

Aleksander KOWAL, Krzysztof FILIPOWICZ
Politechnika Śląska, Gliwice

NOWE ROZWIĄZANIA UKŁADÓW NAPĘDOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH Z METALOWYM SPRZĘGŁEM PODATNYM SKRĘTNIE

Streszczenie. W pracy przedstawiono koncepcję budowy nowego typu układów napędowych z metalowym sprzęgłem podatnym skrętnie. W zależności od potrzeb, od rodzaju maszyny zastosowane w układach napędowych sprzęgło może mieć różną postać konstrukcyjną. Zaletami nowego sprzęgła są m.in. duża trwałość przy braku niemetalowych elementów podatnych, możliwość przenoszenia dużych momentów obrotowych oraz znacznego łagodzenia chwilowych przeciążeń.

NEW SOLUTION TO ARRANGEMENTS OF DRIVING MINING MACHINES WITH THE METAL FLEXIBLE TORSIONAL COUPLING

Summary. At work was presented a conception of structure of the new type of driving systems with the metal flexible torsional coupling. Depending on needs, from the type it coupled machines, applied in driving arrangements, he can have the different structural form. They are advantages of the new coupling among others great permanence at the lack of non-metallic susceptible elements, possibility of moving great torques and considerable relieving momentary overload.

1. Wstęp

W górnictwie węglowym wymaga się, aby projektowane systemy maszynowe miały zwiększoną nośność i niezawodność działania. Wprowadzanie innowacyjnych postaci konstrukcyjnych maszyn i ich elementów potrzebne jest użytkownikom, a także producentom maszyn i urządzeń z powodu zwiększenia konkurencyjności ich wytworów. Prowadzenie restrukturyzacji górnictwa powoduje konieczność wdrażania nowych rozwiązań

konstrukcyjnych, zapewniających wzrost efektywności produkcji górniczej. Dotyczy to zarówno całych systemów, układów, jak i poszczególnych maszyn.

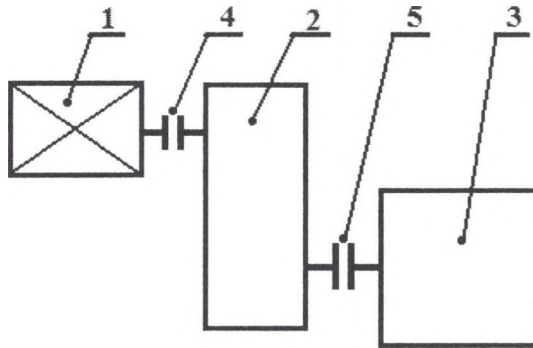
Jednym z ogniw systemu urabiania i wydobywania są układy napędowe, a elementami układów napędowych, od których zależy m. in. niezawodność pracy maszyn urabiających i transportujących urobek, są mechaniczne przekładnie, których awaryjność jest znacząca [16].

W górnictwie węglowym problematyka niezawodności, ze względu na efekty ekonomiczne i bezpieczeństwo pracy, w szczególności dotyczy maszyn wyciągowych, obudów zmechanizowanych, kombajnów ścianowych, chodnikowych, strugów, przenośników ścianowych i podścianowych [2].

Ogromny postęp w światowej technologii eksploatacji systemem ścianowym, eksploatacji chodników i odstawy urobku oraz dowozu materiałów do przodka wymusza stosowanie niezawodnych maszyn, które w zasadniczy sposób wpływają na wskaźnik wydobywania [3]. Odpowiednią niezawodność działania układów można uzyskać przez zwiększenie nośności elementów i zespołów maszyn, a zwiększenie nośności uzyskać można przez odpowiednie ich ukształtowanie konstrukcyjne, co oznaczać może także zmniejszanie wpływu czynników niszczących.

Typowy układ napędowy maszyny roboczej przedstawia rysunek 1.

W układach napędowych górniczych maszyn roboczych zespoły tego układu, takie jak sprzęgła i przekładnie zębate, narażone są na szczególnie intensywne oddziaływania eksploatacyjne, które wynikają z dużych i zmiennych obciążeń ze znacznymi chwilowymi przeciążeniami oraz z dużej częstotliwości rozruchów [6].



Rys. 1. Układ napędowy maszyny, gdzie: 1 – silnik, 2 – przekładnia, 3 – maszyna robocza, 4 – sprzęgło podatne na wejściu przekładni, 5 – sprzęgło na wyjściu przekładni

Fig. 1. Drive system of the machine, where: 1 – motor, 2 – gear, 3 – working machine, 4 – coupling on the entry of the gear, 5 – coupling on the exit of the gear

2. Nowe konstrukcje elementów układów napędowych

Warunki pracy układów napędowych stosowanych w maszynach górniczych determinują używanie w tych układach sprzęgieł o dużej podatności skrętnej, odpornych na oddziaływanie określonych warunków obciążeń. Odpowiednią podatność skrętną sprzęgła może zapewnić rozwiązania opracowane w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej [12, 13].

2.1. Wał przegubowy podatny skrętnie do lokomotywy akumulatorowej typu Lea-BM 12/T

W lokomotywie akumulatorowej typu Lea-BM 12/T połączenie wału silnika elektrycznego z przekładnią napędzającą koła jezdne realizowane jest za pomocą typowego wału Cardana z przegubami i wielowypustem. Powstające znaczne nadwyżki momentu skręcającego, zwłaszcza podczas jazdy po łukach torowiska, powodują częste uszkodzenia tego elementu układu napędowego. Wał Cardana pod wpływem przekroczenia dopuszczalnego momentu skręcającego ulega awarii polegającej najczęściej na utracie nośności połączeń spawanych złącza rurowego. W wyniku tego wał zostaje rozdzielony na dwie części, które swobodnie obracając się, niszczą inne elementy układu napędowego. Doraźnym rozwiązaniem, zastosowanym w napędzie lokomotywy, jest dodatkowe osłonięcie wału.

Innym rozwiązaniem, które może być zastosowane w układzie napędowym, jest połączenie elementów napędu za pomocą wału przegubowego podatnego skrętnie.

Idea rozwiązania konstrukcyjnego metalowego sprzęgła może być zastosowana w przedstawionym na rysunku 2 wale przegubowym podatnym skrętnie. Wał ten służy szczególnie do przenoszenia dynamicznych obciążeń skrętnych i może znaleźć zastosowanie w połączeniach silnika z przekładniami mechanicznymi, gdzie czopy elementów układu napędowego nie są współosiowe.

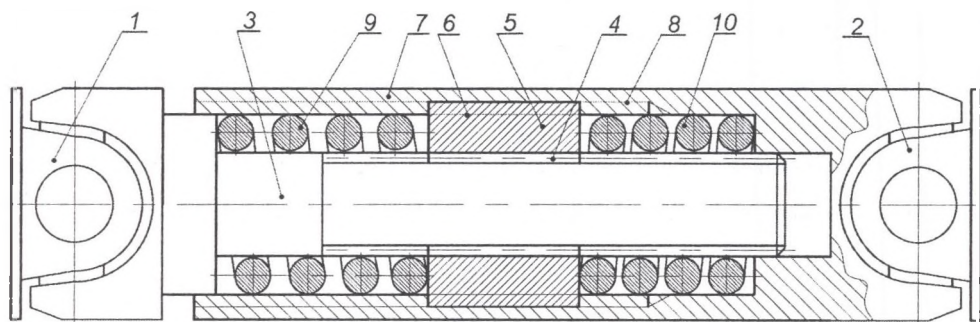
Taka postać konstrukcyjna wału rozwiązuje problem zmniejszenia chwilowych obciążeń dynamicznych układu napędowego maszyny w czasie rozruchu. Znane są metalowe wały przegubowe, zwane wałami Cardana, które przenoszą moment obrotowy, np. z silnika do przekładni. Sprzęgło to jest sztywne i przenosi obciążenia impulsowe, udarowe i nie tłumi drgań. W wałach tych zmianom prędkości kątowej członu biernego towarzyszy zmiana przenoszonego momentu obrotowego, co powoduje generowanie drgań na jego wyjściu.

Istotą nowego rozwiązania jest to, że w wale przegubowym między przegubami krzyżakowymi umieszczone jest sprzęgło podatne skrętnie [9, 10].

Wał charakteryzuje się tym, że składa się z przegubów krzyżakowych oraz wału połączonego ruchowym połączeniem kształtowym z tuleją, na której na zewnętrznej powierzchni cylindrycznej wykonany jest gwint niesamohamowny, a wewnątrz obudowy w otworze tej obudowy wykonany jest gwint współpracujący z gwintem wykonanym na tulei, przy czym obrót wału powoduje przesuwanie się w mechanizmie gwintowym tulei, a sprężyny odkształcają się pod wpływem obciążenia.

Połączenie kształtowe może być ruchowym połączeniem wielowypustowym lub połączeniem ruchowym z dwoma wpustami podzielonymi wzdłużnie.

Działanie przegubowego wału podatnego skrętnie polega na tym, że w obudowie sprzęgła wykonany jest wielozwojowy gwint niesamohamowny, który współpracuje z gwintem wykonanym na zewnętrznej powierzchni walcowej tulei. Ten mechanizm gwintowy przenosi moment obrotowy, który przekazywany jest na tuleję z wału za pośrednictwem ruchowego połączenia kształtowego, np. wielowypustowego. Wał i obudowa sprzęgła przegubowego podatnego skrętnie połączone są za pomocą przegubów krzyżakowych z czopami silnika i przekładni.



Rys. 2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego wału przegubowego podatnego skrętnie, gdzie: 1, 2 – przeguby Cardana, 3 – wał, 4 – połączenie wielowypustowe, 5 – tuleja, 6 – mechanizm gwintowy, 7 – obudowa, 8 – gwint wewnętrzny, 9, 10 – sprężyny

Fig. 2. The example of constructional solution of the jointed flexible torsional shaft, where: 1, 2 – Cardan joints, 3 – shaft, 4 – splined connection, 5 – sleeve, 6 – thread mechanism, 7 – casing, 8 – internal thread, 9, 10 – springs

W przypadku statycznej lub dynamicznej zmiany obciążenia wału przegubowego podatnego skrętnie tuleja przesunie się względem obudowy oraz wału. Nacisk na sprężynę spowoduje jej odkształcenie, a przez to nastąpi złagodzenie obciążenia dynamicznego na wyjściu z wału przegubowego.

W wale jako sprężyn można użyć także odpowiednio dobranych sprężyn talerzowych. Przegubowy wał podatny skrętnie składa się z przegubów krzyżakowych (1) i (2) oraz z wału (3) z ruchowym połączeniem kształtowym (4) z tuleją (5), na której, na zewnętrznej powierzchni cylindrycznej, wykonany jest gwint niesamohamowny (6) współpracujący z gwintem (8) wykonanym w otworze obudowy (7). Przy obrocie wału (3) tuleja (5) przesuwają się w mechanizmie gwintowym (6) wykonanym na tulei (5) i obudowie (7). Sprężyny (9) i (10) odkształcają się pod wpływem obciążenia, co pozwala na łagodzenie obciążeń dynamicznych.

Rozwiązanie jest przydatne w szczególności dla układów napędowych maszyn, w których występują obciążenia dynamiczne. Przykładem zastosowania może być układ napędowy lokomotywy elektrycznej typu Lea-BM12 ze standardowym wałem Cardana, który według posiadanych informacji ulega częstym awariom ze względu na występujące bardzo duże przeciążenia, zachodzące podczas jazdy lokomotywy na łukach zakrętów.

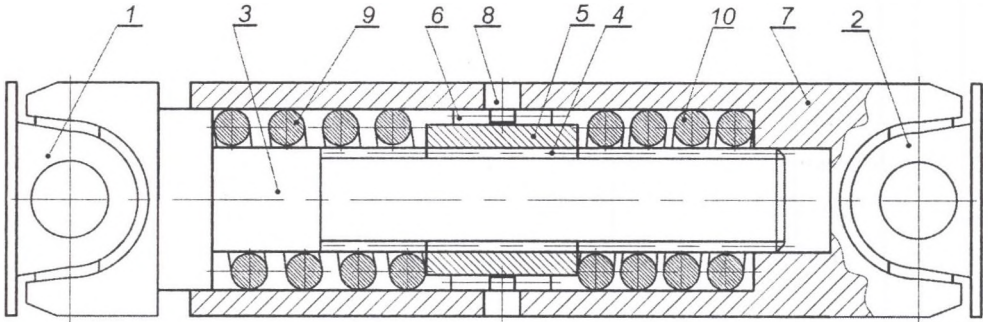
2.2. Wał przegubowo-przeciążeniowy dwukierunkowego działania

Innym rozwiązaniem jest wał przegubowo-przeciążeniowy dwukierunkowego działania. Wał ten służy szczególnie do przenoszenia dynamicznych obciążeń skrętnych, a przy określonych przeciążeniach rozłącza napęd [7]. Wał ten może znaleźć zastosowanie w połączeniach silnika z przekładniami mechanicznymi, gdy kąt przecinających się osi nie przekracza 15° . Wał przeciążeniowy, a zarazem podatny skrętnie, można zastosować w takich układach napędowych, gdzie występować mogą duże przeciążenia narażające elementy tych układów na uszkodzenia.

Postać konstrukcyjna tego wału umożliwia zmniejszanie chwilowych przeciążeń układu napędowego maszyny lub urządzenia w czasie rozruchu oraz łagodzenia obciążeń dynamicznych, a także przerywa przepływ mocy w przypadku nadmiernego przeciążenia, które często występuje w układach napędowych maszyn górniczych.

Cechą charakterystyczną konstrukcji jest to, że w wale przegubowym Cardana zainstalowane jest sprzęgło podatne skrętnie dwustronnego działania, a zarazem jest ono sprzęgłem przeciążeniowym. Budowa tego nowego wału przegubowo-przeciążeniowego polega na tym, że między przegubami krzyżakowymi wału umiejscowione jest dodatkowo sprzęgło podatne skrętnie, które jest zarazem sprzęgłem przeciążeniowym. Działanie przegubowego sprzęgła przeciążeniowego polega na tym, że wałeczki umocowane w obudowie sprzęgła, w jednej płaszczyźnie w kierunku promieniowym, wystają wewnątrz

obudowy i współpracują z rowkami skośnymi wykonanymi na zewnętrznej powierzchni walcowej tulei. Te wałeczki umieszczone w rowkach przenoszą moment obrotowy, który przekazywany jest na tuleję z wału za pośrednictwem ruchowego połączenia kształtowego. Wał przeciążeniowo-przegubowy łączony jest za pomocą przegubów krzyżakowych Cardana z czopami silnika i przekładni. Wałeczki umocowane są w obudowie, a skośne w stosunku do osi wału rowki wykonane są na zewnętrznej powierzchni tulei (rys. 3).



Rys. 3. Wał przegubowo-przeciążeniowy dwustronnego działania, gdzie: 1, 2 – przeguby Cardana, 3 – wał, 4 – połączenie wielowypustkowe, 5 – tuleja, 6 – skośne rowki, 7 – obudowa, 8 – wałeczki, 9, 10 – sprężyny
Fig. 3. The articulated-overload shaft of the two-way activity, where: 1, 2 – Cardan joints, 3 – shaft, 4 – splined connection, 5 – sleeve, 6 – skew grooves, 7 – casing, 8 – parallel roller, 9, 10 – springs

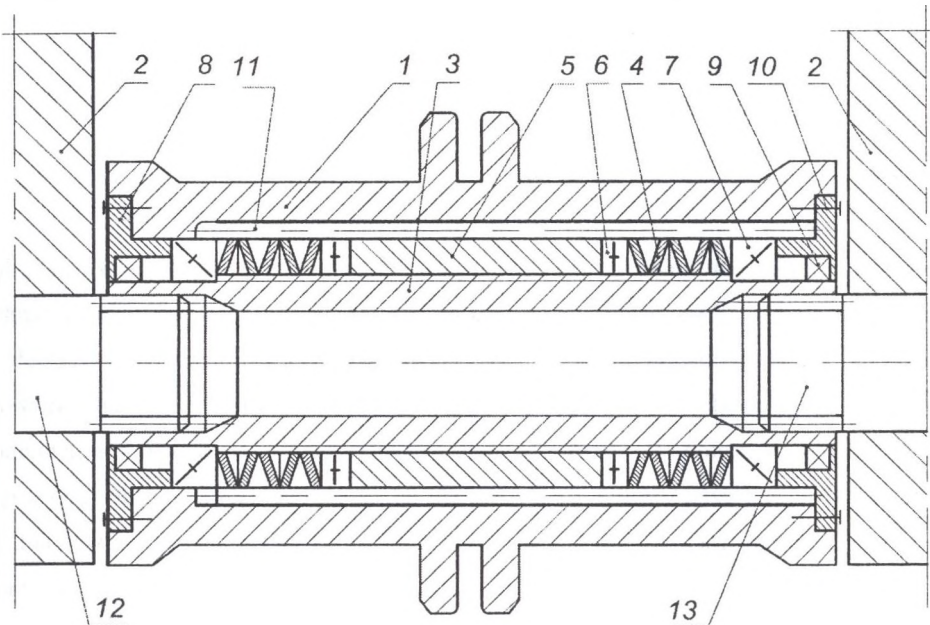
W przypadku przeciążenia przegubowego wału tuleja przesunie się na ruchowym wielowypuście wału, naciskając na jedną ze sprężyn, a wałeczki z obudowy sprzęgła wysuną się ze skośnych rowków tulei i nastąpi swobodny ruch obrotowy wału z tuleją w obudowie. Gdy obciążenie zmniejszy się, to sprężyna, naciskając na tuleję, spowoduje po określonej części obrotu wału z tuleją, że wałeczki znowu znajdują się w rowkach tulei.

Jak pokazano na rysunku, sprzęgło składa się z przegubów krzyżakowych sprzęgła przegubowego (1) i (2) oraz z wału (3) z ruchowym połączeniem wielowypustkowym (4) z tuleją (5), na której na zewnętrznej powierzchni cylindrycznej wykonane są rowki skośne (6), a w obudowie (7) umieszczone są w jednej płaszczyźnie wałeczki (8), które przy obrocie wału (3) przesuwają się w rowkach (6) wykonanych na tulei (5). Sprężyny (9) lub (10) odkształcają się pod wpływem obciążenia, a w przypadku przeciążenia jedna z tych sprężyn zostanie ściśnięta na tyle znacznie, że tuleja (5) przesunie się i wałeczki (8) z obudowy (7) wysuną się z rowków (6) i rozłączą napęd, przeciwdziałając powstaniu awarii.

Rozwiązanie to także może być przydatne dla układów napędowych maszyn, w których występują duże przeciążenia wraz z problemem poprawnego osiowania wałów, a dotyczy to szczególnie maszyn górniczych, drogowych, budowlanych i rolniczych [8, 10].

2.3. Bęben napędowy zintegrowany ze sprzęgłem

Przykładowym zastosowaniem zabezpieczania napędów przenośników górniczych jest opracowana w Instytucie Mechanizacji Górnictwa koncepcja sprzęgła podatnego, którego obudowę stanowi np. korpus bębna napędowego z gniazdami łańcuchowymi przenośnika zgrzeblowego lub ładowarki kombajnu chodnikowego [10]. W rozwiązaniu tym bęben łańcuchowy przenośnika połączony jest z metalowym sprzęgłem podatnym skrotnie (rys. 4).



Rys. 4. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego bębna napędowego zintegrowanego ze sprzęgłem podatnym skrotnie, gdzie: 1 – korpus bębna napędowego, 2 – elementy kadłuba napędu przenośnika zgrzeblowego, 3 – wał bębna napędowego, 4 – sprężyny talerzowe, 5 – nakrętka z naciętym gwintem wewnętrznym i wielowypustem, 6 – łożyska wzdlużne, 7 – łożysko stożkowe, 8 – pokrywa bębna, 9 – uszczelnienie, 10 – śruby, 11 – połączenie wielowypustowe, 12 – wał napędowy przekładni, 13 – półoś napędu

Fig. 4. The example of solution of the constructional driving drum integrated with the flexible torsional coupling, where: 1 – casing of the driving drum, 2 – elements of the frame of drive of curry-comb conveyor, 3 – shaft of driving drum, 4 – disk springs, 5 – nut with notched internal thread and splines, 6 – thrust bearings, 7 – cone bearing, 8 – cover of the drum, 9 – seal, 10 – screws, 11 – splines connection, 12 – drive shaft of gear, 13 – half axle of drive

W przykładzie idei konstrukcji łańcuchowego bębna napędowego, przedstawionego na rysunku 4, opór elementu sprężysto-tłumiącego (4), przy ruchu obrotowym wału bębna (3), wynika z nacisku sprężyny na nakrętkę (5) i powoduje wzrost składowych sił w kierunku obwodowym na gwincie. Wzrost tych sił na gwincie zwiększa moment obrotowy, a gdy osiągnie on wartość momentu roboczego maszyny, rozpoczyna się ruch obrotowy bębna napędowego, będący jego ruchem roboczym. Sprzęgło pozwala na poprawną pracę bębna łańcuchowego w obu kierunkach obrotów.

Chwilowe przeciążenia organu roboczego powodują dodatkowe ściśnięcie elementów sprężystych (4), a niedociążenia odprężanie tych elementów. Po wyłączeniu układu napędowego nakrętka (5) naciskana przez sprężyny (4) wraca do położenia wstępnego na wale bębna (3). Przy odpowiednio dużym wstępnym ściśnięciu sprężyn i po wyłączeniu układu nakrętka powraca do położenia początkowego. Odpowiednio dobrany układ sprężysto-tłumiący oraz skok gwintu na wale wejściowym i nakrętce pozwalają, pod wpływem nominalnego obciążenia, na uzyskiwanie podczas normalnej pracy sprzęgła dużego kąta skręcenia, do chwili zanim bęben napędowy (1) rozpocznie ruch obrotowy.

3. Podsumowanie

Omówione elementy układów napędowych z zastosowanym metalowym sprzęgłem konstrukcji Instytutu Mechanizacji Górnictwa charakteryzują się dużą podatnością skrętną. Mogą one znaleźć zastosowanie w układach napędowych maszyn roboczych ciężkich po zaprojektowaniu ich do określonych, konkretnych obiektów oraz po przeprowadzeniu stosownych badań prototypów. Badania te dotyczyć powinny ruchowych mechanizmów gwintowych oraz połączeń kształtowych, ponieważ przy rozruchu układu napędowego w tych połączeniach wystąpi ruch nakrętki, a w czasie eksploatacji sprzęgła przy niewielkich, ale zmiennych, obciążeniach mogą wystąpić nieznaczne ruchy oscylacyjne, a to może powodować pojawianie się zjawiska frettingu [11].

Układy napędowe z nowymi sprzęgłami podatnymi będą wymagały badań trwałościowych oraz badań eksploatacyjnych w warunkach ekstremalnych, tj. w maszynach pracujących np. w głębinowych kopalniach węgla kamiennego.

Zebrane doświadczenia pozwolą w procesie projektowania zarówno układów napędowych, jak i samych metalowych sprzęgieł podatnych skrętnie na uwzględnienie różnych czynników, wpływających na ich trwałość.

BIBLIOGRAFIA

1. Dietrich M. (red.), Markusik S.: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom III, wyd. 3. WNT, Warszawa 1999.
2. Dolipski M., Sobota P., Osadnik J.: Statystyka wysoko wydajnych ścianowych przenośników zgrzeblowych użytkowanych w Polsce. Sympozjum Ryfamex '95. Rybnik, 21+23. 11. 1995.
3. Dolipski M., Sobota P., Osadnik J.: Ungleichmäßige Leistungsaufnahme von Antriebssystemen in Strebförderern. An International Scientific Conference on the occasion of the 50th anniversary of noving VSB-Technical University Ostrava, 12+16 September 1995.
4. Filipowicz K., Kowal A.: Bęben napędowy z metalowym sprzęgłem dwukierunkowo podatnym skrętnie. Zgłoszenie patentowe P-380307 z dn. 25.07.2006 w DRiTT Politechniki Śląskiej, 2006.
5. Filipowicz K., Kowal A.: Investigative stands to marking of characterizations of the metal susceptible clutch. Transport Problems – International Scientific Journal. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, T.2, Zeszyt 4, Gliwice 2007.
6. Grzesica P.: Wpływ obciążenia zewnętrznego przekładni maszyn górniczych na międzyzębne siły dynamiczne. Praca doktorska, Gliwice 2005.
7. Kowal A., Filipowicz K.: Podatne skrętnie metalowe sprzęgło przeciążeniowe. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Górnictwo, z. 269, s. 489-496, Gliwice 2005.
8. Kowal A., Filipowicz K.: Wał przegubowo-przeciążeniowy dwukierunkowego działania. Zgłoszenie patentowe w DRiTT Politechniki Śląskiej, Gliwice, grudzień 2007.
9. Kowal A., Filipowicz K.: Wał przegubowy podatny skrętnie. Zgłoszenie patentowe w DRiTT Politechniki Śląskiej, Gliwice, grudzień 2007.
10. Kowal A., Filipowicz K.: Metalowe sprzęgła podatne skrętnie do maszyn górniczych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
11. Kowal A.: Opory ruchu w mechanizmach maszyn górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
12. Kowal A.: Sprzęgło mechaniczne. Patent nr PL 190945 B1 z dnia 28.02.2006 r. WUP 02/06.
13. Kowal A.: Sprzęgło mechaniczne. Patent nr PL 191092 B1 z dnia 31.03.2006 r. WUP 03/06.
14. Markusik S.: Sprzęgła mechaniczne. WNT, Warszawa 1979.
15. Osiański Z.: Sprzęgła i hamulce. PWN, Warszawa 1985.
16. Skoć A.: Dynamika przekładni zębatych stożkowych maszyn górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Górnictwo, z. 226, Gliwice 1996.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Senatorski