

*Jerzy Alenowicz**, *Marek Onichimiuk**, *Marian Wygoda**

OCENA ZASOBU TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ USTROJÓW NOŚNYCH MASZYN PODSTAWOWYCH GÓRNICTWA ODKRYWKOWEGO**

1. Wstęp

Maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego są największymi lądowymi maszynami na świecie. Ich masy dochodzą do kilkunastu tysięcy ton, a wymiary gabarytowe liczone są w setkach metrów. Spowodowane jest to głównie specyfiką wydobywania węgla brunatnego metodą odkrywkową (duże wysięgi zespołów roboczych maszyn podstawowych) oraz poruszaniem się tych maszyn po podłożach o niekorzystnych właściwościach nośnych, często bez uprzedniego przygotowania i odwodnienia powierzchni (rozbudowane zespoły jazdy o dużych powierzchniach jezdnych gąsienic). Ponadto powyższe maszyny charakteryzują się: oddziaływaniem na ich ustroje nośne długotrwałych obciążeń dynamicznych, często o charakterze losowym i wartościach przekraczających znacznie normatywne, dominującym udziałem masowym i wymiarowym ustroju nośnego w ramach całej maszyny i jego praktyczną niewymienialnością podczas całego okresu eksploatacji, znaczną długością tego okresu (w granicach 30–50 lat), jednostkowym wykonaniem (wyłącznie na zamówienie) i dużym zróżnicowaniem zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, nawet w ramach tego samego typu, pracą na otwartej przestrzeni w zmiennych warunkach atmosferycznych, często w znacznym zapyleniu i dużej wilgotności.

Z zamieszczonej charakterystyki wynika, że najbardziej newralgicznym zespołem decydującym o przydatności eksploatacyjnej oraz bezpieczeństwie pracy tych maszyn jest zespół ustroju nośnego [1]. Ponieważ, jak podano powyżej, ustroje nośne maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego poddawane są długotrwałym obciążeniom dynamicznym

* Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Poltegor-Instytut, Wrocław

** Artykuł zrealizowano w ramach projektu pt. „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego” nr UDA-POiG 01.03.01-00-043/08-00, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka 2007–2013. Projekt 1, Działanie 1.3. Poddziałanie 1.3.1.

o wartościach często przekraczających normatywne, stąd dominującym zjawiskiem powodującym ich degradację do całkowitego zniszczenia włącznie jest proces zmęczenia.

Przy tak dużych obiektach jakimi są maszyny górnictwa odkrywkowego prowadzić to może do poważnego uszkodzenia poszczególnych elementów zespołów ustroju nośnego i w efekcie końcowym katastrofy w postaci całkowitego zniszczenia tych maszyn, co z kolei stanowi oprócz ogromnych strat finansowych poważne zagrożenie życia ludzkiego.

W dotychczasowej 65-letniej historii eksploatacji maszyn górnictwa odkrywkowego w Polsce wydarzyło się ok. 250 dużych awarii tych maszyn, w tym kilkanaście skutkujących całkowitym ich zniszczeniem. Większość z nich spowodowana była przekroczeniem warunku wytrzymałości zmęczeniowej elementów ustrojów nośnych [2].

Sytuacja ta w ostatnich latach ulega jeszcze pogorszeniu ze względu na schodzenie z wydobyciem węgla brunatnego do coraz niższych poziomów co związane jest z koniecznością urabiania skał zwięzłych o wzrastających twardościach, oraz ze względu na starzenie się większości aktualnie eksploatowanych maszyn podstawowych w krajowym górnictwie odkrywkowym.

2. Wymiarowanie ustrojów nośnych

Ustroje nośne maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego wymiarowane są na trwałość zmęczeniową głównie w oparciu o normę DIN 22261-2 [3] oraz normy PN-G-47000-1 [4] i ISO-5049-1 [5].

Według powyższych norm do obliczeń przyjmowane są wzorcowe intensywności obciążeń eksploatacyjnych określonych przez grupy natężenia pracy definiowane za pomocą statystycznego rozkładu obciążeń (wartość obciążeń i liczba ich realizacji). Dla złączy spawanych przyjmowane są karby wzorcowe zawarte w powyższych normach i na tej podstawie przyjmowane są naprężenia dopuszczalne. Ogólnie mówiąc obliczenia wytrzymałościowe skupiają się tu na wyznaczeniu zakresu zmienności naprężeń wynikającego z ekstremalnego skojarzenia poszczególnych obciążeń obliczeniowych [6]. Kojarzenie obciążeń, wybór najbardziej niekorzystnych ich przypadków i na tej podstawie wymiarowanie ustroju nośnego odbywa się za pomocą specjalistycznych programów komputerowych. Ustrój nośny przed wystąpieniem nadmiernych ugięć i odkształceń jest zabezpieczony na etapie projektowania przez odpowiedni dobór struktury konstrukcji, zastosowanych profili i materiału z którego są one wykonane, oraz zastosowanie urządzeń zabezpieczających głównych mechanizmów przed przeciążeniem, a także urządzeń zabezpieczających przed kolizją poszczególnych zespołów roboczych jak i całych maszyn pomiędzy sobą w ciągu technologicznym. Następnie tak ukształtowany i zwymiarowany ustrój nośny jest wytwarzany i montowany na placu montażowym użytkownika, a następnie rozpoczyna się etap eksploatacji. Etap montażu, a szczególnie łączenia poszczególnych elementów i zespołów za pomocą spawania podlega ścisłej kontroli według norm i przepisów warsztatowych, ponieważ od jego jakości zależy w dużej mierze trwałość tak ukształtowanej konstrukcji. Tak zaprojektowany i wyko-

nany ustrój nośny w większości przypadków zapewnia stosunkowo długotrwałe i bezpieczne użytkowanie maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego przy założonych przez projektanta normowych wartościach obciążeń.

3. Ocena zasobu trwałości zmęczeniowej ustrojów nośnych w wyniku badań eksploatacyjnych

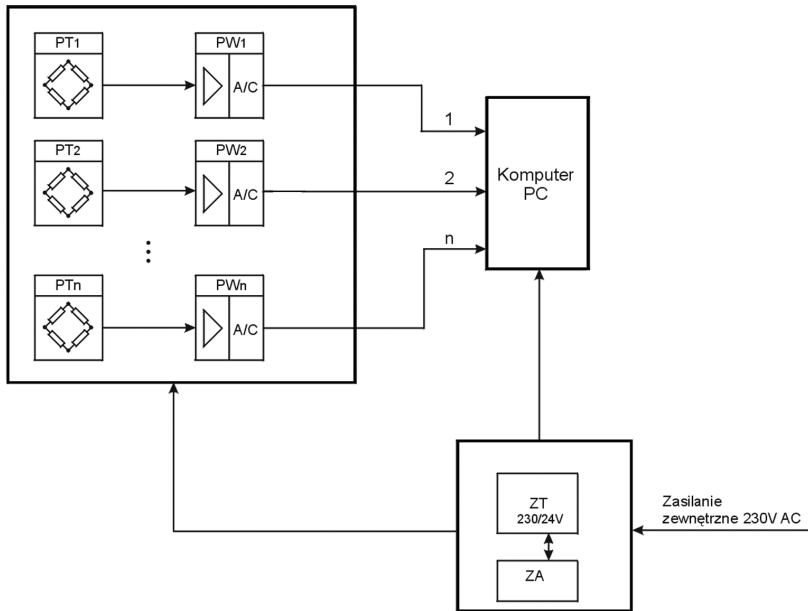
Ze względu na wymienioną we wstępie specyfikę budowy i pracy maszyn podstawowych, a szczególnie oddziaływanie na ich ustrój nośny długotrwałych obciążeń dynamicznych o charakterze losowym i wartościach chwilowych często kilkakrotnie przekraczających wartości normatywne, a także występowanie zjawiska korozji międzykrystalicznej na granicach ziaren metalu, będącej ogniskiem dodatkowych pęknięć zmęczeniowych, dochodzi jednak w praktyce (pomimo istniejących zabezpieczeń) do przekraczania warunku wytrzymałości zmęczeniowej. Przekroczenie tego warunku powoduje powstawanie pęknięć zmęczeniowych, których stopniowy rozwój skutkuje zniszczeniem poszczególnych elementów ustroju nośnego. Podobnie jest w przypadku nadmiernych drgań konstrukcji. Są one wynikiem rezonansu konstrukcji z obciążeniami cyklicznie zmiennymi. Dlatego na etapie projektowania przeprowadza się odpowiednią analizę drgań własnych. Zmiana częstotliwości drgań własnych konstrukcji jest skutkiem zmiany jej sztywności, tłumienia lub masy jej zespołów lub elementów. Dlatego wystąpienie tego typu zjawiska będzie również związane z degradacją elementów konstrukcji lub ich połączeń. Nie dotyczy to zmian modernizacyjnych które mogą zakłócić dotychczasową strukturę lub sztywność konstrukcji i wymagają przeprowadzenia ponownych obliczeń wytrzymałościowych.

Stąd też ze względu na brak możliwości uwzględnienia rzeczywistych wartości i częstości występowania obciążeń dynamicznych ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego na etapie ich projektowania, jedynym sposobem zapobieżenia zdarzającym się katastrofom i awariom jest ciągły monitoring i ocena stanu wyężenia powyższych ustrojów głównie w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej.

Ocena tego stanu jest zadaniem skomplikowanym przede wszystkim ze względu na dużą zmienność i stochastyczny charakter obciążeń dynamicznych koparek (szczególnie pracujących w utworach tzw. trudno urabialnych) oraz ze względu na nie do końca poznane i zdefiniowane zjawisko zmęczenia metali (skutkuje to m.in. istnieniem wielu hipotez i metod oceny tego zjawiska, które w praktyce dają całkowicie odmienne wyniki) [7].

W Polsce prace dotyczące oceny stanu wyężenia ustrojów nośnych maszyn górnictwa odkrywkowego prowadzone są przede wszystkim na Politechnice Wrocławskiej [8, 9], w AGH Kraków [10, 11] i w Poltegor-Institut [1, 12]. Badania realizowane są głównie z wykorzystaniem tensometrii elektrooporowej, chociaż coraz częściej stosuje się inne metody takie jak metoda elastooptyczna czy coraz bardziej rozwijająca się metoda termowizyjna. Wyniki przetwarzane są w układach cyfrowych za pomocą specjalnych systemów pomiarowych umożliwiających dalszą obróbkę komputerową.

Typowy układ do tensometrycznych badań stanu wyęczenia ustrojów nośnych maszyn górnictwa odkrywkowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat układu do tensometrycznych badań stanu wyęczenia ustrojów nośnych

Składa się on z tensometrycznych czujników pomiarowych $PT_1 \dots PT_n$ naklejonych na elementach ustroju nośnego połączonych ze wzmacniaczami pomiarowymi $PW_1 \dots PW_n$, które są połączone z przetwornikami analogowo-cyfrowymi A/C, a te z kolei połączone są z komputerem PC. Sygnały z tensometrów po odpowiednim wzmacnieniu i zamianie z postaci analogowej na cyfrową wprowadzane są do komputera. W komputerze sygnały podlegają obróbce za pomocą specjalistycznego oprogramowania i są zapisywane na twardym dysku a następnie są odtwarzane przez użytkownika. Współczesne oprogramowanie pozwala na praktycznie dowolną obróbkę statystyczną sygnałów i przedstawienie ich w dowolnej postaci np. wykresów, przebiegów itp. Tak przetworzone i odtworzone sygnały pomiarowe są następnie analizowane przez użytkownika po zakończeniu cyklu badań i na podstawie powyższej analizy wyciągane są wnioski dotyczące aktualnego stanu wyęczenia danego ustroju nośnego maszyny podstawowej. Cykle badań prowadzone są w okresach od kilku dni do kilku miesięcy w zależności od potrzeb. Badania te jakkolwiek bardzo przydatne w zakresie oceny bieżącego stanu wyęczenia ustrojów nośnych, ze względu na specyfikę zjawiska zmęczenia, nie pozwalają w pełni na jego dalszą prognozę. Prognozę taką umożliwiają jedynie badania prowadzone w sposób ciągły, z bieżącą analizą i oceną wyników i natychmiastowym dostarczaniem ich do użytkownika. Dlatego też w Poltegor-Instytut, Instytucie

Górnictwa Odkrywkowego podjęto w ostatnich latach prace badawcze których celem jest budowa i wdrożenie systemu ciągłej diagnostyki wyężeniowej ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego, co przedstawiono w kolejnych rozdziałach artykułu.

4. System ciągłej diagnostyki wyężenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego

Jak podano w poprzednim rozdziale głównym zadaniem powyższego systemu jest ciągła diagnostyka wyężeniowa ustrojów nośnych maszyn podstawowych, umożliwiająca ocenę pozostałego zasobu trwałości zmęczeniowej tj. czasu efektywnej pracy maszyny do wystąpienia ewentualnej awarii.

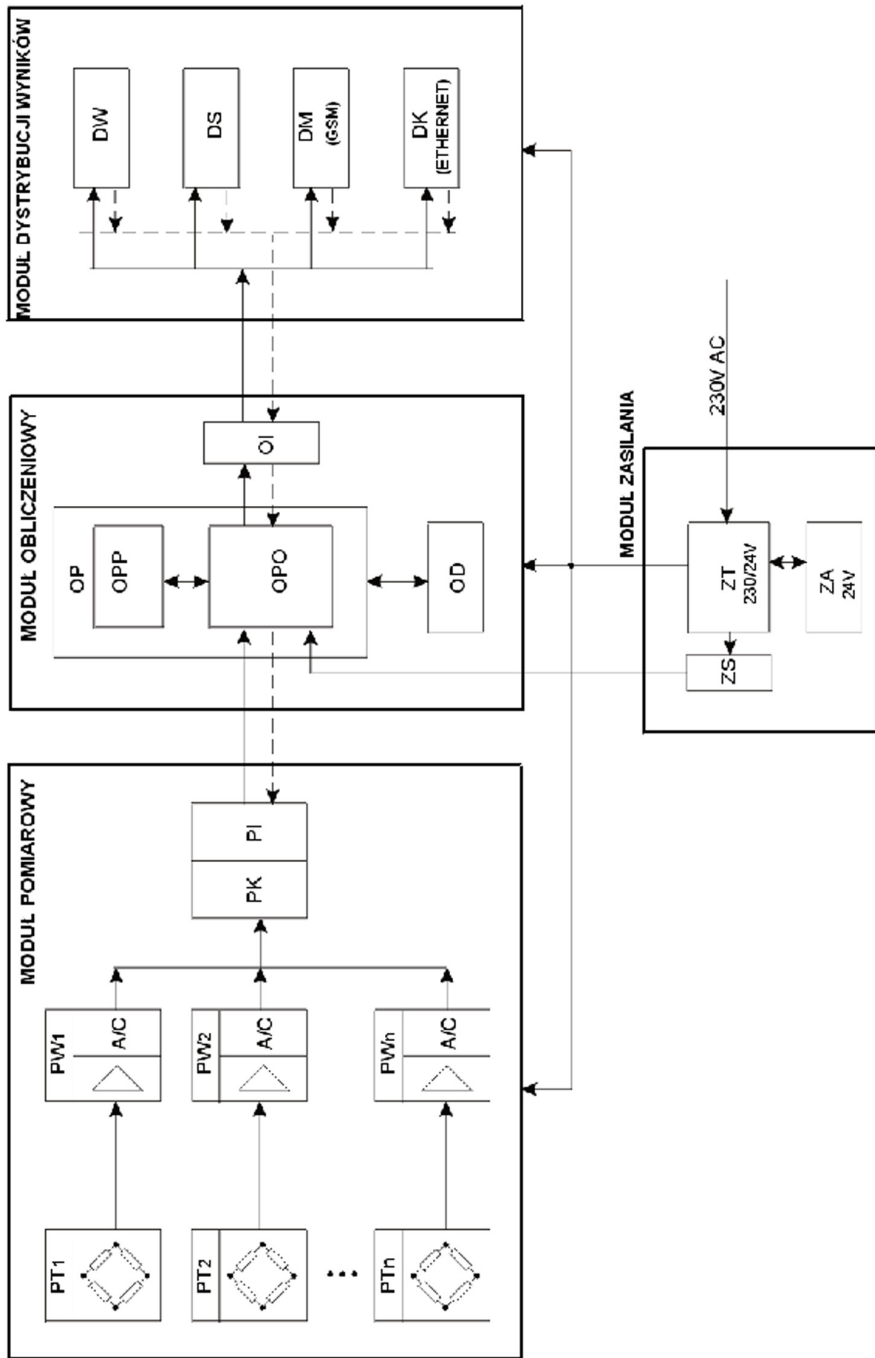
Schemat takiego systemu przedstawiono na rysunku 2 [13]. Składa się on z czterech modułów, rozmieszczonych na konstrukcji monitorowanego ustroju nośnego. Są to w kolejności: moduł pomiarowy, moduł obliczeniowy, moduł dystrybucji wyników i moduł zasilania. Poszczególne moduły systemu mogą być połączone między sobą drogą przewodową lub bezprzewodową za wyjątkiem modułu zasilania, który musi być połączony z poszczególnymi modułami za pomocą przewodów (linią ciągłą zaznaczono na rysunku 2 przewody do przesyłania danych pomiarowych, a linią przerywaną przewody do przesyłania zwrotnych sygnałów sterujących przepływem danych).

Zadaniem modułu pomiarowego jest zbieranie informacji o naprężeniach z punktów diagnostycznych, wstępne ich przygotowanie i zamiana z postaci analogowej na postać cyfrową umożliwiającą ich dalsze przetwarzanie. Moduł pomiarowy składa się z czujników pomiarowych $PT_1 \dots PT_n$, wzmacniaczy $PW_1 \dots PW_n$ wraz z przetwornikami analogowo-cyfrowymi A/C oraz procesora komunikacyjnego PK i interfejsu PI .

Jako czujniki pomiarowe do pomiaru wartości naprężeń używane są tensometry elektrooporowe, które mocowane są bezpośrednio na konstrukcji, mogą też być użyte tensometry światłowodowe. Miejsca mocowania tensometrów dobierane są tam, gdzie występują największe wartości naprężeń w poszczególnych elementach ustroju nośnego [14]. Następnie sygnały w postaci cyfrowej są wprowadzane do modułu obliczeniowego.

Moduł obliczeniowy składa się z komputera przemysłowego OP wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie podstawowe OPP i obliczeniowe OPO, urządzenia (bazy) gromadzenia danych OD oraz interfejsu komunikacyjnego OI. Oprogramowanie podstawowe to system uruchomieniowy i zarządzający procesami obliczeniowymi. Zadaniem tego systemu jest uruchomienie startowe i po przywróceniu zasilania oraz rozruch i nadzór pracy oprogramowania obliczeniowego i innego niezbędnego do zarządzania systemem ciągłej diagnostyki. 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 [7, 13].



Rys. 2. Schemat systemu ciągłej diagnostyki wyłączenia urządzeń nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego

Zliczane cykle zmienne są gromadzone w tablicy (bazie) widma obciążeń zmiennych. Widmo obciążeń zmiennych jest poddawane korekcie o wartość naprężeń wstępnego sprzężenia konstrukcji (naprężenia od ciężaru własnego) ustroju nośnego.

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 metodą wyznaczania widma obciążeń pierwotnych [13].

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 wyężenia ustroju nośnego do użytkownika lub obsługi maszyny. Informacje te mogą być przekazywane za pomocą wyświetlaczy, sygnalizatorów, modemów (np. GSM) lub sieci komputerowych (np. Ethernet). Moduł ten składa się z wyświetlaczy DW, sygnalizatorów DS, modemów DM, kart sieci komputerowej DK

Zadaniem modułu zasilania jest dostarczenie energii elektrycznej do poszczególnych modułów systemu. Składa się on z zasilacza ZT 230/24V i urządzenia do podtrzymania zasilania w razie przerw w dopływie energii ZA, oraz urządzenia sygnalizującego zanik napięcia ZS.

Na rysunku 3 pokazano zamontowane w skrzynce sterowniczej: moduł pomiarowy z wyjątkiem czujników PT, moduł obliczeniowy, moduł dystrybucji wyników i moduł zasilania.

Powyższy system jest również przeznaczony do oceny stanu wyężenia ustroju nośnego w zakresie wytrzymałości doraźnej. Spowodowane jest to specyfiką pracy maszyn górnictwa odkrywkowego, gdzie w praktyce dochodzi nierzadko do przekroczenia wartości naprężeń dopuszczalnych 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 wyężenia 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 sprzężenia konstrukcji obliczane są naprężenia zastępcze i porównywane z wartościami naprężeń dopuszczalnych. Wartość naprężeń zastępczych jest sprawdzana na bieżąco bez gromadzenia w bazie danych systemu monitorowania. W przypadku możliwości przekroczenia wartości naprężeń dopuszczalnych z systemu monitorowania wyprowadzany jest sygnał ostrzegawczy. Sygnał ten jest

przesyłany do użytkownika i obsługi maszyny. Przewidziana jest trzystopniowa skala sygnału ostrzegawczego.



Rys. 3. Skrzynka sterownicza z zamontowanymi modułami systemu ciągłego monitoringu stanu wyężenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego

Ponadto w przypadku uszkodzeń poszczególnych elementów ustroju nośnego może w niektórych punktach pomiarowych wystąpić gwałtowna zmiana napiężeń lub brak (zanik) zmian tych napiężeń. 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.

5. Zalety wynikające z wdrożenia systemu

Przedstawiony powyżej system jest systemem nowatorskim, nie stosowanym dotychczas w odniesieniu do maszyn górnictwa odkrywkowego. Nowatorskość ta będzie wyrażała się ciągłym monitorowaniem stanu wyężenia ustroju nośnego, przetwarzaniem i analizą

wyników badań w trybie „on line”, określeniem na tej podstawie zasobu trwałości zmęczeniowej, oraz natychmiastowym przesyłaniem informacji wynikowej do użytkownika. Ponadto istotną nowością będzie też możliwość ustalenia dotychczasowej liczby cykli naprężeń zmęczeniowych jakie zostały przeniesione przez ustrój nośny, co z kolei pozwala na ocenę trwałości zmęczeniowej w stosunku do maszyn poddanych długoletniej eksploatacji. Jest to bardzo ważne ze względu na fakt, że maszyny takie stanowią przeważającą większość w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego. Ciągły monitoring zostanie równocześnie wykorzystany do bieżącej oceny wytrzymałości doraźnej, co również nie zostało dotychczas zastosowane w badaniach ustrojów nośnych maszyn górnictwa odkrywkowego.

Powyższe działania umożliwią stosunkowo dokładną ocenę stanu wyęczenia, a w wyniku końcowym odpowiedź na pytanie, które dotychczas nie znajdowało odpowiedzi, czyli jak długo jeszcze może być eksploatowany w bezpieczny sposób ustrój nośny badanej maszyny. Z tak uzyskanej odpowiedzi wynika wiele zalet związanych z zastosowaniem powyższego systemu w bieżącej eksploatacji maszyn górnictwa odkrywkowego do których można zaliczyć:

- podejmowanie działań zapobiegawczych awariom zmęczeniowym ustroju nośnego w postaci odpowiedniego wcześniejszego planowania remontów lub wymian określonych jego elementów i zespołów;
- podejmowanie natychmiastowych działań zapobiegawczych awariom ustroju nośnego na skutek przekroczenia wytrzymałości doraźnej poprzez sygnalizację alarmową przesyłaną do użytkownika i obsługi maszyny, co z kolei pozwala np. na szybkie wyłączenie zasilania mechanizmów itp.;
- otrzymywanie przez użytkownika maszyny informacji o różnorodnych lokalnych przekroczeniach dopuszczalnego poziomu wytrzymałości doraźnej ustroju nośnego np. podczas różnego rodzaju kolizji maszyn ze skarpą, poszczególnymi zespołami roboczymi itp.;
- uzyskanie odczuwalnego w skali kopalni wzrostu trwałości ustrojów nośnych maszyn podstawowych, a tym samym obniżki kosztów związanych z ich eksploatacją (np. obniżenie kosztów i skrócenie czasu remontów, ograniczenie czasu i ilości postojów z powodu awarii);
- uzyskanie informacji o rzeczywistym poziomie naprężeń w ustroju nośnym, co może być wykorzystane przy różnego rodzaju ocenach stanu technicznego, modernizacjach, przebudowach itp., a także planowaniu technologii i przyszłych frontów pracy maszyn;
- uzyskanie wzrostu bezpieczeństwa pracy obsługi maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego.

6. Podsumowanie

Ze względu na specyfikę budowy i użytkowania maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego, najbardziej newralgicznym zespołem, decydującym o przydatności eksploata-

cyjnej i bezpieczeństwie pracy tych maszyn są ich ustroje nośne. Ustroje te narażone są na występowanie długotrwałych obciążeń dynamicznych, o charakterze losowym i wartościach znacznie przekraczających wartości normatywne. W połączeniu z agresywnymi warunkami środowiska pracy oraz bardzo długim okresem eksploatacji, stwarza to sprzyjające warunki do powstawania i rozwoju pęknięć zmęczeniowych, co może prowadzić do poważnych awarii tych ustrojów, a nawet katastrof całych maszyn. Dowodem na to jest fakt, że na 250 dużych awarii maszyn podstawowych jakie wydarzyły się w 65-letniej historii polskiego górnictwa odkrywkowego węgla brunatnego, większość spowodowana była procesem zmęczenia elementów ustrojów nośnych. Ustroje nośne powyższych maszyn są zabezpieczone przed utratą warunków wytrzymałości zmęczeniowej na etapie projektu, poprzez wymiarowanie ich zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami. Jednak ze względu na wspomniane powyżej oddziaływanie obciążeń dynamicznych nie można na etapie projektowania uwzględnić ich rzeczywistych wartości i częstości występowania. Stąd też jedynym efektywnym sposobem zapobieżenia zdarzającym się awariom i katastrofom maszyn podstawowych jest ciągły monitoring i ocena stanu wyęczenia ich ustrojów nośnych.

Ciągły monitoring ustrojów nośnych maszyn górnictwa odkrywkowego nie był dotychczas prowadzony. Badania były realizowane w ograniczonych przedziałach czasowych a wyniki były analizowane po ich zakończeniu, co ze względu na specyfikę zjawiska zmęczenia uniemożliwiało dalszą prognozę wyęczenia badanych ustrojów nośnych. Stąd też w Poltegor-Instytut podjęto ostatnio badania, których celem jest opracowanie systemu ciągłego monitoringu i bieżącej oceny stanu wyęczenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego. System ten oparty jest na ciągłym pomiarze naprężeń dynamicznych w wybranych punktach diagnostycznych rozmieszczonych na najbardziej obciążonych elementach badanego ustroju nośnego. Głównym zadaniem systemu jest ocena zasobu trwałości zmęczeniowej wyrażona w godzinach efektywnej pracy maszyny, do możliwości wystąpienia awarii poszczególnych elementów ustroju nośnego. Ocena ta dokonywana jest na bieżąco w sposób ciągły, a jej wyniki są przesyłane w sposób natychmiastowy do użytkownika maszyny. Powyższy system może być stosowany nie tylko w odniesieniu do maszyn nowych, ale także do maszyn poddanych długoletniej eksploatacji. Jest to o tyle istotne, że większość maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego eksploatowanych w krajowych kopalniach węgla brunatnego stanowią maszyny o długoletnim stażu eksploatacyjnym. Ponadto system ten posiada zdolność do równoczesnej oceny stanu wyęczenia w zakresie wytrzymałości doraźnej.

Reasumując, przedstawiony w artykule system ciągłego monitoringu wyęczenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego posiada wiele zalet w odniesieniu do bieżącej eksploatacji tych maszyn, z których najistotniejszymi są:

- możliwość podejmowania działań zapobiegawczych awariom ustrojów nośnych,
- możliwość wydłużenia czasu eksploatacji powyższych maszyn,
- obniżenie kosztów eksploatacji maszyn podstawowych poprzez zmniejszenie ilości awarii, a co za tym idzie zmniejszenie ilości i czasu postojów itp.,
- uzyskanie wzrostu bezpieczeństwa pracy ich obsługi.

Powyższy system znajduje się obecnie w fazie wdrożenia na jednej z koparek nadkładowych w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. Po zakończeniu cyklu badań eksploatacyjnych planowane jest jego wdrożenie w pozostałych krajowych kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego.

LITERATURA

- [1] *Alenowicz J.*: Badania diagnostyczne konstrukcji nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego. Wyd. Górnictwo Odkrywkowe nr 2/2004, Wrocław
- [2] *Babiarz S., Dudek D.*: Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym. Wyd. PWR 2007
- [3] Norma DIN 22261-2. Koparki, zwałowarki i maszyny pomocnicze w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego. Cz. 2. Podstawy obliczeniowe
- [4] Norma PN-GN-47000-2. Koparki wielonaczyniowe i zwałowarki. Cz. 2. Podstawy obliczeniowe
- [5] Norma PN-ISO 5049.1. Urządzenia przejezdne do transportu ciągłego materiałów sypkich. Cz. 1. Wytyczne do obliczeń stalowych konstrukcji nośnych
- [6] *Kowalczyk M., Sobczykiewicz W.*: Realizacja zmęczeniowego zasobu eksploatacyjnego konstrukcji nośnych m.r.c. Ujęcie tradycyjne. Wyd. Górnictwo Odkrywkowe nr 4–5/2009
- [7] *Kocańda S.T., Szala J.*: Podstawy obliczeń zmęczeniowych. PWN Warszawa 1991
- [8] *Dudek D.*: Elementy dynamiki maszyn górnictwa odkrywkowego. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2007
- [9] *Augustynowicz J., Dudek D.*: Prognozowanie okresu bezpiecznej eksploatacji maszyn górniczych. Wyd. Górnictwo i Geoinżynieria. Rok 31. AGH Kraków, 2007
- [10] *Bęben A. i in.*: Maszyny i urządzenia do odkrywkowego urabiania surowców. AGH Kraków, 1988
- [11] *Ślebodziński J.*: Ocena możliwości mechanicznego urabiania skał słabozwężłych koparkami o podwyższonej sile skrawania. Zeszyty Nauk AGH Kraków, nr 1279, 1989
- [12] *Szepietowski W.*: Identyfikacja rodzaju urabianej skały podczas długoterminowych badań obciążeń wielonaczyniowych koparek kołowych. Górnictwo Odkrywkowe nr 2/2000
- [13] *Alenowicz J., Onichimiuk M., Szepietowski W., Wygoda M.*: Analiza możliwości zastosowania istniejących metod badawczych do określenia w sposób ciągły stanu wyężenia ustroju nośnego i określenia metody jego monitorowania. Zadanie 1. Etap 1.1.1. Część 2. Oprac. IGO Poltegor nr arch. 5874/IGO, Wrocław 2009, (praca niepublikowana)
- [14] *Alenowicz J., Onichimiuk M., Wojtowicz A., Wygoda M.*: Projekt układu monitorowania stanu wyężenia ustroju nośnego i systemu sterowania uwzględniającego sygnały z tego układu. Zadanie 1. Etap 1.1.4. Oprac. IGO Poltegor nr arch. 6019/IGO, Wrocław 2010 (praca niepublikowana)