

WERYFIKACJA DOŚWIADCZALNA SYSTEMU CIĄGŁEJ DIAGNOSTYKI WYŁĘŻENIA USTROJÓW NOŚNYCH MASZYN PODSTAWOWYCH GÓRNICTWA ODKRYWKOWEGO

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF A SYSTEM FOR CONTINUOUS EFFORT DIAGNOSTICS OF LOAD CARRYING STRUCTURES IN OPENCAST MINING MACHINES

Jerzy Alenowicz, Marek Onichimiuk, Marian Wygoda – Poltegor-Instytut IGO, Wrocław

Przedstawiono opis budowy i działania systemu ciągłej diagnostyki wyłężenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego. Zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych systemu na koparce kołowej w KWB Belchatów. Stwierdzono, że system działa prawidłowo realizując założone funkcje. Podano zalety wynikające z zastosowania systemu na maszynach podstawowych górnictwa odkrywkowego. Wskazano na możliwości wdrożenia systemu na kolejnych maszynach eksploatowanych w krajowych kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego.

Description of a construction and operation of a system for continuous effort diagnostics of load carrying structures in opencast mining machines has been presented. Results of the system tests in KWB Belchatów mine has been shown. During the tests it was found that the system works properly, according to the assumptions. Advantages of the system installation on opencast mining basic machines have been discussed. Possibilities of the system implementation on other machines operating in domestic brown coal mines have been indicated.

Słowa kluczowe: koparki kołowe, ustrój nośny, diagnostyka, wyłężenie, ocena

Key words: bucket wheel excavators, load carrying structures, diagnostics, effort, assessment

Wstęp

W artykule przedstawiono badania jakie przeprowadzono w celu weryfikacji, a następnie wdrożenia do stosowania systemu ciągłej diagnostyki wyłężenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego. System ten został opracowany w Poltegorze-Instytut, a przesłanki do jego utworzenia wraz z opisem budowy i działania przedstawiono obszernie w opracowaniach [1][2][3]. Dla zachowania spójności i przejrzystości poniższego artykułu, poza wynikami badań doświadczalnych, przedstawiono w skróty sposób opis powyższego systemu.

Opis systemu

Podstawowym zadaniem systemu jest ocena stanu wyłężenia ustrojów nośnych zarówno w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej jak i doraźnej. Ocena prowadzona jest w sposób ciągły, a wyniki są przekazywane na bieżąco do użytkownika, co umożliwia odpowiednio wcześnie podejmowanie działań zapobiegających ewentualnym awariom na skutek wyczerpywania się zasobu trwałości zmęczeniowej lub przekroczenia warunku wytrzymałości doraźnej [4].

System ten składa się z czterech modułów rozmieszczonych na konstrukcji badanego ustroju nośnego. Są to moduł pomiarowy, obliczeniowy, dystrybucji wyników i zasilania (rys. 1).

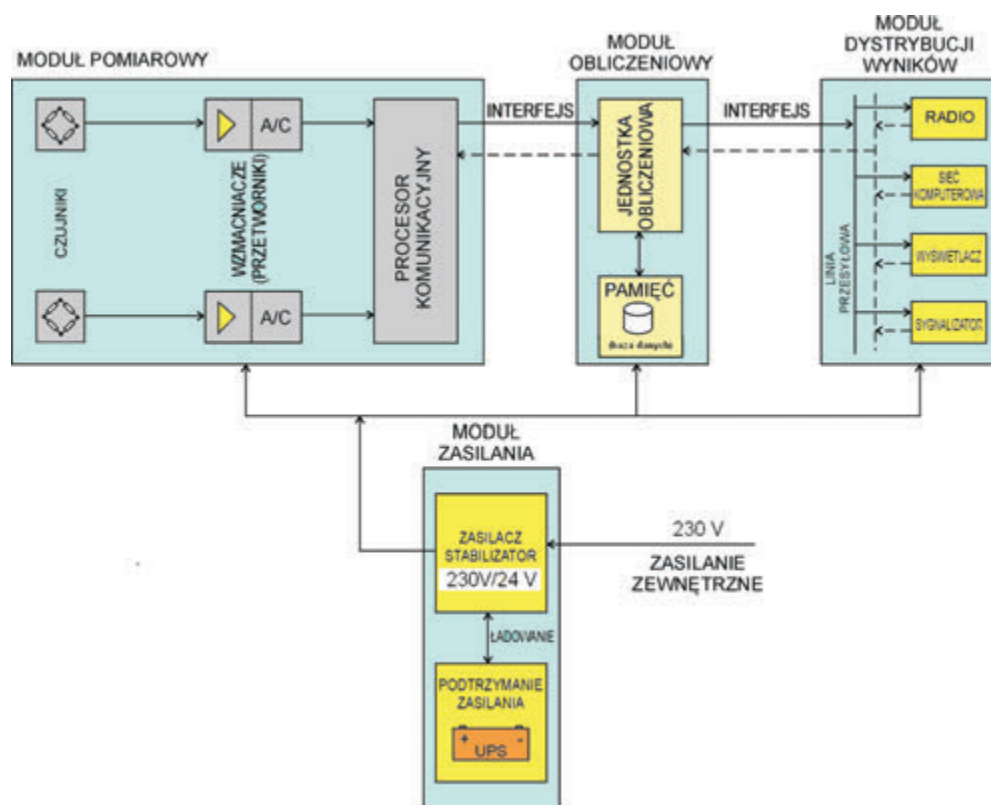
Zadaniem modułu pomiarowego jest zbieranie informacji o naprężeniach z punktów diagnostycznych, wstępne ich

przygotowanie i zamiana na postać cyfrową umożliwiającą ich dalsze przetwarzanie. Moduł pomiarowy składa się z czujników pomiarowych, urządzeń wzmacniających, przesyłających i dopasowujących sygnały pomiarowe oraz układów cyfryzacji.

Jako czujniki pomiarowe do pomiaru wartości naprężeń używane są tensometry elektrooporowe, które mocowane są bezpośrednio na konstrukcji, mogą też być użyte tensometry światłowodowe. Następnie sygnały w postaci cyfrowej są wprowadzane do modułu obliczeniowego.

Moduł obliczeniowy składa się z komputera wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie podstawowe i obliczeniowe, urządzeń (baz) gromadzenia danych oraz interfejsów komunikacyjnych. Oprogramowanie podstawowe to system uruchomieniowy i zarządzający procesami obliczeniowymi. Zadaniem tego systemu jest uruchomienie startowe i po przywróceniu zasilania rozruch i nadzór pracy oprogramowania obliczeniowego i innego niezbędnego do zarządzania systemem monitorowania. Oprogramowanie obliczeniowe stanowią programy przetwarzające i analizujące dane pomiarowe i są one opracowane w ramach systemu ciągłego monitoringu.

Głównym zadaniem modułu obliczeniowego jest ocena zasobu trwałości zmęczeniowej na podstawie przekształconych sygnałów z układu pomiarowego. W tym celu zliczane są cykle zmienne (zmęczeniowe) naprężeń, wyznaczane są widma amplitud naprężeń i na podstawie uzyskanych widm dokonywana jest ocena trwałości zmęczeniowej. Do zliczania cykli zmęczeniowych oraz tworzenia odnośnych widm naprężeń zastosowano metodę dwuparametrowego zliczania cykli „Rain Flow” [5]. Natomiast oceny trwałości zmęczeniowej dokonano



Rys. 1. Schemat systemu ciągłej diagnostyki wyłączenia urządzeń nośnych maszyn górnictwa odkrywkowego

Fig. 1. Scheme of the system for continuous effort diagnostics of load carrying structure in opencast mining machines

w oparciu o hipotezę kumulacji uszkodzeń Palmgrena - Minera [5]. Zliczane cykle zmienne są gromadzone w tablicy (bazie) widma obciążeń zmiennych.

Dla maszyn już eksploatowanych system monitorowania będzie wyposażony w tablicę widma obciążeń pierwotnych. Tablica ta będzie opracowana jednorazowo dla każdego monitorowanego ustroju nośnego przed uruchomieniem systemu po przeprowadzeniu odpowiednich pomiarów i analiz zgodnie z opracowaną w ramach systemu metodą wyznaczania widma obciążeń pierwotnych. Jest to bardzo istotne dla maszyn poddanych długoletniej eksploatacji ponieważ umożliwia w ocenie wytrzymałości zmęczeniowej uwzględnienie dotychczasowej liczby cykli naprężeń przeniesionych przez badany ustrój nośny.

Po uwzględnieniu: widma obciążeń zmiennych i obciążeń pierwotnych, oraz rodzaju karbu i własności materiałowych, wyznaczany jest zasób trwałości zmęczeniowej ustroju nośnego jako czas pracy do wystąpienia awarii. Wartość tego czasu jest wyprowadzana z systemu monitorowania jako podstawowa informacja wyjściowa. Jest ona wartością najmniejszej trwałości dla całego ustroju nośnego maszyny. Dodatkowo w zależności od ewentualnych konkretnych aplikacji, system może generować inne informacje np. dotyczące kolizji maszyny, okresowych przeciążeń konstrukcji, czasie zaistnienia awarii itp.

Zadaniem modułu dystrybucji wyników jest przekazywanie informacji wyjściowych o stanie wyłączenia ustroju nośnego do użytkownika lub obsługi maszyny. Informacje te mogą być przekazywane za pomocą wyświetlaczy, sygnalizatorów, modemów (np. GSM) lub sieci komputerowych (np. Ethernet).

Zadaniem modułu zasilania jest dostarczenie energii elektrycznej do poszczególnych modułów systemu. Składa się on z zasilacza 230/24 V i urządzenia do podtrzymania zasilania w razie przerw w dopływie energii.

Powyższy system jest również przeznaczony do oceny stanu wyłączenia ustroju nośnego w zakresie wytrzymałości doraźnej. Spowodowane jest to specyfiką pracy maszyn górnictwa odkrywkowego, gdzie w praktyce dochodzi nierzadko do przekroczenia wartości naprężeń od obciążeń doraźnych (np. w wyniku kolizji wysięgników: roboczych, przeciwwagi i załadowniczych ze skarpą, kolizji poszczególnych zespołów roboczych pomiędzy sobą, kolizji poszczególnych maszyn współpracujących ze sobą w ciągu technologicznym), które mogą spowodować odkształcenia plastyczne lub zniszczenie elementów ustroju nośnego. Do oceny stanu wyłączenia w zakresie wytrzymałości doraźnej wykorzystywane są te same układy pomiarowe jak w przypadku oceny wytrzymałości zmęczeniowej. Sygnały pomiarowe po ich obróbce i przekształceniu na postać cyfrową są wprowadzane do modułu obliczeniowego, gdzie po korekcie o wartość wstępnego sprężenia konstrukcji obliczane są naprężenia zastępcze i porównywane z wartościami naprężeń dopuszczalnych. W przypadku możliwości przekroczenia wartości naprężeń dopuszczalnych z systemu monitorowania wyprowadzany jest sygnał ostrzegawczy. Sygnał ten jest przesyłany do użytkownika i obsługi maszyny. Przewidywana jest trzystopniowa skala sygnału ostrzegawczego.

Ponadto w przypadku uszkodzeń poszczególnych elementów ustroju nośnego może w niektórych punktach pomiarowych wystąpić gwałtowna zmiana naprężeń lub brak (zanik) zmian tych naprężeń. Sytuacje takie lub podobne mogą świadczyć o uszkodzeniu elementów układu pomiarowego lub elementów monitorowanych. Stąd też system ten posiada również możliwość sygnalizowania wystąpienia takich sytuacji.

Weryfikacja doświadczalna systemu na obiekcie rzeczywistym

System po przejściu cyklu badań laboratoryjnych gdzie sprawdzono jego poprawność działania [2] został zamontowany

na ustroju nośnym koparki SchRs 4000 w KWB Bełchatów pracującej na nadkładzie. Na rysunku 2 przedstawiono usytuowanie punktów pomiarowych (tensometry elektrooporowe) na ustroju nośnym koparki, na rysunkach 3, 4, 5 pokazano przykłady rozmieszczenia tych punktów na poszczególnych elementach badanego ustroju nośnego. System w tym przypadku składa się z dwóch osobnych modułów pomiarowo-obliczeniowych. Pierwszy z nich, moduł podstawowy, zamontowany jest na nadwoziu koparki (ozn. na rys. 1 jako P1...P4, kolejne dwie cyfry oznaczają numer przekroju, a ostatnie dwie numer punktu pomiarowego) i obejmuje 23 punkty pomiarowe, drugi, dodatkowy, zamontowany został na moście podawarki (ozn. na rys. 1 jako P5) i obejmuje 8 punktów pomiarowych.



Rys. 2 Koparka SchRs 4000 z zaznaczonymi punktami pomiarowymi
Fig. 2. Marked measuring points on the bucket wheel excavator SchRs 4000

- Maksymalne naprężenia występujące w przedziale 150 s przez okres 1h w czasie eksploatacji z ostatniej godziny do systemu, naprężenia średnie liczone ze wszystkich wskazań w przedziale czasu 150 s przez okres 1h.
- Maksymalne naprężenia występujące w przedziale 1h przez okres 24 h, naprężenia średnie liczone z 24 wskazań średnich co 150 s dla przedziału czasu 1h przez okres 24 h.
- Informację o przekroczeniu określonych poziomów ostrzegawczych naprężeń (powyżej 170 MPa, powyżej 240 MPa), w 30-tu dniach wstecz.

Informacje o przekroczeniu dopuszczalnego poziomu naprężeń w poszczególnych punktach pomiarowych oznaczone są też na widoku koparki z punktami pomiarowymi (rys. 2) gdzie indykatory zmieniają barwę w zależności od zarejestrowanego przekroczenia ustalonych poziomów naprężeń:

- Brak ostrzeżenia, normalna praca (zielony).
- Informacja o wystąpieniu przekroczenia poziomu ostrzegawczego (170 MPa) (żółty).
- Ostrzeżenie o wystąpieniu przekroczenia poziomu alarmowego (240 MPa) (czerwony).

Jako przykład działania systemu przedstawiono wyniki badań z trzech punktów pomiarowych ustroju nośnego koparki rozmieszczonych: na pasie dolnym wysięgnika koła czerpakowego, punkt P1.01-3, na pasie górnym wysięgnika przeciwwagi, punkt P2.06-17, na szynie jezdnej mostu podającego, punkt P5.09-25. Schematy tych punktów przedstawiono na rysunkach 6, 7, 8 (wskazanie któregośkolwiek z indykatorów na rys. 2 powoduje zmianę ekranu na schemat przedstawiający położenie wybranego punktu pomiarowego). Na rysunkach 9, 9a, 10, 10a, 11, 11a przedstawiono widma naprężeń z powyższych punktów pomiarowych. Widmo z każdego punktu pokazano na dwóch rysunkach ze względu na konieczność zmiany skali ilości zdarzeń tak aby pokazać ilość cykli o rozpiętości powyżej 180 MPa.



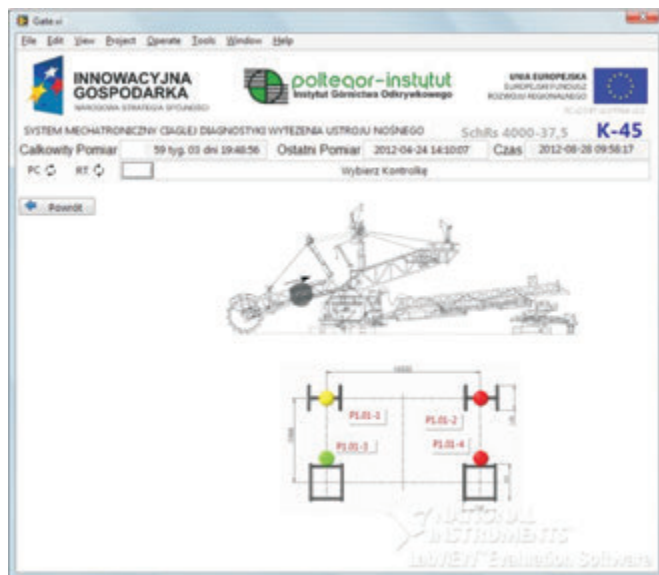
Rys. 3, 4, 5. Przykłady rozmieszczenia punktów pomiarowych na ustroju nośnym koparki
Fig. 3, 4, 5. Examples of measuring points configuration on excavator load carrying structure

Moduły połączone są ze sobą bezprzewodowo, a przesyłanie wyników do użytkownika następuje z modułu podstawowego. Do użytkownika przesyłane są następujące informacje [6]:

- Czas resztkowy (pozostały zasób trwałości zmęczeniowej). Obliczany na podstawie całkowitej liczby cykli N_c w poszczególnych punktach pomiarowych w odniesieniu do liczby cykli zarejestrowanych N . Prezentacja wyników obliczeń odnosi się do szacowanego czasu pozostałego do możliwego uszkodzenia zmęczeniowego w punkcie monitorowanym.
- Maksymalne naprężenie zarejestrowane w tablicy widma naprężeń z całego okresu monitorowania.

Widma uzyskano w czasie nieprzerwanego zliczania cykli metodą „Rain Flow” przez okres 8. miesięcy.

Z przedstawionych widm (rys. 9, 10, 11) wynika, że większość zliczonych cykli należy do grup o małej ich rozpiętości czyli do klas rozpiętości 30, 40, 50 ... 180 MPa (klas niższych, tj. 10, 20 MPa nie zamieszczono). Ponadto z każdą kolejną klasą ilość zliczonych cykli znacząco maleje. W odniesieniu do widm o rozpiętości powyżej 180 MPa (rys. 9a, 10a, 11a) widać, że maksymalne ich rozpiętości nie przekraczają 270 MPa, a ilość cykli nie przekracza 100 zdarzeń dla poszczególnych klas rozpiętości, przy czym najwięcej zliczanych cykli dotyczy szyny jezdnej mostu, punkt P5.09-25.



Rys. 6. Schemat rozmieszczenia punktu pomiarowego na wysięgniku koła czepakowego

Fig. 6. Scheme of measuring point location on bucket wheel boom



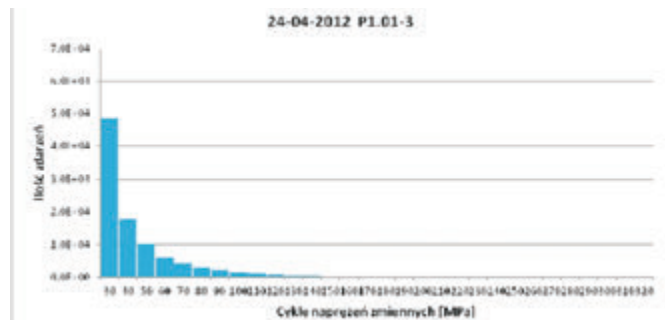
Rys. 7. Schemat rozmieszczenia punktu pomiarowego na przeciwwadze

Fig. 7. Scheme of measuring point configuration on counterweight jib



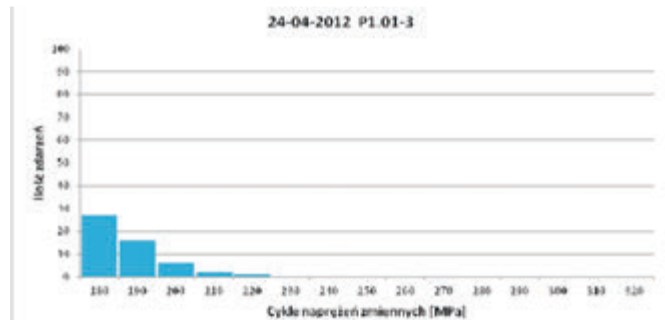
Rys. 8. Schemat rozmieszczenia punktu pomiarowego na moście podającym

Fig. 8. Scheme of measuring point configuration on connecting bridge



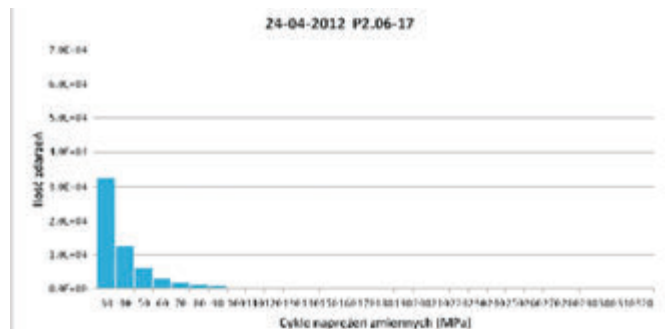
Rys. 9. Widmo naprężeń punktu pomiarowego na wysięgniku urabiającym

Fig. 9. Stress spectrum of measuring point on bucket wheel boom



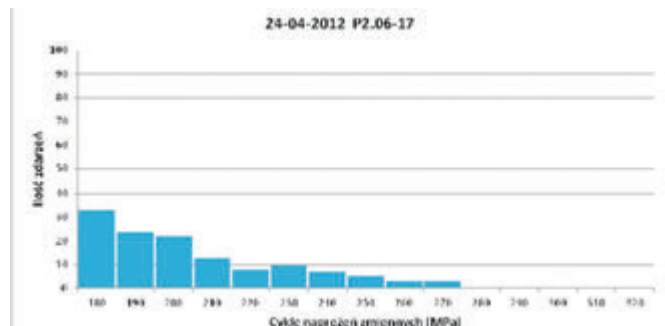
Rys. 9a. Widmo naprężeń punktu pomiarowego na wysięgniku urabiającym

Fig. 9a. Stress spectrum of measuring point on bucket wheel boom



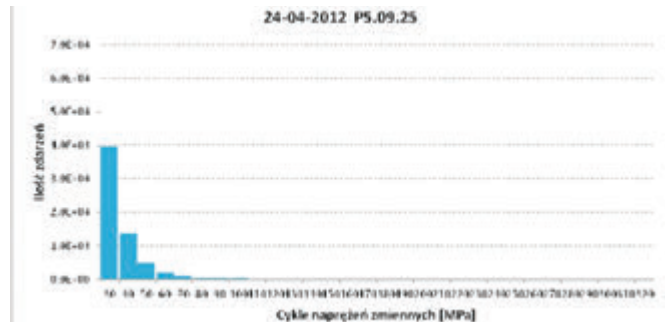
Rys. 10. Widmo naprężeń punktu pomiarowego na przeciwwadze

Fig. 10. Stress spectrum of measuring point on counterweight jib



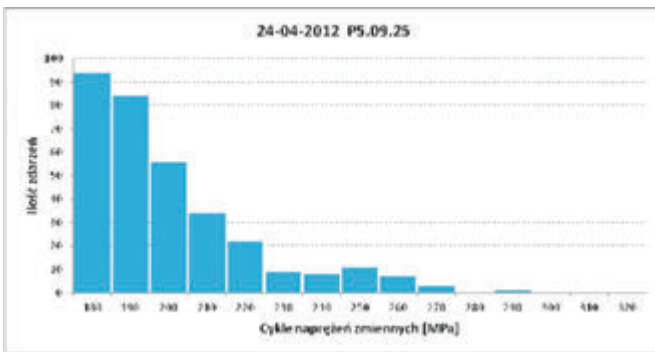
Rys. 10a. Widmo naprężeń punktu pomiarowego na przeciwwadze

Fig. 10a. Stress spectrum of measuring point on counterweight jib



Rys. 11. Widmo naprężeń punktu pomiarowego na moście podającym

Fig. 11. Stress spectrum of measuring point on connecting bridge



Rys. 11a. Widmo naprężeń punktu pomiarowego na moście podającym
Fig. 11a. Stress spectrum of measuring point on connecting bridge



Rys. 12. Przykładowe przebiegi i wartości zarejestrowanych naprężeń na wysięgniku koła czerpakowego
Fig. 12. Test runs and values of recorded stresses on bucket wheel boom



Rys. 13. Przykładowe przebiegi i wartości zarejestrowanych naprężeń na przeciwwadze
Fig. 13. Test runs and values of recorded stresses on counterweight jib



Rys. 14. Przykładowe przebiegi i wartości zarejestrowanych naprężeń na moście podającym
Fig. 14. Test runs and values of recorded stresses on connecting bridge

Z kolei, na rysunkach 12, 13, 14 przedstawiono dla powyższych punktów pomiarowych wartości naprężeń maksymalnych, które wystąpiły w czasie 8. miesięcy pracy systemu oraz przykładowe przebiegi wartości tych naprężeń z godzinnej i 24 godzinnej pracy systemu.

Z przedstawionych powyżej wykresów wynika, że dla wybranych przykładowo trzech punktów pomiarowych w ciągu 8. miesięcy pracy systemu nie doszło do przekroczenia warunków wytrzymałościowych zarówno w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej Z_{go} jak i wytrzymałości doraźnej R_e dla stali S355J0, z której zbudowany jest ustrój nośny badanej koparki.

Na podstawie przeprowadzonych badań, zarówno laboratoryjnych jak i doświadczalnych na ustrój nośny koparki stwierdzono, że system działa prawidłowo realizując założone cele.

Podsumowanie

W ostatnich latach w Poltegor-Institut zaprojektowano i wdrożono do użytkowania system ciągłej diagnostyki wytężeń ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego.

Podstawowym zadaniem systemu jest ocena stanu wytężenia badanego ustroju nośnego zarówno w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej jak i wytrzymałości doraźnej. System ten stanowi istotną nowość w stosunku do tego typu urządzeń ponieważ powyższa ocena prowadzona jest w sposób ciągły na badanym obiekcie z natychmiastowym przesyłaniem wyników do użytkownika maszyny. Umożliwia to podejmowanie z odpowiednim wyprzedzeniem działań zapobiegawczych ewentualnym awariom ustrojów nośnych na skutek przekroczenia warunków wytrzymałościowych, a w konsekwencji pozwala na uniknięcie poważnych kosztów związanych z usuwaniem skutków tych awarii.

Po przejściu cyklu badań laboratoryjnych powyższy system został zamontowany i uruchomiony na koparce SchRs 4000 eksploatowanej w KWB Bełchatów, a następnie poddany badaniom doświadczalnym podczas eksploatacji maszyny.