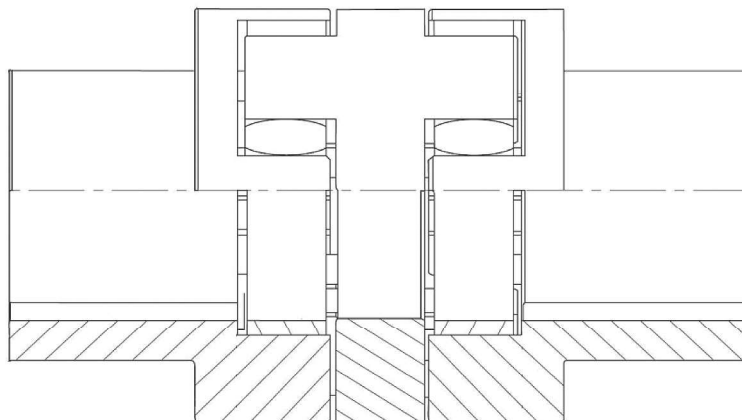
Sprzęgła te cechuje szereg niepodważalnych zalet, a mianowicie:

- prosta i zwarta budowa,
- bezobsługowość,
- niski koszt zakupu,
- nie wymagają smarowania,
- przenoszą wysokie momenty obrotowe przy niewielkich gabarytach,
- odporność na działanie olejów i smarów.



Rys. 1. Sprzęgło podatne jednowkładkowe SP (ASR) (Sprzęgła elastyczne..., Sprzęgła...)

Fig. 1. SP (ASR) flexible coupling (Sprzęgła elastyczne..., Sprzęgła...)



Rys. 2. Sprzęgło podatne dwuwkładkowe SPP (Sprzęgła elastyczne...)

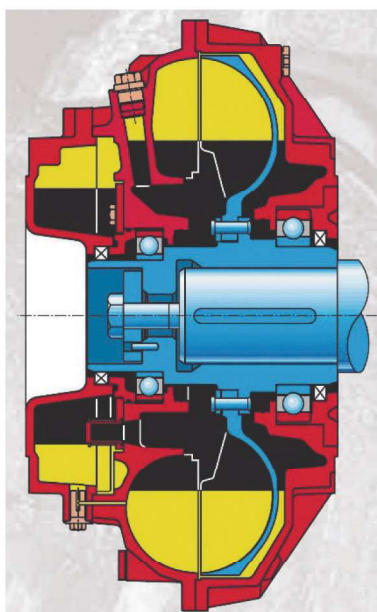
Fig. 2. SPP flexible coupling (Sprzęgła elastyczne...)

Oprócz niepodważalnych zalet sprzęgła te mają też wadę (mała podatność skrętna), która sprawia, że nie jest to optymalne rozwiązanie do stosowania w napędach maszyn górniczych. Można je wykorzystywać w układzie napędowym przenośników taśmowych, lecz nie najlepiej nadają się do pracy w napędzie przenośników zgrzeblowych. Co prawda tłumią drgania skrętne, jednak ze względu na stosunkowo mały względny kąt skręcenia członów nie wspomagają w wystarczający sposób procesu jego rozruchu, co jak już wspomniano, jest sprawą bardzo istotną.

## 2.2. Sprzęgło hydrodynamiczne

W układach napędowych przenośników zgrzeblowych najczęściej są stosowane sprzęgła hydrodynamiczne, które współpracują dodatkowo ze sprzęgłem elastycznym wkładkowym. Sprzęgło hydrodynamiczne należy do grupy sprzęgieł rozruchowo-przeciążeniowych (Antoniak 1990). Tak więc ułatwia ono nie tylko rozruch przenośnika, lecz zabezpiecza również układ napędowy przed przeciążeniami w trakcie jego pracy ustalonej.

Sprzęgła hydrodynamiczne są to złożone układy, w których przeniesienie momentu obrotowego z członu czynnego - zwanego wirnikiem pompowym, na człon bierny - zwany wirnikiem turbinowym (rys. 3), odbywa się za pomocą łącznika w postaci cieczy (Antoniak 2002, Skoć i in. 2008,



Rys. 3. Budowa sprzęgła hydrokinetycznego Voith typu 487 650 TVF (Start-up... 2007)

Fig. 3. The construction of the Voith hydrodynamic coupling, type 487 650 TVF (Start-up... 2007)

Start-up... 2007). Sprzęgła mogą posiadać różną budowę wewnętrzną, przede wszystkim zależną od kształtu i wielkości komór opóźniających.

Moment obrotowy przenoszony jest przez sprzęgło dzięki wykorzystaniu zmiany energii kinetycznej cieczy krążącej między wirnikami pompy i turbiny. W sprzęgło hydrodynamicznym można wyodrębnić trzy stany robocze, a mianowicie: spoczynkowy, rozruchu oraz pracy znamionowej. Podczas fazy rozruchu wzrośnie prędkość obrotowej wirnika pompowego towarzyszy wzrost energii kinetycznej cieczy, która zaczyna przepływać do przestrzeni roboczej sprzęgła, stąd jej strumień w obiegu oddziałuje na łopatki wirnika turbinowego (element bierny) i wprawia go w ruch. Podczas pracy znamionowej sprzęgła występuje poślizg objawiający się nieznaczną różnicą prędkości obrotowych pomiędzy wirnikiem pompowym i turbinowym.

Wyniki wielu prac badawczych oraz praktyka eksploatacyjna, związana ze stosowaniem w napędach przenośników zgrzeblowych sprzęgieł hydrodynamicznych, wskazują na ich następujące cechy:

- rozruch silnika asynchronicznego następuje bez obciążenia roboczego,
- krótkotrwałe obciążenie sieci elektrycznej prądem rozruchowym; w wyniku tego, że układ napędowy w czasie rozruchu nie musi przenosić obciążenia roboczego, stąd krótszy czas przejścia na stabilną część charakterystyki,
- zdolność tłumienia drgań skrętnych,
- ograniczenie maksymalnego momentu obciążającego silnik asynchroniczny,
- możliwość nagłego zatrzymania wału turbiny sprzęgła hydrodynamicznego, w przypadku zablokowania przenośnika zgrzeblowego,
- możliwość rozruchu załadowanego przenośnika zgrzeblowego przy „słabej” sieci elektrycznej pod warunkiem odpowiedniego napełnienia sprzęgła hydrodynamicznego,
- wyrównywanie różnych obciążeń silników asynchronicznych wywołanych zmianą oporów ruchu przenośnika, a także współdziałania bębnow łańcuchowych.

Coraz częściej w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych sprzęgła hydrodynamiczne zastępuje się opisanymi w pkt. 2.1 wkładkowymi sprzęgłami podatnymi. Wynika to z licznych wad sprzęgieł hydrodynamicznych, do których zalicza się:



- stosowanie palnych cieczy roboczych,
- wpływ stopnia napełnienia cieczą roboczą na pracę sprzęgła,
- wrażliwość na podłużne i poprzeczne nachylenie układów napędowych, co jest uzależnione od usytuowania tych układów względem przenośnika,
- dodatkowe koszty związane z obsługą i kontrolą, sprawdzanie szczelności, napełnienia i magazynowanie cieczy roboczej,
- większy koszt wytwarzania w porównaniu ze sprzęgłami podatnymi,
- obniżenie mocy nominalnej na wale turbinowym o procentową wartość jego poślizgu w stosunku do mocy silnika asynchronicznego,
- zależność przenieszonego momentu obrotowego od dokładności wykonania wirników oraz właściwości cieczy roboczej,
- trudniejszy transport i montaż, gdyż masa własna sprzęgła typu np. SH jest prawie dwukrotnie większa niż sprzęgła podatnego typu SPP,
- problemy współdziałania sprzęgieł hydrodynamicznych obecnej konstrukcji z silnikami wielobiegowymi.

### 2.3. Sprzęgło hydrodynamiczne o regulowanym napełnieniu wodą

Oprócz sprzęgieł hydrodynamicznych o stałym wypełnieniu cieczą w mocno obciążonych przenośnikach podczas fazy rozruchu stosowane są sprzęgła o regulowanym stopniu napełnienia przestrzeni roboczej wodą. Przykład budowy takiego sprzęgła przedstawia rys. 4 (Fill-controlled... 2007, Start-up... 2007).

Silniki napędowe przekazujące moment obrotowy na przekładnię zębatą za pośrednictwem sprzęgieł hydrodynamicznych napełnianych wodą, fazę początkową rozruchu realizują bez obciążenia przy sprzęgle opróżnionym. Dopiero po rozruchu silnika do komory roboczej sprzęgła doprowadzana jest woda i następuje powolny rozruch przenośnika zgrzeblowego. Prędkość roboczą łańcuch zgrzeblowy osiąga po około 30 sekundach, co przy częstych rozruchach jest czasem zbyt długim. Należy dodać, że warunkiem poprawnego rozruchu przenośnika wyposażonego w sprzęgła hydrodynamiczne

napełniane wodą jest prawidłowe działanie zaworów regulujących dopływ wody do komór roboczych sprzęgieł.

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 w granicach 70 ÷ 75 % całkowitej pojemności sprzęgła przy pracy ustalonej przenośnika (Antoniak 1990).

Przeprowadzone badania eksploatacyjne sprzęgieł hydrodynamicznych o regulowanym stopniu wypełnienia przestrzeni roboczej wodą, potwierdzają ich dobre warunki ruchowe, jednak w fazie rozruchu nawet one nie zabezpieczają napędu przenośnika przed przeciążeniem (Dolipski i in. 1995).

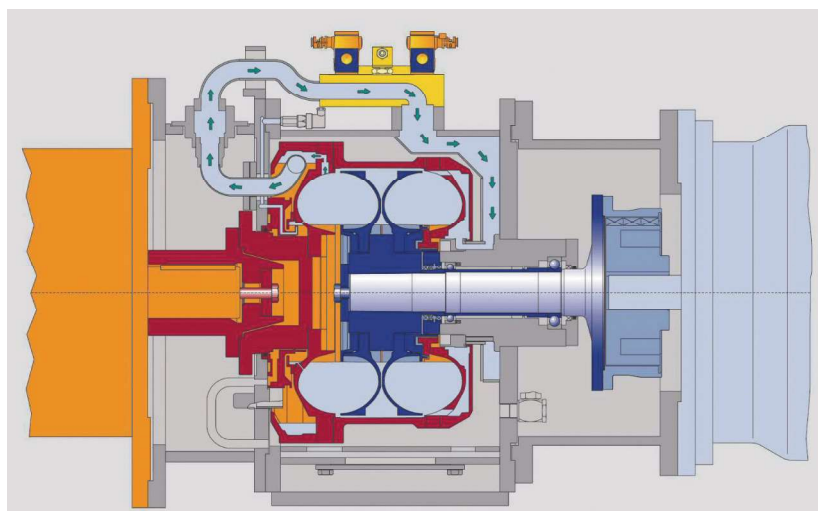
### 2.4. Zintegrowany system napędowy CST

W napędach przenośników zgrzeblowych od 1995 roku stosowany jest zintegrowany układ napędowy CST, który składa się z dwóch części obudowy połączonych ze sobą stałe. W jednej części znajduje się przekładnia planetarna z wbudowanym sprzęgłem CST, osadzonym na wale wyjściowym. Jest to mokre sprzęgło wielopłytkowe ze specjalnymi wykładzinami (rys. 5).

W drugiej części obudowy (bez oznaczeń na rys. 4) znajdują się pozostałe elementy systemu:

- pompa wysokiego ciśnienia, wymiennik ciepła chłodzący olej,
- sterowanie hydrauliczne, filtr dokładny serwozaworu z płynną regulacją,
- czujnik ciśnienia, temperatury, prędkości obrotowej wejściowej i wyjściowej (poślizg),
- elektroniczna wstępna obróbka wartości mierzonych,
- sterownik napędowy PROTEC.

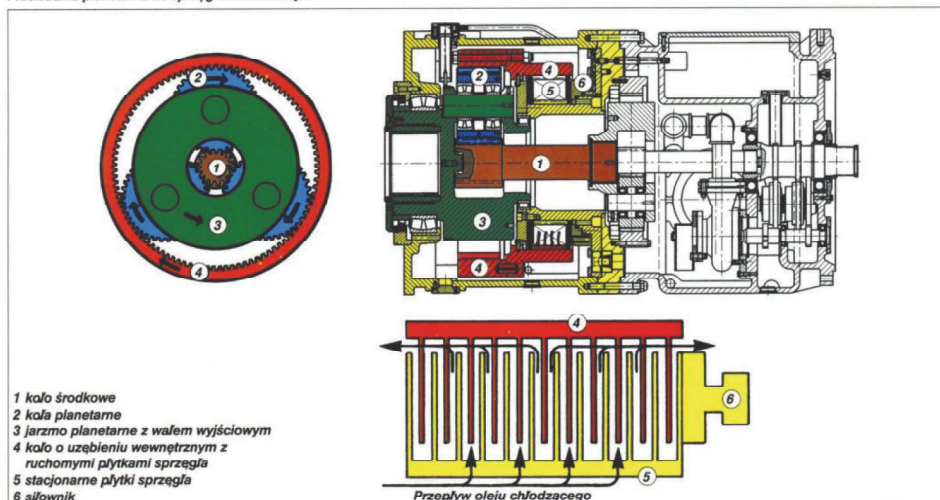
Pompa oleju zapewnia jego przepływ przez cały układ o wydajności do 1500 l/min. Olej, oprócz odprowadzania ciepła, wytwarza narastający docisk pomiędzy tarczami sprzęgła, sterując poślizgiem sprzęgła od 100% do 0%. Przy włączeniu przenośnika wszystkie silniki napędzające zwiększają swą prędkość bez obciążenia, przy czym silniki te nigdy nie są uruchamiane jednocześnie, lecz zawsze ze zwłoką czasową, aby chronić sieć zasilającą. Dopiero, gdy ostatni silnik osiągnie swą pełną prędkość obrotową, do układów napędowych



Rys. 4. Sprzęgło hydrodynamiczne o regulowanym napełnieniu wodą DTPKWL 2 (Fill-controlled... 2007)

Fig. 4. The hydrodynamic coupling, type DTPKWL 2 with adjustable filling with water (Fill-controlled... 2007)

Przekładnia planetarna ze sprzęgłem lamelowym



Rys. 5. Zintegrowany układ CST przekładni planetarnej ze sprzęgłem wielopłytkowym (Zintegrowany... 2000)

Fig. 5. Integrated planetary gear system with multiple-disk clutch (Zintegrowany... 2000)

CST podawane jest ciśnienie. Podczas tej fazy rozbiegowej następuje synchronizacja wzrostu ciśnienia i tym samym obciążenia silnika. W przypadku wystąpienia różnic w poborze mocy, w napędzie mniej obciążonym następuje podwyższenie ciśnienia docisku sprzęgła i zmniejszenie poślizgu aż do chwili wyrównania obciążeń.

Zastosowanie w układzie napędowym przenośnika zgrzeblowego systemu CST wraz z zaawansowanym sterowaniem pozwala na płynną regulację pracy przenośnika zarówno w czasie rozruchu, jak i podczas jego pracy ustalonej. Jednak oprócz tej niepodważalnej zalety układ ten charakteryzuje się dość skomplikowaną konstrukcją, która rzutuje na cenę jego wytworzenia oraz koszt obsługi technicznej (Mendyka 2014). Te negatywne cechy sprawiły, że rozwiązanie to jest o wiele rzadziej stosowane w porównaniu ze sprzęgłami hydrodynamicznymi.

## 2.5. Sprzęgło przeciążeniowe

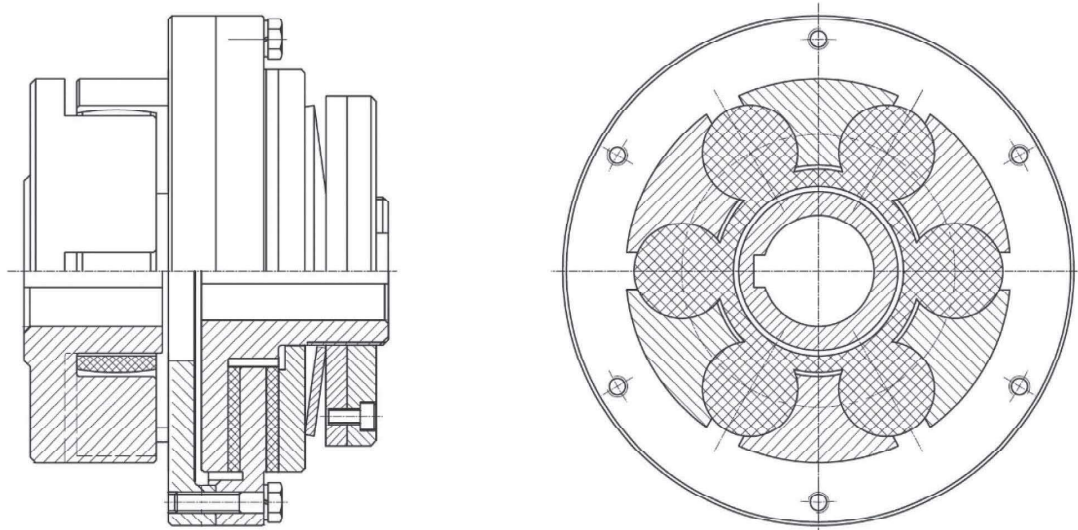
W układach napędowych przenośników zgrzeblowych oprócz sprzęgła podatnych skrzynie stosowane są również

sprzęgła przeciążeniowe. Sprzęgła tego typu służą do zabezpieczenia najsłabszego elementu układu napędowego przed przeciążeniami i oddziaływaniami dynamicznymi, pochodzącymi od maszyny roboczej. Ich działanie opiera się na:

- całkowitemu rozłączeniu napędu przy wzroście momentu obrotowego ponad wartość graniczną,
- ograniczeniu wartości przenoszonego momentu do wartości bezpiecznej, poprzez zastosowanie łączników kształtowo-ciernych, ciernych lub elektromagnetycznych.

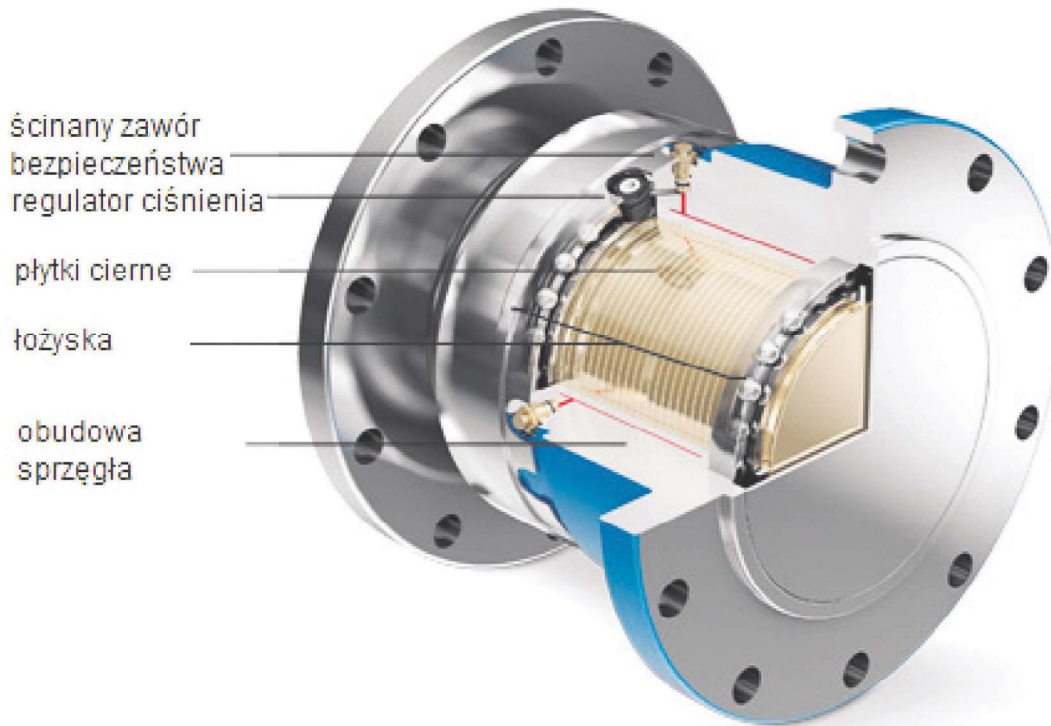
Na rys. 6 przedstawiono przykładową konstrukcję sprzęgła przeciążeniowego APMX (Sprzęgła...). Jest to sprzęgło podatne wkładkowe z regulowaną wartością momentu obrotowego, przy którym następuje poślizg na okładzinach ciernych i rozłączenie napędu.

Inne rozwiązanie stosuje firma Voith w swych sprzęgłach przeciążeniowych serii SafeSet. 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, jednak regulacja momentu, w którym następuje odbywa się w układzie hydraulicznym sprzęgła.



Rys. 6. Sprzęgło przeciążeniowe APMX (Sprzęgła ...)

Fig. 6. APMX overriding clutch (Sprzęgła ...)



Rys. 7. Sprzęgło przeciążeniowe SafeSet firmy Voith ([www.voith.com...](http://www.voith.com...) 2017)  
 Fig. 7. Voith SafeSet overriding clutch ([www.voith.com...](http://www.voith.com...) 2017)

## 2.6. Metalowe sprzęgło podatne skrętnie

Istniejące rozwiązania konstrukcyjne napędów przenośników zgrzeblowych z zastosowanymi sprzęgłami podatnymi wkładkowymi, hydrodynamicznymi, czy napędami CST cechują się zarówno licznymi zaletami, jak i wadami, o których wspomniano wcześniej. Należy zaznaczyć, że wdrażane, nowe postacie konstrukcyjne sprzęgieł wyróżniają się coraz większym stopniem złożoności budowy, co podnosi ich koszty wytworzenia oraz obsługi. Duża liczba cech negatywnych tych rozwiązań sprawia, że poszukuje się nowych, lepszych rozwiązań, które spełnią stawiane wymagania eksploatacyjne.

W związku z powyższymi uwagami w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa opracowano konstrukcję nowego sprzęgła podatnego skrętnie do zastosowania m. in. w napędzie przenośników zgrzeblowych. Zostało ono nazwane *metalowym sprzęgłem podatnym skrętnie*, gdyż w skład jego podzespołów wchodzi elementy wykonane tylko z metalu, co stanowi istotną różnicę w porównaniu do aktualnie produkowanych konstrukcji. Ze względu na to, że budowa i zasada działania sprzęgła została szeroko zaprezentowana w licznych pozycjach literaturowych, m. in. (Filipowicz 2009, 2011), w niniejszym artykule skupiono się na wykorzystaniu tej konstrukcji w układzie napędowym przenośnika zgrzeblowego.

W tym miejscu należy dodać, że konstrukcja sprzęgła pozwala na kształtowanie jego charakterystyk w zależności od wymagań wynikających z charakteru pracy maszyny roboczej. Cechy konstrukcyjne sprzęgła, definiujące jego charakterystykę, można w sposób analityczny określić już na etapie projektowania napędu. Uzyskuje się to przez dobór odpowiedniego zestawu sprężyn o żądanej charakterystyce. Dlatego też w łatwy sposób można dostosować, innymi słowy, dostroić mechanizm sprzęgła do pracy w napędzie przenośnika.

Na rys. 8 przedstawiono przygotowaną koncepcję układu napędowego o mocy silnika elektrycznego 400 kW z adaptowanym do tego celu metalowym sprzęgłem podatnym skrętnie. Natomiast na rys. 9 zaprezentowano widok samego sprzęgła, zaprojektowanego do tego układu napędowego.

Jak można zauważyć na rys. 8, zastosowanie metalowego sprzęgła w pewien sposób upraszcza układ napędowy. Jedynym prostszym rozwiązaniem jest zastosowanie pojedynczego sprzęgła wkładkowego. Rozwiązanie to jest niewątpliwie tańsze i mniejsze gabarytowo, lecz jak już wspomniano, sprzęgło to charakteryzuje się niewielkim kątem skręcenia, wynoszącym zaledwie kilka stopni. Jest to wartość zbyt mała, aby umożliwić łagodny rozruch układu napędowego przenośnika. Również materiał, z którego wykonuje się element podatny nie przedstawia dużej trwałości, szczególnie w warunkach kopalnianych.

Wykorzystanie metalowego sprzęgła podatnego skrętnie w układzie napędowym przenośnika zgrzeblowego jest rozwiązaniem bardziej optymalnym pod względem wymiarów gabarytowych i masy napędu od najczęściej stosowanych aktualnie rozwiązań, tzn. pary sprzęgieł wkładkowego i hydrodynamicznego lub zintegrowanego układu napędowego składającego się z przekładni planetarnej i sprzęgła wielopłytkowego. Również dzięki stosunkowo prostej budowie jest ono niewątpliwie tańsze w produkcji od wspomnianych rozwiązań. W bezpośrednim porównaniu do napędu CST nawet kilkukrotnie.

Wspomniana budowa sprzęgła sprawia, że jego eksploatacja jest prosta i nie wymaga wykwalifikowanej obsługi. Polega ona bowiem na okresowym sprawdzaniu uszczelnień oraz stopnia zużycia podzespołów mechanizmu sprzęgła i ich ewentualnej wymianie. Wpływa to na niski koszt jego obsługi.

Należy również podkreślić, co jest niebagatelne w przypadku eksploatacji w strefie zagrożenia wybuchem, że metalowe sprzęgło nagrzewa się jedynie w sposób nieznacz-



ny (pomijalnie). Inaczej jest podczas eksploatacji sprzęgieł hydrodynamicznych, czy też systemu CST, gdzie ciecz lub zestaw tarcz sprzęgła mogą w sposób znaczny nagrzewać się, wpływając tym samym na sprawność całego napędu.

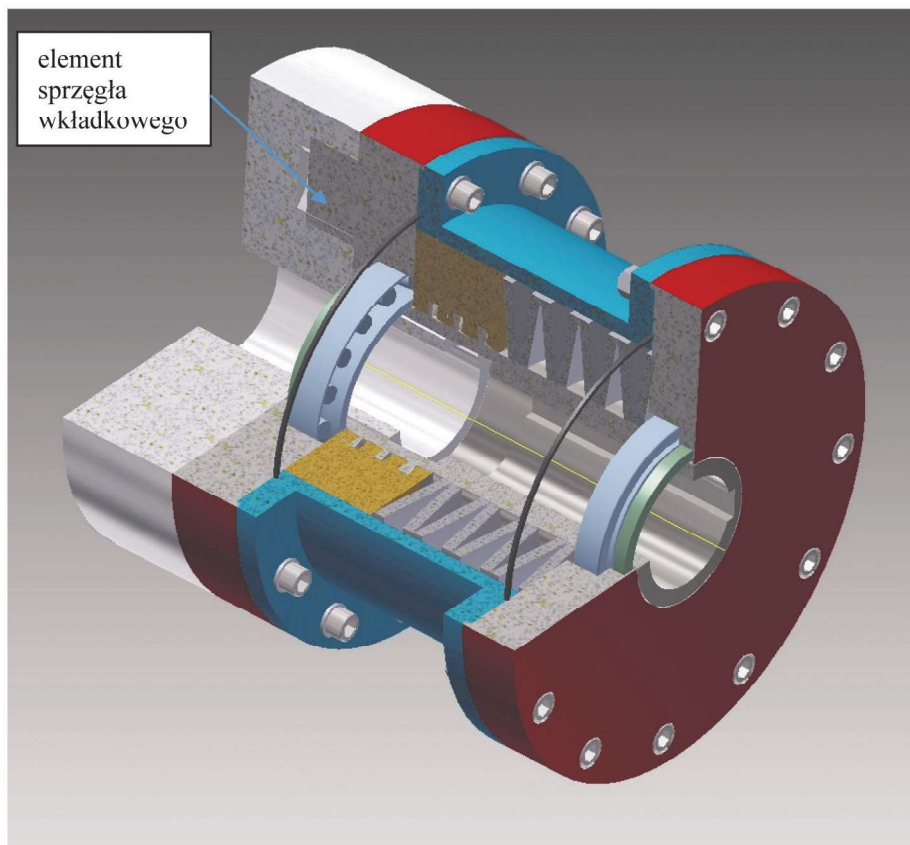
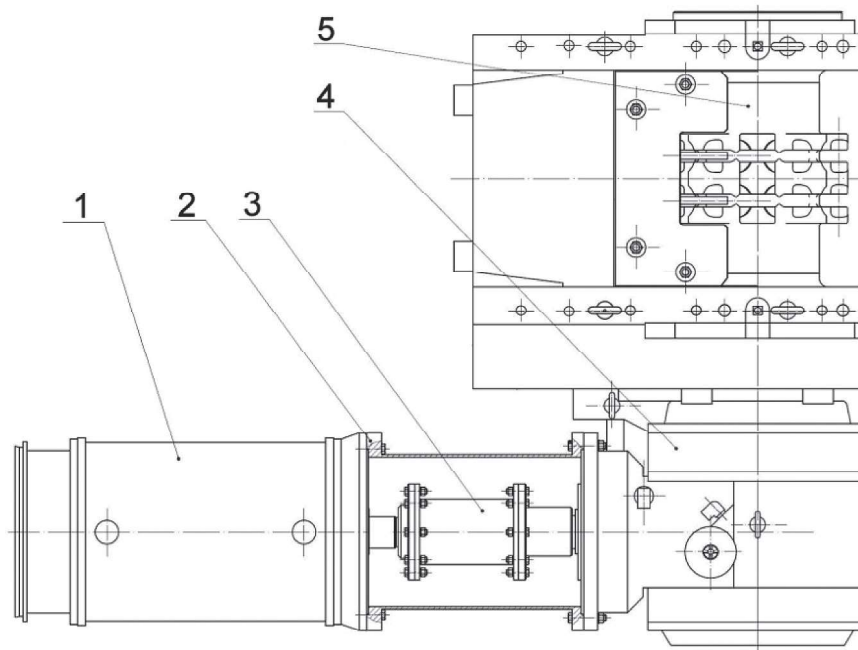
Kolejnym atutem stosowania metalowego sprzęgła podatnego jest również to, że do prawidłowej pracy musi być jedynie wyosiowane z pozostałymi elementami układu napędowego. Nie wymaga ono poziomowania, tak jak to jest

bezwzględnie konieczne w przypadku sprzęgieł hydrodynamicznych.

Oryginalnym rozwiązaniem konstrukcyjnym, które wykorzystuje mechanizm metalowego sprzęgła podatnego skrajnie jest zastosowanie bębna łańcuchowego z wbudowanym sprzęgłem, tak jak to zostało przedstawione na rys. 10. Rysunek ten przedstawia przygotowany model bryłowy prototypu takiego rozwiązania dla jednosilnikowego układu napędowego, jak

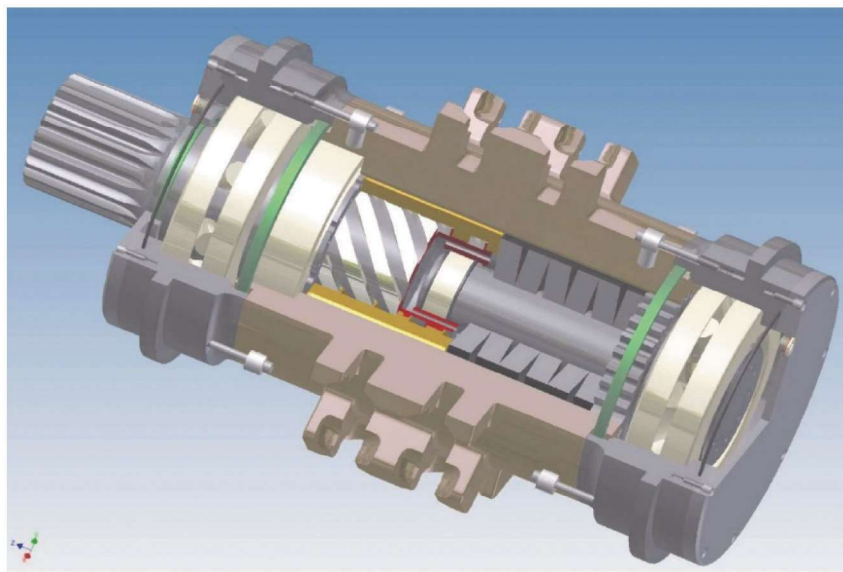
Rys. 8. Przykładowa koncepcja układu napędowego przenośnika zgrzeblowego 400 kW z metalowym sprzęgłem podatnym skrajnie: 1 – silnik elektryczny, 2 – garnek, 3 – metalowe sprzęgło podatne skrajnie, 4 – przekładnia zębata kątowna stożkowo-planetarna, 5 – bęben napędowy przenośnika zgrzeblowego

Fig. 8. Exemplary concept of 400 kW scraper conveyor drive system with metal torsionally flexible coupling: 1 – electric motor, 2 – pot, 3 – metal torsionally flexible coupling, 4 – bevel – planetary gear, 5 – going barrel of the scraper conveyor



Rys. 9. Model wirtualny metalowego sprzęgła podatnego skrajnie zintegrowanego ze sprzęgłem wkładkowym, zaprojektowany do przenośnika zgrzeblowego o mocy napędu 400 kW polskiego wytwórcy

Fig. 9. Virtual model of a torsionally flexible metal coupling integrated with insertion clutch, designed for a 400kW drive by Polish manufacturer



**Rys. 10. Sprzęgło metalowe podatne skrętnie zintegrowane z bębniem napędowym przenośnika zgrzeblowego (moc napędu 400 kW)**

**Fig. 10. Torsionally flexible metal coupling integrated with the going barrel of the scraper conveyor**

z rys. 5 (moc napędu również wynosi 400 kW). Silnik z przekładnią może być połączony za pomocą sprzęgła sztywnego lub sprzęgła wkładkowego. Przedstawione rozwiązanie jeszcze bardziej optymalizuje układ napędowy pod względem wymiarów gabarytowych i co należy podkreślić, zintegrowanie tych dwóch elementów układu napędowego w jednej bryle nie jest oferowane aktualnie przez żadnego z producentów.

W Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa przeprowadzono szereg badań stanowiskowych (Filipowicz 2009, 2011) wykonanych na prototypach sprzęgieł zaprojektowanych na różną wartość przenoszonego momentu obrotowego. Badania te zostały uzupełnione symulacjami komputerowymi (Filipowicz, Kuczaj 2015, Kuczaj, Filipowicz 2015) pracy sprzęgła podczas rozruchu i pracy ustalonej dla danych rzeczywistych zarejestrowanych podczas pracy przenośnika zgrzeblowego. Badania te potwierdziły, iż sprzęgło charakteryzuje się szeregiem zalet i może znaleźć zastosowanie, np. w:

- maszynach, których obciążenie ma charakter dynamiczny (przenośniki zgrzeblowe, kruszarki itp.), zarówno podczas rozruchu, jak i podczas pracy ustalonej,
- maszynach, charakteryzujących się znacznym momentem obrotowym obciążającym układ napędowy podczas rozruchu (tzw. „ciężki rozruch”),
- przy znacznych przeciążeniach układów napędowych.

### 3. Podsumowanie

Sprzęgła stanowiące podzespół układów napędowych przenośników zgrzeblowych eksploatowanych w kopalniach węgla kamiennego, powinny cechować się relatywnie małymi gabarytami i masą, a jednocześnie powinny odznaczać się podatnością skrętną, dużą obciążalnością i wysoką trwałością. W wyniku zastosowania tego rodzaju sprzęgła obciążenia dynamiczne układu napędowego maszyny powinny ulec znacznej redukcji, a także ma ono stanowić zabezpieczenie przed występującymi przeciążeniami zarówno podczas rozruchu, jak i podczas pracy ustalonej.

Istniejące rozwiązania konstrukcyjne napędów przenośników z zastosowanymi sprzęgłami podatnymi wkładkowymi, sprzęgłami hydrodynamicznymi czy zaawansowanymi sys-

temami WB/CST cechują się zarówno licznymi zaletami, jak i wadami, szerzej opisanymi w rozdziale drugim niniejszego opracowania.

Sprzęgła wkładkowe z racji swojej budowy nie spełniają wszystkich funkcji jakie stawia się nowoczesnym napędem przenośników zgrzeblowych. Natomiast pozostałe rozwiązania są bardzo kosztowne i rozbudowane konstrukcyjnie, a także niepozbawione wad. W związku z tym istnieje konflikt wyboru pomiędzy rozwiązaniem lepszym, ale droгим, a prostym i tanim nierozłącznym sprzęgłem podatnym wkładkowym. Panaceum na tę sytuację może być zastosowanie metalowego sprzęgła podatnego skrętnie.

Sprzęgło to składa się z trwałych podzespołów i posiada prostą budowę oraz zasadę działania. Nadaje się ono w sposób szczególnie do układu napędowego przenośnika zgrzeblowego, w którym występują duże obciążenia, cechujące się znaczną zmiennością w czasie oraz licznymi przeciążeniami.

*Artykuł przygotowano na Międzynarodową Konferencję TEMAG 2017, która odbyła się w Ustroniu w dniach 19-21.10.2017.*

### Literatura

- ANTONIAK J. 1990 - Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- ANTONIAK J. 2002 - Przepływowe sprzęgła wodne do napędów wysokowydajnych ścianowych przenośników zgrzeblowych. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” nr 11.
- DOLIPSKI M., SOBOTA P., OSADNIK J. 1995 - Ungleichmaessige Leistungsaufnahme von Antriebssystemen in Strebfoerderern. An International Scientific Conference on the occasion of the 50th anniversary of noving VSB-Technical University Ostrava.
- FILIPOWICZ K. 2009 - Doświadczalna i teoretyczna identyfikacja cech dynamicznych nowej konstrukcji sprzęgła podatnego w zastosowaniu do układu napędowego maszyn górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- FILIPOWICZ K. 2011 - Dwukierunkowe metalowe sprzęgła podatne skrętnie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- FILIPOWICZ K., KUCZAJ M. 2015 - Wpływ metalowego sprzęgła podat-



- nego skrzętnie na pracę układu napędowego przenośnika zgrzeblowego. XXIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Trwałość Elementów i Węzłów Konstrukcyjnych Maszyn Górniczych TEMAG 2015”, s.19-30, ISBN 978-83-60837-95-5.
- Fill-controlled Fluid Couplings. Voith Turbo GmbH & Co. KG, Crailsheim 2007
- <http://voith.com/de/produkte-leistungen/antriebstechnik/drehmomentbegrenzende-kupplungen/safeset-67170.html>. Dostęp z dnia 19.09.2017.
- Katalog RULAND, Orbit Antriebstechnik GmbH-Oldham Kuplungen.
- Katalog Schmidt-Kupplung GmbH: LOEWE® GK Gelenkkupplung.
- Katalog Schmidt-Kupplung GmbH: SEMIFLEX Kuplungen.
- KUCZAJ M., FILIPOWICZ K. 2015 - Badania symulacyjne wpływu metalowego sprzęgła podatnego skrzętnie na rozruch układu napędowego. XXIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Trwałość Elementów i Węzłów Konstrukcyjnych Maszyn Górniczych TEMAG 2015”, s. 89-98, ISBN 978-83-60837-95-5.
- MENDYKA P. 2014 - Układy rozruchowe ścianowych przenośników zgrzeblowych. „Napędy i Sterowanie” nr 7/8.
- SKOĆA., SPAŁEK J., MARKUSIK S. 2008 - Podstawy konstrukcji maszyn, t. 2. WNT, Warszawa.
- Sprzęgła elastyczne, SP. MOJ S.A., Katowice.
- Sprzęgła, hamulce, korpusy, oprawy. Fabryka Elementów Napędowych FENA, Katowice.
- Start-up Components for Mining. Voith Turbo GmbH & Co. KG, Crailsheim 2007.
- Zintegrowany układ napędowy WB/CST. DBT GmbH, Lünen 2000.

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2017  
Artykuł akceptowano do druku 20.02.2018