

STRATEGIE DIAGNOZOWANIA PODWOZI GĄSIENICOWYCH

DIAGNOSING STRATEGIES FOR CATERPILLAR CARRIAGES EVALUATION

Franciszek W. Przystupa, Piotr Sokolski – Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska

W artykule przedstawiono tendencje badawcze elementów wielkogabarytowych podwozi gąsienicowych. Opisano możliwe do zastosowania sygnały diagnostyczne. Scharakteryzowano wymagania określone względem procesu diagnozowania podwozi gąsienicowych wraz z odniesieniem ich do specyfiki pracy tych podzespołów. Przedstawiono kilka możliwych strategii realizacji tego procesu, stosując kryterium podziału oparte na lokalizacji testera: na zewnątrz podwozia lub bezpośrednio na nim. Każdy z przedstawianych wariantów poparto różnymi przykładami możliwej realizacji w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

The article presents trends in examination of the large-size caterpillar carriages. The diagnostic signals possible to use were shown. The requirements with reference to the diagnosing process of the caterpillar carriages were discussed considering the working nature of these subassemblies. Several strategies of realization of this process were characterized. The criterion of the division was the localization of the tester: outside or within the carriage. For each of the presented variants the examples of realization in working conditions were shown.

Wprowadzenie

Ostatnio prowadzone są liczne badania elementów podwozi gąsienicowych wielkogabarytowych maszyn roboczych. Przyczyną jest eksploatacja blisko połowy z tych maszyn od 25 i więcej lat. Spowodowany tym wysoki poziom zaawansowania procesu degradacji ich podzespołów przyczynia się do zwiększania częstotliwości występowania uszkodzeń wpływających negatywnie na dalszą pracę maszyn podstawowych. Problem ten odnosi się szczególnie do podwozi gąsienicowych, których warunki eksploatacji są wybitnie niekorzystne, co związane jest z ich narażeniem na ogromne obciążenia, interakcję z silnie utwardzonym podłożem gruntowym oraz zmienne oddziaływanie atmosferyczne.

Wyniki analiz struktury i charakteru uszkodzeń oraz badań wytrzymałościowych elementów wielkogabarytowych podwozi gąsienicowych przedstawiono m. in. w [1, 2, 4, 8, 9, 13-15]. Na podstawie tych prac możliwe było poznanie procesów powstawania uszkodzeń oraz ich lokalizacji.

Kompleksowe i zaawansowane badania zogniskowane szczególnie na problemy materiałowe, przedstawiono m. in. w pracach [3, 5-7, 10]. Były one podstawą doboru odpowiedniego gatunku staliwa na ogniwa gąsienicowe oraz opracowania nowej procedury obróbki cieplnej. Zastosowanie tych zmian umożliwia uzyskanie najkorzystniejszej struktury w świetle niezawodnej eksploatacji. Efektem wprowadzenia proponowanych modyfikacji jest podniesienie poziomu bezpieczeństwa wydobywania węgla brunatnego poprzez zwiększenie trwałości podwozi gąsienicowych.

Założenia procesu diagnozowania

Ciągła degradacja, która towarzyszy pracy maszyn powoduje, że niezmiernie trudne jest całkowite wyeliminowanie powstawania usterek i uszkodzeń. Jednakże, poprzez opracowanie właściwej procedury diagnostycznej możliwe jest dobranie takiej strategii utrzymania obiektu, która umożliwi najefektyw-

niejsze wykorzystanie czasu przewidzianego na jego pracę. Cel ten można zrealizować m. in. ustalając przeprowadzenie koniecznych remontów, napraw oraz wymian podzespołów podczas naturalnych przerw w eksploatacji maszyn podstawowych. Procedura ta musi spełniać kilka fundamentalnych założeń, które wynikają z doświadczeń diagnozowania obiektów technicznych, jak również ze specyfiki działania wielkogabarytowych podwozi gąsienicowych. Najważniejsze z nich to:

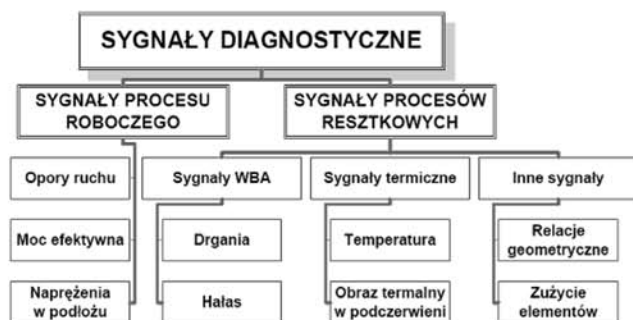
- łatwość obsługi i pozyskiwania danych,
- jednoznaczność wartości sygnału diagnostycznego,
- mała wrażliwość na zakłócenia,
- znajomość prawdopodobnych lokalizacji potencjalnych uszkodzeń wraz z powiązaniem ich z konkretnymi wartościami sygnału diagnostycznego,
- redundancja sygnałów diagnostycznych.

Powyższe wymagania wynikają z istoty procesu diagnostycznego, który ma na celu ujawnienie rzeczywistego stanu bądź sytuacji obiektu w odniesieniu do zamierzeń i modelu [12]. Należy przy tym zwrócić uwagę, że zasadniczym celem jest identyfikowanie uszkodzeń, degradacji i błędów w działaniu, jak również ich lokalizowanie, określenie ich charakteru oraz przyczyn zaistnienia. W sytuacji nieuniknionego wystąpienia i rozwoju uszkodzenia, celem staje się również pomoc w niwelowaniu ich skutków.

Metody diagnozowania stosowane do oceny stanu technicznego gąsienicowych mechanizmów jazdy ukierunkowane na konkretne obiekty i procesy muszą ulegać transformacji. Wynika to ze zmian, które można zaklasyfikować do dwóch grup:

- obserwowanego obiektu (ewolucji technicznej, degradacji eksploatacyjnej, starzeniowej itd.),
- narzędzi obserwacji, analizy i wnioskowania (rozwoju dostępnych rozwiązań oraz powstawania nowych metod, jak również zmian stanu wiedzy i doświadczenia diagnosty).

Podczas opracowywania algorytmu postępowania diagnostycznego należy mieć świadomość zachodzenia wymienionych zmian, którym podlegają ewoluujący obiekt diagnostyczny i diagnosta wraz z dostępnymi mu narzędziami.



Rys. 1. Sygnały diagnostyczne do oceny stanu technicznego podwozi gąsienicowych (opracowanie własne na podstawie [16, 17])

Fig. 1. Diagnostic signals for evaluation of technical condition of caterpillar chassis (own elaboration on the basis of [16, 17])

Budowa systemu diagnostycznego

W celu opracowania skutecznych procedur diagnostycznych konieczne jest dobranie odpowiednich narzędzi obserwacji. Poprawna selekcja umożliwi spełnienie wymagań przedstawionych we wcześniejszej części artykułu. Podstawowym czynnikiem determinującym ocenę możliwości zastosowania danego układu pomiarowego są przede wszystkim trudne warunki eksploatacji podwozi gąsienicowych, tj. ekstremalnie duże obciążenia, i oddziaływania czynników zewnętrznych (m. in. błoto, zapylenie, deszcz, śnieg). Z tych powodów część powszechnie używanych w technice narzędzi diagnostycznych nie może być aplikowana do monitorowania stanu technicznego gąsienicowych mechanizmów jazdy. Z tego względu wyróżnia się kilka typów wielkości, których wartości mogą być nośnikami istotnych informacji na temat stanu tych podzespołów. Zbiór sygnałów diagnostycznych stanowiących podstawę oceny stanu technicznego podwozi gąsienicowych przedstawiono na rysunku 1.

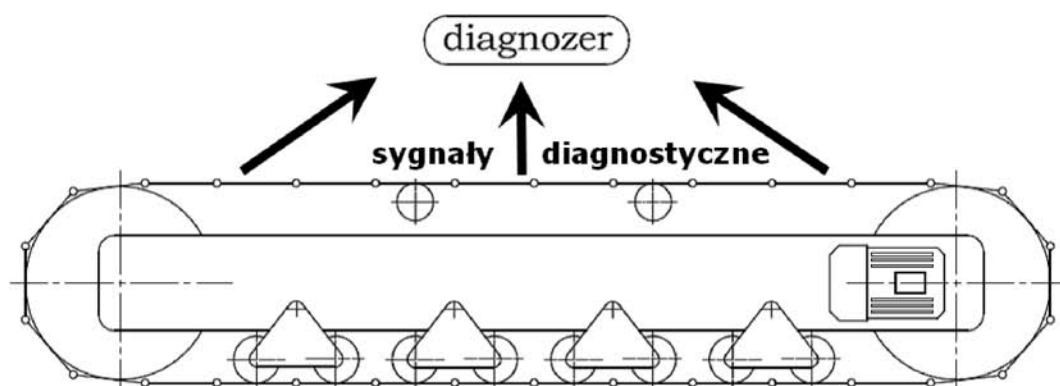
Zgodnie z przedstawionym w pracach [11, 12] podziałem procesu diagnostycznego w oparciu o lokalizację urządzenia pomiarowego, wyróżnia się diagnozowanie testerem zewnętrznym oraz wewnętrznym (umieszczonym na elemencie nieruchomym lub ruchomym). W pierwszym przypadku (rys. 2), pozyskiwanie informacji o stanie technicznym gąsienicowego mechanizmu jazdy odbywać się może poprzez wykorzystanie jednej z bezinwazyjnych metod pomiarowych. Najbardziej uzasadnione ze względu na kompleksowość i znaczenie dla trafnego sformułowania diagnozy pozyskiwanych danych, jest w tym przypadku zastosowanie analiz opartych na badaniu akustycznym oraz pomiarach rozkładu naprężeń w gruncie

pod gąsienicą. Poprzez ocenę widma akustycznego oraz wyznaczenie podstawowych parametrów charakteryzujących ten sygnał możliwe jest określenie postępu degradacji i wystąpienia ewentualnych uszkodzeń w obiekcie. Z kolei rozkład naprężeń w gruncie pod gąsienicą pozwala na ocenę jakości dystrybucji obciążeń przenoszonych z maszyny na podłoże, która ściśle zależy od stanu elementów podwozia.

Idea badania gąsienicowego mechanizmu jazdy testerem wewnętrznym przedstawiona została na rysunku 3 (tester na nieruchomym elemencie podwozia) i rysunku 4 (czujnik pomiarowy na elemencie ruchomym). Zastosowanie takiego wariantu badań wymaga bezpośredniego dostępu do maszyny. Pomimo niewielkich wartości prędkości roboczych wielkogabarytowych podwozi gąsienicowych, problemem w tych przypadkach może być transmisja pozyskiwanych sygnałów, co wynika z konieczności ciągłej kontroli przewodów przekazujących dane. Możliwym rozwiązaniem jest zastosowanie telemetrycznego przesyłania gromadzonych informacji.

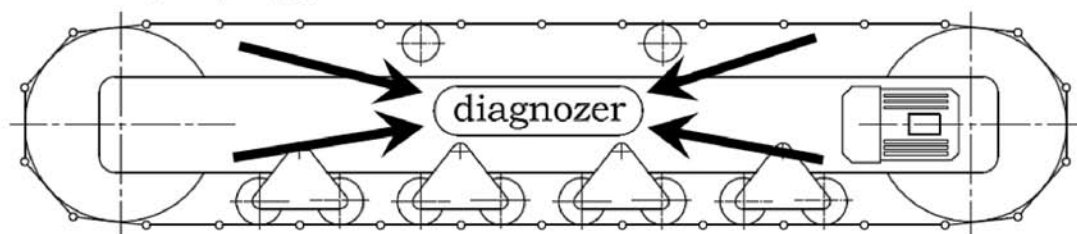
Umieszczenie testera na elemencie nieruchomym może być oparte na pomiarze jego geometrycznych relacji z wybranymi elementami ruchomymi, jak również na monitorowaniu oddziaływań podzespołów bezpośrednio z nim współpracujących. Realizacja pierwszego wariantu może obejmować parę wahacz – płyty gąsienicowe. Wówczas sygnałem diagnostycznym będzie odległość pomiędzy wahaczem, pełniącym rolę odniesienia, a kolejnymi płytami. Odległość wykraczająca poza określony zakres, świadczyć będzie o problemach z prowadzeniem gąsienicy, co objawiać się może np. zwiększeniem zwisu jej górnego odcinka. Natomiast ocenę diagnostyczną według drugiego wariantu można przeprowadzić stosując sygnał wibroakustyczny. Pomiar wielkości drgań i ich charakteru może również być zrealizowany na układzie wahaczy. W takim przypadku zakłócenie normalnej pracy podwozia gąsienicowego wynikające z wystąpienia uszkodzenia zlokalizowanego w dowolnej jego części albo postępująca degradacja jego elementów skutkować może zmianą widma drgań na wzorcowym obiekcie. W celu zwiększenia dokładności takiego pomiaru oraz zapewnienia redundancji sygnału, uzasadnione jest wyselekcjonowanie proponowanej metody w więcej niż jednym punkcie. Korzyścią wynikającą z zastosowania takich samych elementów jako baz pomiarowych (np. kilka wahaczy) jest możliwość porównywania uzyskiwanych sygnałów. Eliminuje to też wpływ zakłóceń danych wynikających z uszkodzeń elementów odniesienia.

Dla przypadku stosowania testera na obiekcie ruchomym, zaproponować można pomiar podziałki łańcucha gąsienicowe-

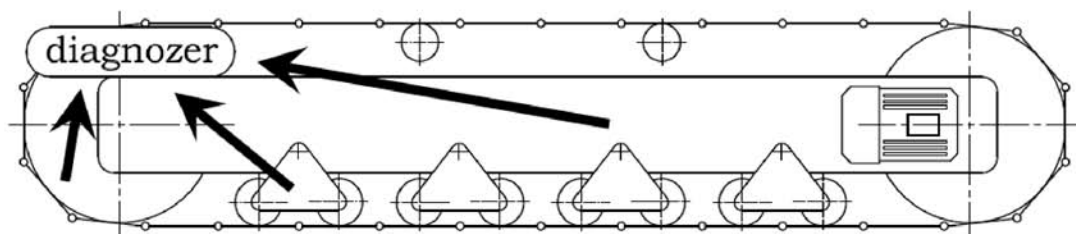


Rys. 2. Schemat diagnozowania podwozi gąsienicowych zewnętrznym testerem

Fig. 2. Diagram of caterpillar chassis diagnosis with external tester



Rys. 3. Schemat diagnozowania podwozi gąsienicowych wewnętrznym testerem umieszczonym na elemencie nieruchomym
Fig. 3. Diagram of caterpillar chassis diagnosis with internal tester located at immobile element



Rys. 4. Schemat diagnozowania podwozi gąsienicowych wewnętrznym testerem umieszczonym na elemencie ruchomym
Fig. 4. Diagram of caterpillar chassis diagnosis with internal tester located at mobile element

go. Badanie wówczas może polegać na określaniu odległości pomiędzy kolejnymi płytami. Wzajemne zużywanie ogniw i sworzni powodować może powstawanie luzów w tych parach tribologicznych, co przełoży się bezpośrednio na zmianę wartości podziałki łańcucha.

Inną możliwością realizacji diagnozowania stanu technicznego podwozi testerem na obiekcie ruchomym, jest zastosowanie strategii analogicznej do opisanego wcześniej pomiaru odległości pomiędzy nieruchomym a ruchomym elementem. Czujnik może być w takiej konfiguracji umieszczony na płycie gąsienicowej, a obiektem bazowym – zostać wybrana jedna z nieruchomych części podwozia, np. układ napędowy lub zespół wahaczy. Należy przy tym zwrócić szczególną uwagę na kwestię zmiennej odległości pomiędzy testerem a punktem odniesienia w czasie przemieszczania się maszyny podczas jej poprawnej eksploatacji. Aby uniknąć rejestrowania błędnych danych, konieczne jest w takim przypadku uprzednie jednoznaczne określenie zarówno elementu bazowego, jak i konfiguracji gąsienicy, w której pomiar miałby być przeprowadzany. Może być to zrealizowane poprzez zdefiniowanie charakterystycznej odległości pomiędzy porównywanymi obiektami. W tym celu można na przykład ograniczyć pomiar odległości pomiędzy obudową układu napędowego a płytą gąsienicową w punkcie ich najbliższego położenia. Zarejestrowanie spadku mierzonej wielkości poniżej minimalnej wartości będzie wówczas jednoznacznym symptomem zmiany

stanu technicznego podwozia.

Podsumowanie

Proces diagnozowania stanu technicznego wielkogabarytowych podwozi gąsienicowych jest istotnym czynnikiem zwiększającym niezawodność i bezpieczeństwo pracy tych podzespołów. Z tego względu jest to zagadnienie bardzo istotne i wpisuje się w tendencje rozwoju monitoringu maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego.

Typowym zjawiskiem jest niejednakowa symptomizacja dla tych samych uszkodzeń poprzez zróżnicowane kanały diagnostycznej obserwacji zmian stanu technicznego badanego obiektu. Z tego powodu szczególnie uzasadniony jest dobór redundantnych sygnałów, co pozwala na zmniejszenie liczby uszkodzeń. Ponadto taki wariant monitoringu redukuje możliwość wystąpienia błędu podczas określania stanu technicznego badanego elementu. Czynniki te zwiększają prawdopodobieństwo sformułowania poprawnej diagnozy.

Opisane w pracy strategię diagnozowania podwozi gąsienicowych umożliwiają różne prowadzenie procesu monitoringu tych podzespołów. Dzięki temu metodę badawczą dostosować można do posiadanych narzędzi pomiarowych. Zaletą takiego rozwiązania jest również możliwość zbudowania kompleksowego postępowania diagnostycznego, opartego na zastosowaniu komplementarnych i redundantnych sygnałów.

Literatura

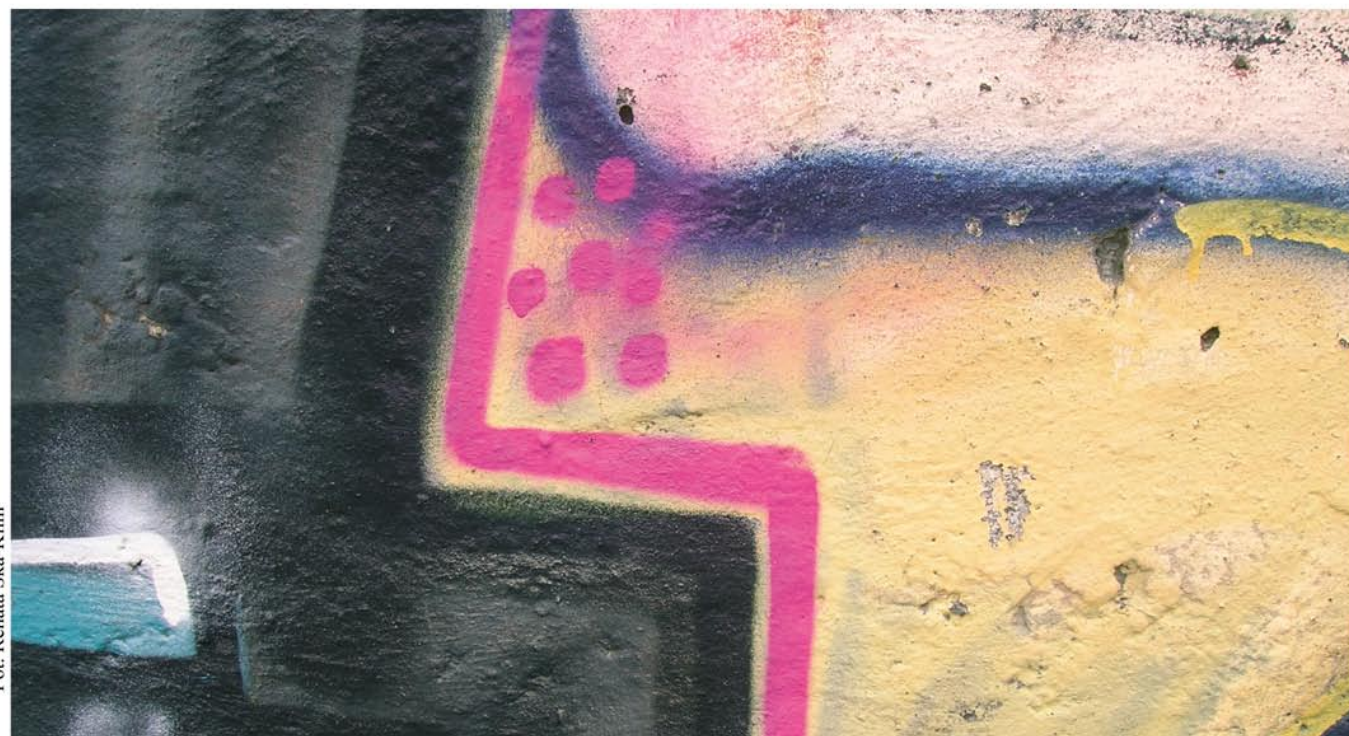
- [1] Augustynowicz J., Dudek D., Dudek K., *Analiza obciążeń elementów podwozia wielonaczyniowej koparki kołowej*. Metody doświadczalne w budowie i eksploatacji maszyn roboczych. VII Konferencja. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn PAN, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Ziemnych i Transportowych w Stalowej Woli, Zakopane, 17-20 stycznia 1994. Cz. 1. Warszawa, 1994
- [2] Augustynowicz J., Dudek K., Figiel A., Przystupa F., Staszak A., *Analiza uszkodzeń oraz badania wytrzymałościowe elementów podwozi gąsienicowych maszyn roboczych ciężkich*. Górnictwo Odkrywkowe, nr 4-5, 2009
- [3] Dudek D., Frydman S., Huss W., Pękalski G., *The L35GSM cast steel – possibilities of structure and properties shaping at the example of crawler links*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. XI, No. 1. 2011, s. 19-32
- [4] Dudek D. i inni, *Teoretyczno-doświadczalna analiza wytrzymałości eksploatacyjnej ogniw gąsienicowych*. Raport serii

- SPR 060/2010 Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. 2010
- [5] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., Prusak C., *Opracowanie technologii obróbki cieplnej ogniwa gąsienicowych ze staliwa L35GSM*. Raport serii SPR 053/1985. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, 1985
 - [6] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., *Problemy doboru materiału i obróbki cieplnej na ogniwa gąsienicowe maszyn wydobywczych węgla brunatnego*. Górnictwo Odkrywkowe, nr 1. 1991
 - [7] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., *Wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę oraz charakter złomu staliwa L35GSM*. Problemy Maszyn Roboczych, Vol. 3, Z. 3. 1994
 - [8] Maślak P., Rusiński E., Smolnicki T., *Obliczenia wytrzymałościowe elementów podwozi maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego*. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 1. 2011, s. 71-74
 - [9] Maślak P., *Strength calculations, traction and steering force measurements of elements of chassis of open cast mining machines*. 10th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, Chemnitz, 25th-28th May eds. Martin Stockmann, Jens Kretschmar. Chemnitz: Chemnitz University of Technology. Institute of Mechanics and Thermodynamics. Department of Solid Mechanics. 2011, s. 81-82
 - [10] Pękalski G., *Obróbka cieplna staliwa L35GSM, a możliwość jego zastosowania na ogniwa gąsienicowe koparek węgla brunatnego*, Górnictwo Odkrywkowe, nr 4-5, 2009
 - [11] Przystupa F. W., *Diagnostic equivalent for widespread manufacturing system*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. X, No. 3. 2010, s. 111-122
 - [12] Przystupa F. W., *Diagnozer w systemie technicznym: od ontologii i aksjologii do praktyki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Seria: Monografie, Wrocław, 2010
 - [13] Smolnicki T., Maślak P., *Experimental identification of loads in multi-caterpillar mechanism of the ride of dumping conveyor*. 6th International Conference Mechatronic Systems and Materials, MSM 2010 [Dokument elektroniczny], Opole (Poland), 5-8 July 2010 / eds. K. Kluger, E. Macha, R. Pawliczek, Opole University of Technology, Opole. 2010
 - [14] Smolnicki T., Maślak P., *Measurement of traction and steering forces of multicaterpillar mechanism of stacker machine drive*. 27th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, September 22nd-25th, 2010, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland. 2010, s. 195-196
 - [15] Sokolski P., *Analiza wytrzymałości ogniwa gąsienicowych wielonaczyniowych koparek kołowych*. Górnictwo Odkrywkowe, nr 3. 2010. s. 33-35
 - [16] Sokolski P., *Sygnały diagnostyczne do oceny elementów gąsienicowych układów jazdy wielkogabarytowych maszyn roboczych*. Interdyscyplinarność badań naukowych 2010: praca zbiorowa pod red. Jarosława Szreka. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław. 2010. s. 319-324
 - [17] Żółtowski B., *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, 1996

Artykuł recenzowali dr hab. inż. Jerzy Czmochoński, prof. PWr

dr hab. inż. Tadeusz Smolnicki, prof. PWr

Rękopis otrzymano 26.07.2011 r. *2221



Cykl: prolog do konstrukcji...