

# DŁUGOTERMINOWE BADANIA EKSPLOATACYJNE OBCIĄŻEŃ USTROJÓW NOŚNYCH KOPAREK

## LONG-TERM LOAD TESTS OF OPENCAST MINING EXCAVATORS

Marek Onichimiuk, Marian Wygoda – Poltegor-Institut IGO, Wrocław

Andrzej Figiel – Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska

*Określono przyczyny powstawania uszkodzeń i awarii ustrojów nośnych koparek górnictwa odkrywkowego. Omówiono dotychczasowe prace dotyczące oceny zasobu trwałości zmęczeniowej. Zaprezentowano opracowany w Poltegor-Institut system ciągłego monitoringu i oceny stanu wyężenia ustrojów nośnych. Przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych systemu na ustroju nośnym koparki kołowej SchRs 4000 w KWB Belchatów. Podano korzyści wynikające z wdrożenia systemu na koparkach górnictwa odkrywkowego.*

**Słowa kluczowe:** koparki wielonaczyniowe, ustroje nośne, trwałość zmęczeniowa, ciągły monitoring

*Reasons of damages and failures in load carrying structures of opencast mining excavators have been defined. Activities connected with assessment of fatigue life reserves have been discussed. System for constant monitoring and effort assessment of load-carrying structures elaborated in Poltegor-Institute has been presented. Results of the system tests on load carrying structure of SchRs 4000 bucket wheel excavator in Opencast Mining Belchatów have been presented. Advantages resulting from implementation of the system in opencast mining excavators have been indicated.*

**Key words:** bucket wheel excavators, load carrying structures, fatigue life, constant monitoring

### Wstęp

Koparki wielonaczyniowe kołowe górnictwa odkrywkowego, a szczególnie ich ustroje nośne poddawane są z reguły długotrwałym obciążeniom dynamicznym o wartościach często znacznie przekraczających normatywne. W połączeniu z bardzo długim okresem i wyjątkowo trudnymi warunkami użytkowania powoduje to przyspieszoną ich degradację, w której główną rolę odgrywają procesy zmęczeniowe. Fakt ten potwierdzają dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne gdzie dochodzi stosunkowo często do różnorodnych awarii ustrojów nośnych koparek, powodowanych procesami zmęczeniowymi [1]. Ponieważ na etapie projektowania ustroju nośnego nie można przewidzieć wszystkich wartości obciążeń dynamicznych jakie mogą wystąpić w trakcie przyszłej eksploatacji koparki, stąd też jedynym sposobem zapobieżenia tej niekorzystnej sytuacji jest objęcie powyższych ustrojów nośnych długotrwałymi badaniami ich obciążeń eksploatacyjnych. Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń oraz z samej istoty zjawiska zmęczenia, badania te powinny być prowadzone w sposób ciągły, najlepiej z bieżącą analizą i oceną wyników, gdyż tylko w takim przypadku można zapobiec ewentualnym awariom a nawet katastrofom koparek górnictwa odkrywkowego.

### Dotychczasowe prace dotyczące długoterminowych badań obciążeń ustrojów nośnych koparek

W kraju prace związane z badaniami długoterminowymi obciążeń eksploatacyjnych koparek górnictwa odkrywkowego

prowadzone są głównie na Politechnice Wrocławskiej i w Poltegor-Institut, Instytucie Górnictwa Odkrywkowego oraz w firmie SKW Zgorzelec.

Prace prowadzone na Politechnice Wrocławskiej realizowane są przez zespół Profesora Dionizego Dudka z Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn [2][3][4].

Najkrócej mówiąc skupiają się ona na badaniach obciążeń zewnętrznych oddziaływujących na ustrój nośny koparek. Wedle przyjętej tam filozofii obciążenie jest bowiem jedynym czynnikiem łączącym rozważania teoretyczno-obliczeniowe z eksperymentalnie uzyskaną rzeczywistością. Przy czym tym lepsze otrzymuje się przybliżenie tej rzeczywistości, im liczniejszy jest zbiór wiarygodnych wyników eksperymentu. Dla maszyn roboczych - a zwłaszcza dla maszyn do prac ziemnych pracujących w nie powtarzających się na ogół warunkach – oznacza to właśnie konieczność długoterminowej obserwacji i akwizycji odpowiednich sygnałów metrologicznych.

W praktyce do realizacji powyższego celu wykorzystuje się znane algorytmy:

- kwantyfikowania zbioru danych wzdłuż osi czasu,
- porządkowania wartości skwantowanych przekroczeń dla potrzeb odpowiedniej hipotezy zmęczeniowej,
- porządkowania zbioru wartości skwantowanych oraz obliczenia jego wartości średniej i wariancji,
- podziałów zbiorów na szereg rozłącznych przedziałów klasowych,
- obliczania podstawowych statystyk w poszczególnych klasach. tzn. średniej ważonej, wariancji, współczynnika zmienności, asymetrii, ekscesu,

- estymacji uzyskanego histogramu matematycznym modelem statystycznym (rozkładem prawdopodobieństwa),
- weryfikacji hipotezy o przyjętym, modelowym rozkładzie statystycznym – najlepiej testami nieparametrycznymi, nie wymagającymi założeń o normalności rozkładu.

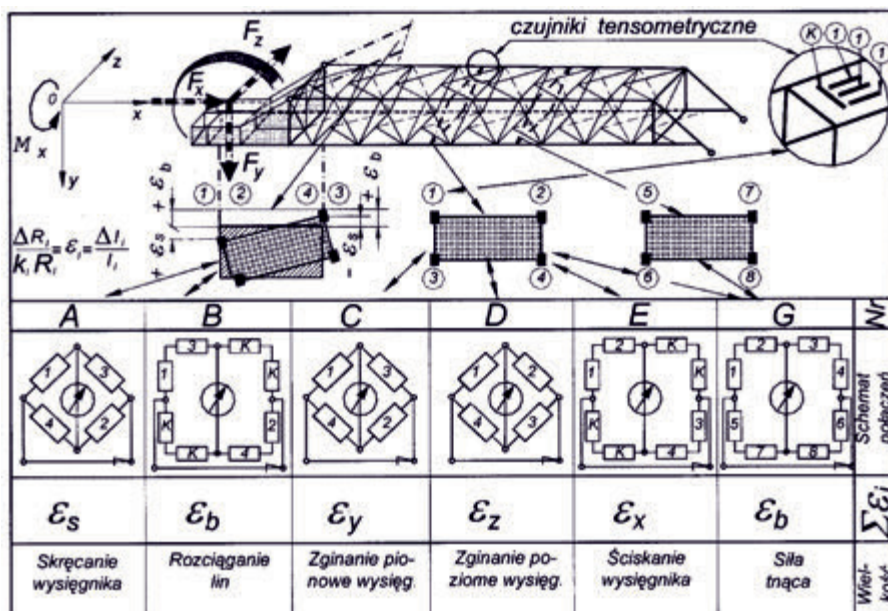
Za podkreślaną tu długoterminowością badań przemawia ponadto konieczność prowadzenia badań eksploatacyjnych tzn. badań prowadzonych wg strategii eksperymentu biernego. Bierność ta narzucona jest właśnie przez warunki użytkowania tych ogromnych maszyn. Poza ograniczonymi zmianami sposobu eksploatacji nie ma właściwie żadnej możliwości zmiany jakichkolwiek innych parametrów układu Obiekt-Otoczenie. Nawet szybka zmiana rodzaju urabianego gruntu nie wchodzi w zasadzie w rachubę, uniemożliwia to po prostu ogólna strategia prowadzenia wydobywania przez kopalnię. Pozostaje jedynie bierne i długotrwałe obserwowanie procesu kopania bądź zwałowania. Tylko tak prowadzony eksperyment umożliwia ocenę stopnia stacjonarności i ergodyczności procesu obciążenia obiektu. Wiarygodne obliczenia wytrzymałościowe ustrojów nośnych koparek wymagają wysublimowanych metod numerycznych, włącznie z analizą modalną drgań [2]. Niestety podstawą takich obliczeń jest konieczność zidentyfikowania rzeczywistych obciążeń zewnętrznych, działających na obliczany ustrój w całym okresie jego „życia” tzn. w odległej przeszłości – o której, ze względu na płynność zatrudnienia kadr, już nikt nie pamięta – oraz w nie dającej, zdawałoby się, przewidzieć przyszłości.

Okazuje się jednak, że umiejętne wnioskowanie statystyczne może otworzyć przed nami ukryte karty historii. Albowiem można historię tego procesu odtworzyć metodami doświadczalnymi z wystarczającą dla praktyki dokładnością. W tym celu wystarczy jedynie tak zaprojektować konfigurację rozmieszczenia przetworników pomiarowych i określonych torów ich wzajemnych połączeń, aby poszczególne układy pomiarowe wykazywały całkowitą rozdzielczość, tzn. aby mierzyły tylko ściśle określone wielkości fizyczne (rys. 1). Skonstruowana według zamieszczonych schematów instalacja pomiarowa powinna zostać odpowiednio wyskalowana obciążeniem statycznym i dynamicznym. Na podstawie uzyskanych wyników

można wtedy oszacować współczynniki korelacji liniowości odkształceń badanego obiektu pod wpływem znanych obciążeń. Analiza harmoniczna wywołanych drgań określa częstotliwości własne konstrukcji i współczynniki tłumienia. Jest też podstawą wyznaczania obszarów rezonansowych. W rezultacie takiego postępowania można wystarczająco dokładnie określać m.in. takie zmienne w czasie obciążenia, jak:

- moment zginający konstrukcję wysięgnika w płaszczyźnie pionowej w dowolnym jego przekroju, tzn. moment wywołany głównie składową obwodową siły kopania,
- moment zginający konstrukcję wysięgnika w płaszczyźnie poziomej w dowolnym jego przekroju, tzn. moment wywołany głównie składową obwodową siły kopania,
- siłę ściskającą konstrukcję wysięgnika, tzn. siłę wywołaną głównie składową normalną siły kopania,
- podobne wielkości występujące w konstrukcjach masztów, cięgien stałych, wież nadwozi itp.
- siły rozciągające w linach wciągarek oraz cięgnach stałych podwieszenia wysięgników,
- siły tnące w wybranych przekrojach konstrukcji stalowej.

Nie zawsze nadarza się okazja bezpośredniego pomiaru aż tylu parametrów. Nie ma zresztą takiej potrzeby. Wymienione przed chwilą wielkości nie są niezależne i zbadanie przebiegów tylko niektórych z nich jest w zupełności wystarczające do określenia rozkładów pozostałych. Jeśli jednak nadarza się sposobność bezpośredniego zmierzenia większej liczby parametrów to sposobność taką należy wykorzystywać. Daje ona możliwość porównania rezultatów badań uzyskanych kilkoma sposobami, co w badaniach eksploatacyjnych nie jest bez znaczenia. W przypadku ograniczonych możliwości pomiarowych zaleca się wybierać te wielkości pomiarowe, które w sensie wektorowym są ortogonalne i nie dają się wyznaczyć jako kombinacja liniowa pozostałych. Dobrym przykładem jest np. nierealny właściwie pomiar rzeczywistej, ustawicznie zmieniającej się siły kopania. Nie dość, że zmienny w czasie jest jej moduł, to na dodatek kąt i miejsce jej przyłożenia do skrawającego ostrza są również zmienne. Dopiero skuteczny pomiar jej wzajemnie prostopadłych składowych uniezależnia nas od tego kąta i znacznie upraszcza to zadanie.

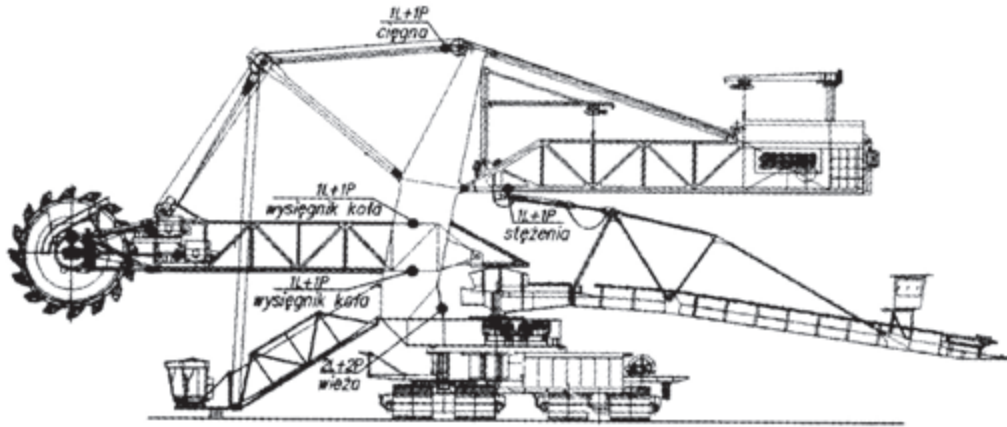


Rys. 1. Przykładowe schematy konfiguracji rozmieszczenia przetworników pomiarowych [2]

Długoterminowe badania obciążeń eksploatacyjnych koparek o charakterze ciągłym wprowadziła w ostatnim czasie firma SKW Zgorzelec, na zaprojektowanej dla KWB Turów koparce KWK 910 [5][6]. Podstawowym zadaniem zastosowanego w tym przypadku systemu ciągłego monitoringu wartości naprężeń dynamicznych jest bieżąca ocena i modyfikacja parametrów siłowych koparki w celu zapewnienia pożądanej trwałości projektowej.

Identyfikacja intensywności eksploatacji ustroju nośnego prowadzona jest w punktach referencyjnych. Punkty referencyjne zostały wybrane w pobliżu węzłów konstrukcyjnych o zasadniczym znaczeniu, w których pęknięcia stanowią zagrożenia dla integralności całej konstrukcji nośnej (rys. 2). Dla koparki z nadwoziem w układzie C te węzły to:

- połączenie wieży z platformą obrotową,
- posadowienie wysięgnika koła czerpakowego na wieży (rejon wysięgnika i wieży),
- konstrukcja wysięgnika koła czerpakowego,
- cięgna przednie łączące maszt z wieżą,
- połączenie wysięgnika przeciwwagi z wieżą.



Rys. 2. Lokalizacja punktów referencyjnych na tle ustroju nośnego koparki KWK 910 [5]

Intensywność eksploatacji koparki mierzona wartościami i rozkładem naprężeń w konstrukcji jest ściśle powiązana z możliwościami siłowymi głównych mechanizmów i parametrami nastaw ich zabezpieczeń. W przypadku koparki KWK 910 główne mechanizmy takie jak mechanizm napędu koła czerpakowego, mechanizm obrotu nadwozia i mechanizm zwodzenia wysięgnika urabiającego zostały wyposażone w czujniki tensometryczne umożliwiające prowadzenie rejestracji wartości obciążeń eksploatacyjnych i ustalenie wartości szczytowej obciążenia w momencie zadziałania zabezpieczenia danego mechanizmu.

Mierzone przez nie wartości naprężeń wprowadzane są do układu sterownika koparki i na ich podstawie wyznaczone jest rzeczywiste obciążenie konstrukcji nośnej. W momencie osiągnięcia naprężeń odpowiadających wartościom przyjętym jako graniczne w obliczeniach trwałościowych, następuje zmniejszenie prędkości działania głównych mechanizmów a tym samym ograniczenie obciążeń konstrukcji nośnej. W ten sposób precyzyjnie określono wartości obciążeń działających na konstrukcję nośną, nie w oparciu o możliwości siłowe mechanizmów, a w oparciu o skutki działania obciążeń w postaci naprężeń.

Efektywność działania opisanego systemu zabezpieczeń została potwierdzona w trakcie eksploatacji koparek w różnych warunkach geologicznych. Naprężenia eksploatacyjne zostały

skutecznie ograniczone do poziomu uwzględnianego na etapie wymiarowania konstrukcji.

### System ciągłego monitoringu stanu wyęczenia ustrojów nośnych

Jak podano we wstępie, dla prawidłowej oceny zjawisk zmęczeniowych wymagany jest ciągły monitoring stanu wyęczenia ustrojów nośnych. Stąd też w Poltegor-Instytut w ostatnich latach opracowano i wdrożono na koparce SchRs 4000 w KWB Bełchatów system ciągłego monitoringu stanu wyęczenia jej ustroju nośnego [7][8]. System ten dokonuje w sposób ciągły oceny stanu wyęczenia badanego ustroju nośnego zarówno w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej jak i wytrzymałości doraźnej z natychmiastowym przekazywaniem wyników do użytkownika. Jako wynik działania, w pierwszym przypadku generowana jest informacja o pozostałym zasobie trwałości zmęczeniowej wyrażonym w godzinach pracy koparki, natomiast w drugim przypadku w razie możliwości przekroczenia wartości naprężeń dopuszczalnych generowany jest sygnał

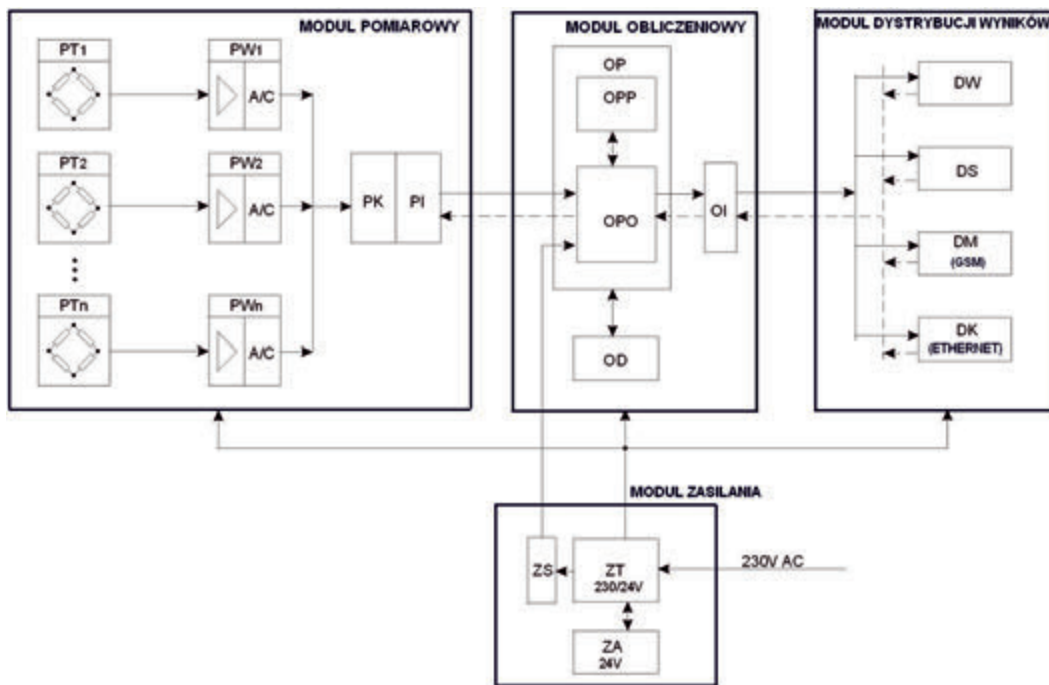
ostrzegawczy. Przewidziano trzystopniową skalę powyższego sygnału w zależności od poziomu występujących naprężeń w stosunku do naprężeń dopuszczalnych.

Schemat takiego systemu przedstawiono na rys. 3. 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.

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.

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





Rys. 3. Schemat systemu ciągłej diagnostyki wyęczenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego

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) napiężeń, wyznaczane są widma amplitud napiężeń i na podstawie uzyskanych widm dokonywana jest ocena trwałości zmęczeniowej. Do zliczania cykli zmęczeniowych oraz tworzenia odnośnych widm napiężeń zastosowano metodę dwuparametrowego zliczania cykli „Rain Flow” [9]. Natomiast oceny trwałości zmęczeniowej dokonano w oparciu o hipotezę kumulacji uszkodzeń Palmgrena - Minera [9]. Zliczane cykle zmienne są gromadzone w tablicy (bazie) widma obciążeń zmiennych.

Dla maszyn już eksploatowanych system monitorowania jest wyposażony w tablicę widma obciążeń pierwotnych. Tablica ta jest opracowywana 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 [8]. Jest to bardzo istotne dla maszyn poddanych długoletniej eksploatacji ponieważ umożliwia w ocenie wytrzymałości zmęczeniowej uwzględnienie dotychczasowej liczby cykli napiężeń 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 wyęczenia 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 230/24V i urządzenia do podtrzymania zasilania w razie przerw w dopływie energii.

Powyższy system jest również przeznaczony do oceny stanu wyęczenia ustroju nośnego w zakresie wytrzymałości doraźnej. Spowodowane jest to specyfiką pracy maszyn górnictwa odkrywkowego, gdzie w praktyce dochodzi nierzadko do przekroczenia wartości napiężeń 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 wyęczenia 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 napięcia zastępcze i porównywane z wartościami napiężeń dopuszczalnych. W przypadku możliwości przekroczenia wartości napiężeń dopuszczalnych z systemu monitorowania wyprowadzany jest sygnał ostrzegawczy.

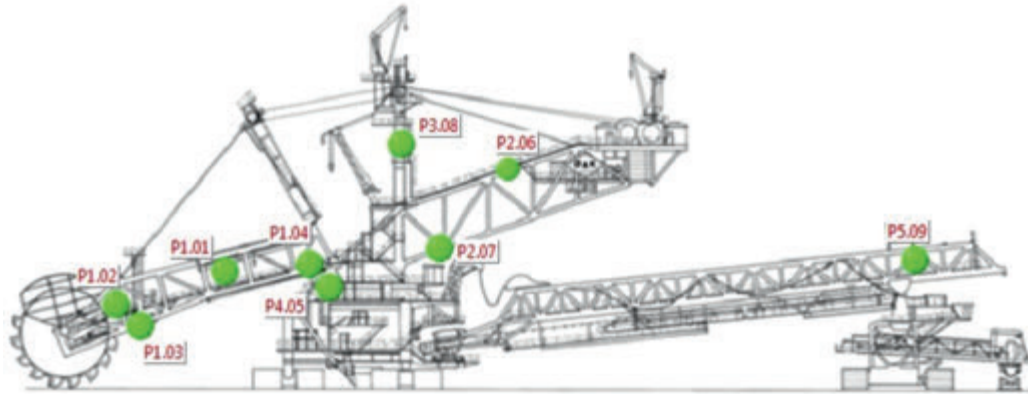
### Badania eksploatacyjne systemu

Jak podano powyżej system został zamontowany na ustroju nośnym koparki SchRs 4000. Przy doborze rozmieszczenia punktów pomiarowych na badanym ustroju nośnym posłużono się specjalnie w tym celu opracowaną metodą [10]. Metoda ta oparta jest na analizie obliczeń wytrzymałościowych i wynikach pomiarów napiężeń badanego ustroju nośnego. Umożliwia ona właściwy dobór i jednocześnie znaczne ograniczenie ilości punktów pomiarowych przy zachowaniu możliwości oceny wyęczenia całego ustroju nośnego.

Na rysunku 4 przedstawiono schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych badanego ustroju nośnego. W sumie zainstalowano 31 tensometrycznych czujników pomiarowych z czego 23 na ustroju nośnym koparki i 8 na moście podawarki [11]. Na rysunkach 5, 6, 7 podano przykłady rozmieszczenia powyższych punktów.

W wyniku działania systemu użytkownik koparki otrzymuje następujące informacje:

- Czas resztkowy (pozostały zasób trwałości zmęczeniowej). Obliczany na podstawie całkowitej liczby cykli  $N_c$



Rys. 4. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na ustroju nośnym koparki SchRs 4000



Rys. 5. Przykład rozmieszczenia tensometrycznych punktów pomiarowych



Rys. 7. Przykład rozmieszczenia tensometrycznych punktów pomiarowych



Rys. 6. Przykład rozmieszczenia tensometrycznych punktów pomiarowych

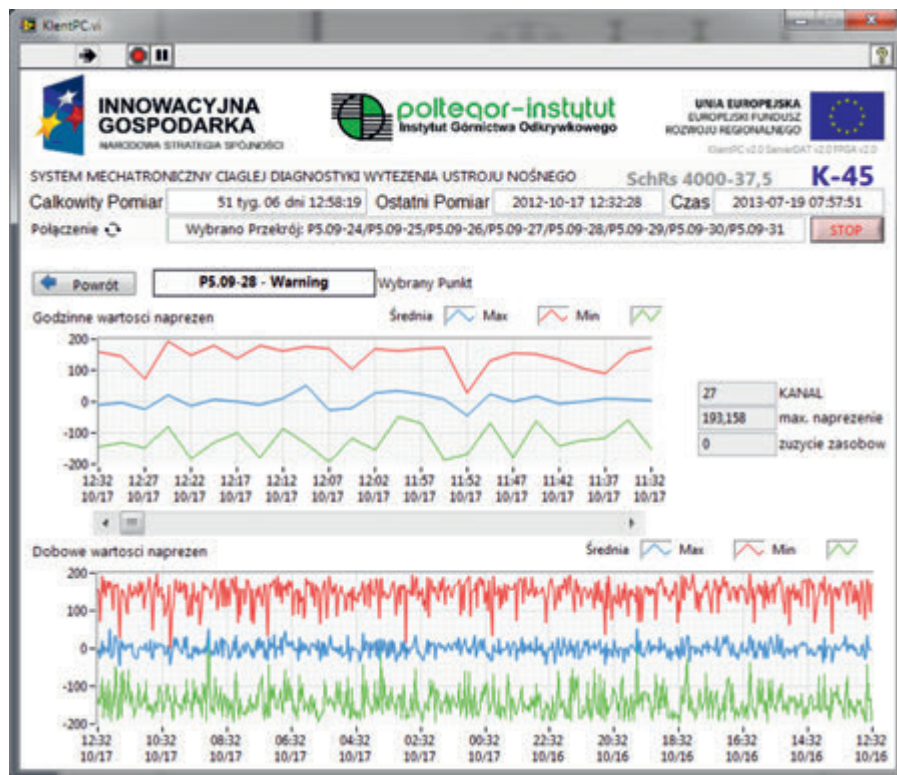
w poszczególnych punktach pomiarowych w odniesieniu do liczby cykli zarejestrowanych  $N$ .

- Maksymalne naprężenie zarejestrowane w tablicy widma naprężeń z całego okresu monitorowania.
- 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 1 h przez okres 24h, 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.

Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rysunku 8. Przedstawia on przebieg zmian wartości naprężeń w punkcie pomiarowym P5.09.28 (most podający) z przebiegów dziennych i wielodobowych. Kolorem niebieskim oznaczono wartości średnie, kolorem czerwonym wartości maksymalne a kolorem zielonym wartości minimalne. Z analizy powyższych przebiegów w okresie 8 miesięcy użytkowania systemu na koparce stwierdzono, że maksymalne wartości naprężeń dynamicznych osiągnęły poziom ok. 130 MPa, co oznacza, że znajdowały się one znacznie poniżej granicy wytrzymałości zmęczeniowej, która dla stali S355JO, z której jest zbudowany ustrój nośny wynosi  $Z_G = 204$  MPa. Z pozostałych zespołów koparki poddanych badaniom największe zarejestrowane



Rys. 8. Przykładowe przebiegi zarejestrowanych wartości przyrostów naprężeń dynamicznych na moście podawarki

wartości naprężeń występowały na wysięgniku koła czerpakowego i wynosiły ok. 175 MPa, czyli również poniżej granicy wytrzymałości zmęczeniowej  $Z_G$ . Wobec powyższego można stwierdzić, że podczas prowadzonego przez 8 miesięcy pracy koparki ciągłego monitoringu jej głównych zespołów nie doszło do przekroczenia warunku wytrzymałości zmęczeniowej.

### Podsumowanie

Ustroje nośne koparek wielonaczyniowych górnictwa odkrywkowego ze względu na specyfikę budowy i użytkowania tych maszyn podlegają przyspieszonej degradacji, głównie ze względu na zachodzące w ich elementach procesy zmęczeniowe. Ponieważ na etapie projektowania nie można uwzględnić rzeczywistych wartości obciążeń dynamicznych oddziaływujących na powyższe ustroje, stąd jedynym sposobem zapobieżenia tej sytuacji jest objęcie tych ustrojów długoterminowymi badaniami obciążeń eksploatacyjnych.

Badania tego typu realizowane są w kraju głównie przez Politechnikę Wrocławską, Poltegor-Instytut i firmę SKW

Zgorzelec. Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń powinny one mieć charakter ciągły, najlepiej z bieżącą analizą i oceną wyników. Stąd też w ostatnich latach w Poltegor-Instytut opracowano system ciągłego monitoringu stanu wyężenia ustrojów nośnych. System ten wdrożono na koparce SchRs 4000 eksploatowanej w KWB Bełchatów. Najogólniej mówiąc system ten na podstawie ciągłych pomiarów wartości naprężeń dynamicznych dokonuje na bieżąco oceny stanu wyężenia badanego ustroju nośnego z natychmiastowym przekazywaniem wyników do użytkownika koparki. Umożliwia to w praktyce podejmowanie stosunkowo szybkich działań zapobiegawczych ewentualnym awariom ustrojów nośnych, zarówno w obszarze wytrzymałości zmęczeniowej jak i wytrzymałości doraźnej. System ten został zamontowany na głównych zespołach koparki SchRs 4000 a następnie poddany badaniami eksploatacyjnym. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że system działa prawidłowo oraz że podczas 8 miesięcy jego użytkowania na koparce nie doszło do przekroczenia warunku wytrzymałości zmęczeniowej.

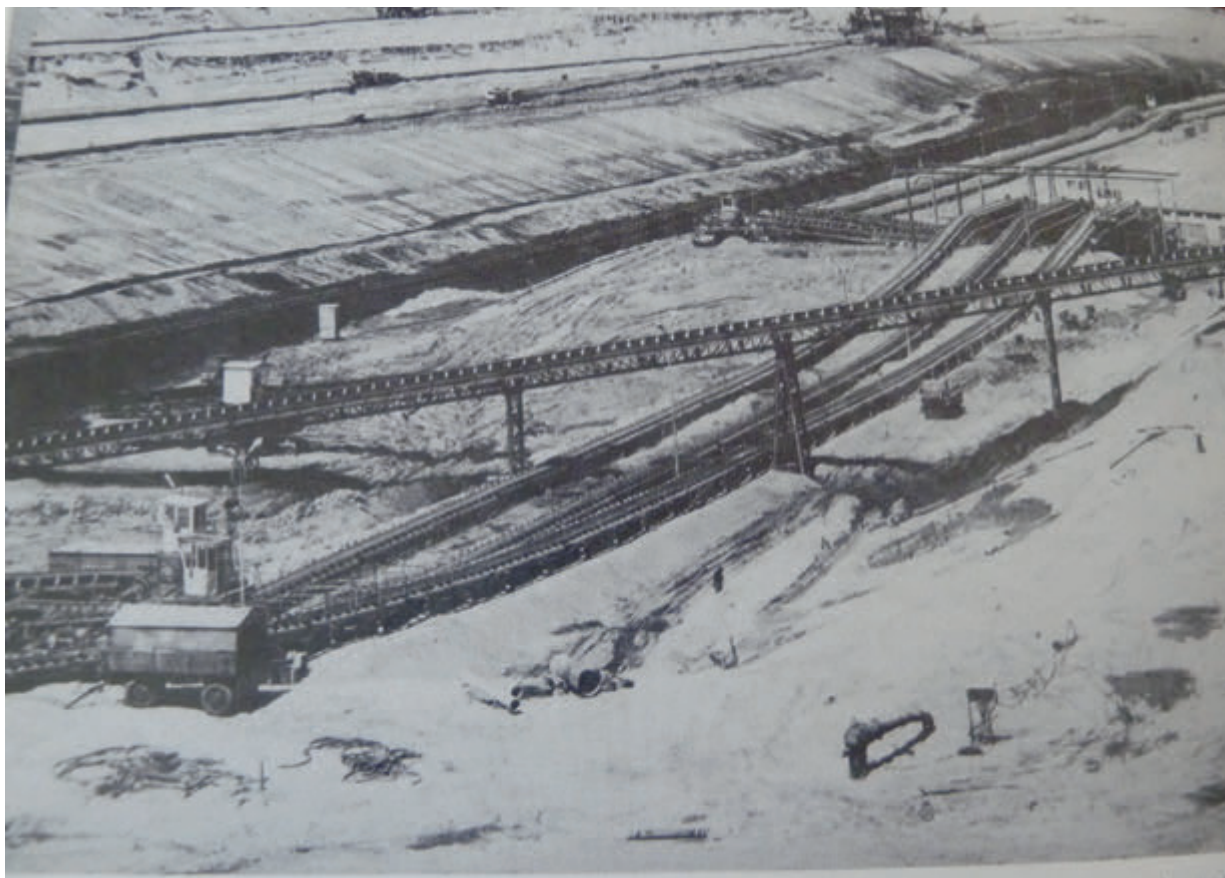
*Artykuł zrealizowano w ramach projektu pt. Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego, nr umowy UDA-POIG.01.03.01-00-043/08-00, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka 2007-2013. Projekt 1, Działanie 1.3. Poddziałanie 1.3.1.*



## Literatura

- [1] Babiarcz S., Dudek D., *Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym*. Wyd. PWr 2007
- [2] Dudek D., *Elementy dynamiki maszyn górnictwa odkrywkowego*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2007
- [3] Dudek D., *Modele statystyczne obciążeń eksploatacyjnych w procesie urabiania wielonaczyniowymi koparkami kołowymi*. IKEM PWr. Prace Naukowe 53. Seria Monografie 12. Wrocław 1987
- [4] Augustynowicz J., Dudek D., Dudek K., Figiel A., *Strategia utrzymania w ruchu długotrwanie eksploatowanych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego*. Górnictwi i Geoinżynieria Rok 35. Zeszyt 3/1. AGH Kraków 2011
- [5] Kowalczyk M., *Sterowanie intensywnością obciążeń eksploatacyjnych konstrukcji nośnej*
- [6] Kowalczyk M., Sobczykiewicz W., *Problemy realizacji projektu eksploatacyjnego – PEX konstrukcji nośnej maszyn górnictwa odkrywkowego w zakresie trwałości zmęczeniowej*. Górnictwo Odkrywkowe nr 3-4, 2011, str. 71-79
- [7] Alenowicz J., Onichimiuk M., Wygoda M., *Ocena zasobu trwałości zmęczeniowej ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego*. Górnictwo i Geoinżynieria. Rok 35. Zeszyt 3/1. AGH Kraków 2011, str. 43-53.
- [8] Alenowicz J., Onichimiuk M., Wygoda M., *Mechatroniczny system ciągłej diagnostyki wyężenia ustroju nośnego maszyn górnictwa odkrywkowego*. Wyd. Górnictwo Odkrywkowe nr 6/2010
- [9] Kocańda St., Szala J., *Podstawy obliczeń zmęczeniowych*. PWN Warszawa 1991. Górnictwo Odkrywkowe nr 6, 2009
- [10] Wygoda M., *Wtyczne doboru punktów pomiarowych monitoringu wyężenia ustroju nośnego maszyn podstawowych*. Opracowanie IGO Poltegor nr arch. 6298/IGO, Wrocław 2011, praca nie publikowana
- [11] Alenowicz J., *Weryfikacja doświadczalna systemu ciągłej diagnostyki wyężenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego*. Górnictwo Odkrywkowe nr 3-4, 2012. str. 19-24

*Z cyklu: Sentymtalne wędrówki po meandrach polskiej myśli techniki górniczej*



Kopalnia Adamów w pierwszych latach eksploatacji złoża

Reprint Renata S-K