

MONITORING WIELONACZYNIOWEJ KOPARKI KOŁOWEJ ORAZ JEJ FRONTU ROBOCZEGO

MONITORING OF A BUCKET WHEEL EXCAVATOR AND ITS WORKING FRONT

Adam Bajcar, Marek Onichimiuk - „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W „Poltegor-Institut” Instytucie Górnictwa Odkrywkowego od wielu lat prowadzone są prace nad monitoringiem wystruktur nośnych wielonaczyniowych koparek kołowych. Prowadzony w latach 2015-2018 projekt BEWEXMIN również przyczynił się do zwiększenia możliwości systemów monitorujących. Niniejszy artykuł przedstawia dotychczasowe osiągnięcia „Poltegor-Institut” w tej dziedzinie jak i koncepcję systemu rozpoznawania utworów na froncie roboczym wielonaczyniowej koparki kołowej.

Słowa kluczowe: wielonaczyniowe koparki kołowe, monitoring, ustrój nośny, wtrącenia nieurabialne

At the „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, work has been carried out for many years on the strength monitoring of load-bearing structures of bucket wheel excavators. The BEWEXMIN project carried out in 2015-2018 also contributed to increasing the capabilities of monitoring systems. This article presents the current achievements of the „Poltegor-Institut” in this field as well as the concept of recognition system on the working front of a bucket wheel excavator.

Keywords: Bucket wheel excavators, monitoring, superstructure, unmineable intrusions

Wprowadzenie

Międzynarodowy projekt badawczy BEWEXMIN „Bucket wheel excavators operating under difficult mining conditions including unmineable inclusions and geological structures with excessive mining resistance” (Praca koparek kołowych w warunkach występowania w urabianym ośrodku utworów o nadmiernych oporach urabiania jak i wtrąceń nieurabialnych) był realizowany przez międzynarodowe konsorcjum w latach 2015 - 2018 w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali ze współfinansowaniem ze strony Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Liderem projektu był „Poltegor-Institut”. Partnerami przemysłowymi wchodzącymi w skład konsorcjum byli najwięksi producenci energii z węgla brunatnego w Polsce, Rumunii oraz Grecji czyli PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna Spółka Akcyjna, Oltenia Energy Complex oraz Public Power Corporation. Partnerami naukowymi konsorcjum, obok wymienionego wcześniej „Poltegoru-Institut” byli VUHU Výzkumný ústav pro hnědé uhli z Czech, Technical University of Crete, National Technical University of Athens, Uniwersytet Petrosani oraz Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Projekt ten był projektem interdyscyplinarnym, łączącym w sobie zagadnienia z dziedziny mechaniki, automatyki, technologii górniczej jak również geologii i geofizyki [1][2].

Projekt BEWEXMIN podzielony był na trzy pakiety robocze, powiązane ze sobą i tworzące kompletny zespół działań dążących do tego samego celu, jakim jest zmniejszenie awa-

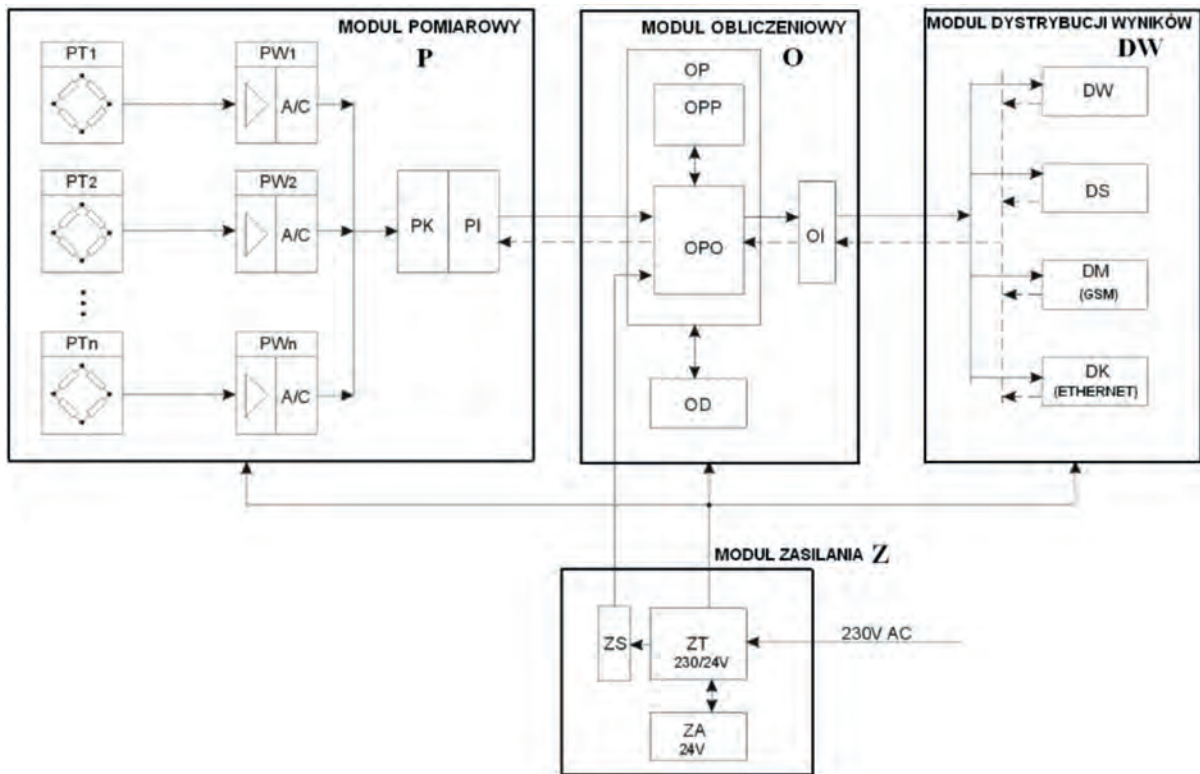
ryjności koparek kołowych w trudnych warunkach urabiania. W kolejności były to:

- WP1 Optymalne dostosowanie wielonaczyniowych koparek już eksploatowanych i nowo budowanych do urabiania nadkładu z przerostami o nadmiernych oporach urabiania oraz wtrąceniami nieurabialnymi.
- WP2 Monitorowanie wyężenia ustroju nośnego wielonaczyniowej koparki kołowej i metoda analizowania sygnałów diagnostycznych dla bieżącej oceny zagrożenia uszkodzeniem ustroju nośnego i ciągłej kontroli wytrzymałości zmęczeniowej ustroju.
- WP3 Działający w czasie rzeczywistym system kontroli opierający się o metody geofizyczne umożliwiające wykrywanie wtrąceń skalnych nie nadających się do wydobywania przez koparkę kołową.

Monitoring wielonaczyniowej koparki kołowej

Monitorowanie wyężenia ustroju nośnego wielonaczyniowej koparki kołowej i metoda analizowania sygnałów diagnostycznych dla bieżącej oceny zagrożenia uszkodzeniem ustroju nośnego i ciągłej kontroli wytrzymałości zmęczeniowej ustroju.

W ramach projektu BEWEXMIN prowadzono prace polegające na wykonaniu serii badań doświadczalnych na koparce, opracowanego w projekcie systemu ciągłego monitoringu stanu wyężenia ustroju nośnego (Rys. 1). Prace te miały przede



Rys. 1. Schemat systemu ciągłej diagnostyki wyężenia ustrojów nośnych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego
 Fig. 1. Diagram of a system of continuous diagnostics of the load-carrying capacity of the load-bearing structures of basic opencast mining machines

wszystkim na celu sprawdzenie poprawności działania systemu w różnych warunkach urabiania, wprowadzenie na tej podstawie ewentualnych zmian i uzupełnień, a w efekcie końcowym opracowanie jego wersji docelowej. Przed rozpoczęciem badań dokonano korekty rozmieszczenia niektórych punktów pomiarowych, w których wskazano obszary potencjalnie zagrożone możliwością wystąpienia uszkodzeń zmęczeniowych. Badaniami objęto główne zespoły ustroju nośnego nadwozia koparki, tj. zespoły: wysięgnika urabiającego, wysięgnika przeciwwagi, masztu, podparcia nadwozia i mostu podającego (Rys. 2).

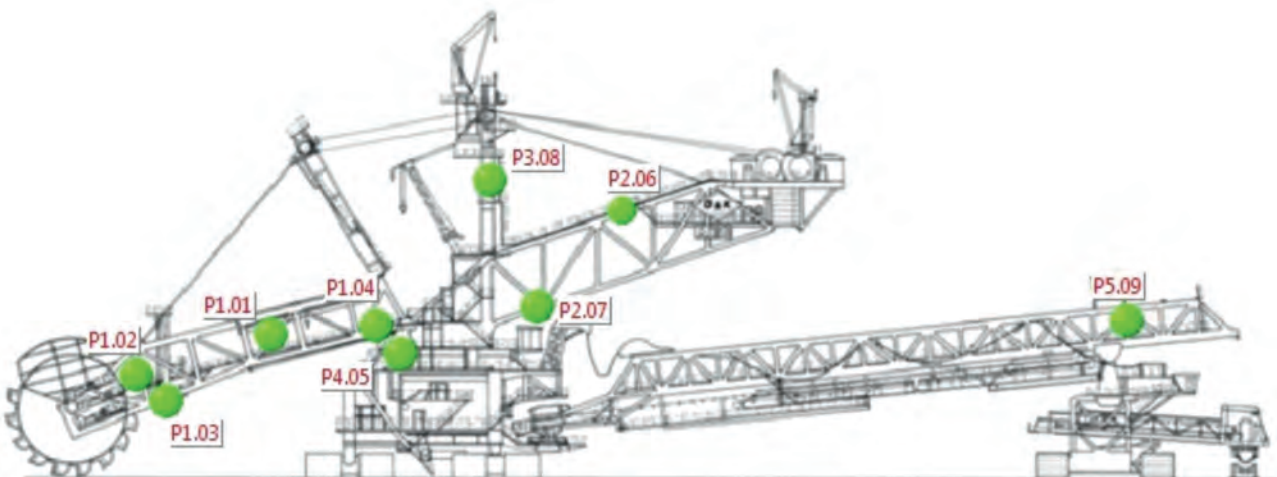
Badania obejmowały ciągłe pomiary wartości przyrostów naprężeń dynamicznych zarejestrowanych podczas pracy koparki (Rys. 3).

Wyniki badań naprężeń zaprezentowano w formie wykre-

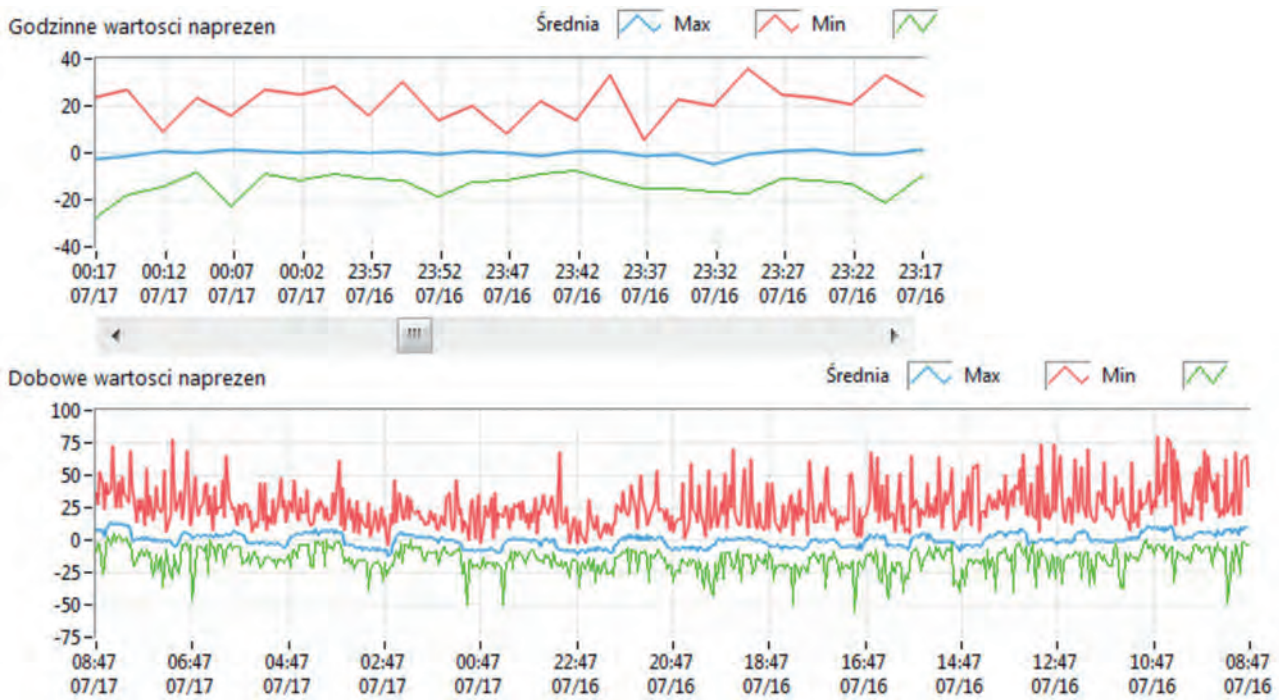
sów przedstawiających wartości amplitud naprężeń maksymalnych i liczności ich występowania (Rys. 4).

Przed wykonaniem badań naprężeń dynamicznych, dokonano pomiaru wartości naprężeń statycznych od obciążeń własnych. Do pomiarów zastosowano znaną metodę wierconego otworu. Maksymalne wartości naprężeń statycznych wynosiły w granicach 170-190 MPa. W wyniku badań stwierdzono, że maksymalne amplitudy naprężeń wystąpiły na wysięgniku koła czerpakowego i wysięgniku przeciwwagi, a ich wartości dochodziły do 190 MPa. Wartość ta jest niższa od granicy zmęczenia Z_G dla stali S355JO, która wynosi 240 MPa, a zatem urządzenie nośne koparki pracuje w obszarze nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej.

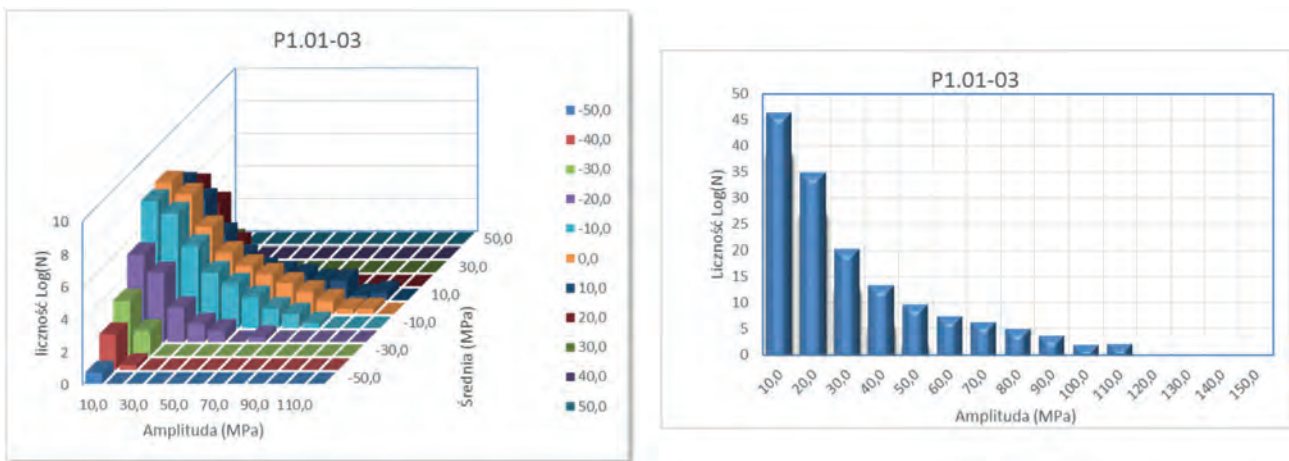
Ze względu na stosunkowo wysoki poziom wartości na-



Rys. 2. Wytypowane przekroje w podstawowych zespołach ustroju niośnego koparki SchRs4000 do instalacji układów pomiarowych
 Fig. 2. Selected cross-sections in SchRs 4000 excavator superstructure for the installation of measuring systems



Rys. 3. Przykładowe przebiegi zarejestrowanych przyrostów naprężeń dynamicznych na wsięgniku koła czerpakowego – punkt pomiarowy P1.01-3
 Fig. 3. Exemplary waveforms of recorded increases in dynamic stresses on the bucket wheel boom - measuring point P1.01-3



Rys. 4. Rozkład amplitud maksymalnych oraz licznosc ich występowania – wsięgnik koła czerpakowego, prawy dolny dźwigar
 Fig. 4. Distribution of maximum amplitudes and their frequency of occurrence - bucket wheel boom, right bottom girder

prężen statycznych, może w niektórych obszarach wsięgnika koła czerpakowego i przeciwwagi dojść do przekroczenia granicy plastyczności R_e , która dla stali S355JO wynosi 360 MPa. Może to w praktyce spowodować uszkodzenie warstwy powierzchniowej elementu ustroju nośnego, a zatem stworzyć warunki do powstania ognisk zmęczeniowych i ich dalszego rozwoju. Wówczas pęknięcia zmęczeniowe mogą powstać i rozwijać się znacznie poniżej granicy zmęczenia Z_G . Tłumaczy to powstanie pęknięć zmęczeniowych niektórych elementów ustroju nośnego koparki SchRs4000, pomimo znajdowania się w obszarze wytrzymałości zmęczeniowej nieograniczonej. Stąd też ustawiono wartości poziomów systemu: ostrzegawczego na 170 MPa i alarmowego na 240 MPa, tak aby można było zapobiec ewentualnemu powstaniu i rozwojowi pęknięć zmęczeniowych. Zarówno w jednym jak i drugim przypadku należy objąć wskazane elementy ustroju nośnego szczególnym nadzorem i kontrolą jako potencjalne ogniska zmęczenia.

W wyniku badań doświadczalnych systemu na koparce, został on rozbudowany o następujące komponenty: moduł pobierania sygnałów o stanie obciążenia głównych zespołów roboczych maszyny, moduł rejestracji ponadnormatywnych wartości naprężeń głównych zespołów roboczych maszyny.

Powyższe moduły umożliwiły wzrost efektywności działania systemu wyrażający się między innymi zwiększeniem zakresu pomiarowego oraz zwiększeniem możliwości gromadzenia danych pomiarowych, zwłaszcza dotyczących wystąpienia ponadnormatywnych wartości naprężeń.

Na podstawie badań na koparce stwierdzono, że system w opracowanej formie działa prawidłowo i spełnia swoje podstawowe zadanie jakim jest odpowiednio wczesne ostrzeżenie użytkownika przed możliwością wystąpienia awarii typu zmęczeniowego, oraz awarii na skutek przekroczenia dopuszczalnych wartości naprężeń doraźnych. System użytkowany jest nadal na koparce SchRs4000 w KWB Belchatów.

Kopalnia planuje w najbliższym czasie zabudowę systemu na kolejnej koparce kołowej eksploatowanej w utworach trudno urabialnych.

Wykrywanie struktur nieurabialnych oraz gruntów trudno urabialnych na froncie wielonaczyniowej koparki kołowej

System ten ma na celu ostrzeżenie operatora koparki o występowaniu wyżej wymienionych struktur w pobliżu koła czerpakowego koparki, co z kolei spowoduje znaczne zmniejszenie wystąpienia ponadnormatywnych obciążeń dynamicznych, a tym samym znacząco zmniejszy awaryjność koparek. W efekcie końcowym spowoduje to obniżkę stosunkowo wysokich kosztów związanych z eksploatacją koparek w gruntach trudno urabialnych oraz w rejonach występowania struktur nieurabialnych.

Na podstawie danych zebranych od partnerów przemysłowych projektowany system spełnia następujące założenia:

- jest odpornym na trudne warunki górnicze, skrajne wahania temperatury w zakresie od -30 do 45°C , wilgotność, pyły, drgania maszyn, i interferencje elektromagnetyczne,
- umożliwia transmisję, zarządzanie oraz przetwarzanie dużej ilości danych z sensorów,
- umożliwia dokładne pozycjonowanie maszyny w kopalni w celu zminimalizowania marginesu błędu,
- łączy wyniki różnych pomiarów w proste, zrozumiałe komunikaty wizualne i dźwiękowe.

W projekcie BEWEXMIN zaproponowano główne założenia systemu wykrywania struktur nieurabialnych oraz gruntów trudno urabialnych, który polega na tworzeniu w czasie rzeczywistym modelu zabierki w niewielkiej odległości od koła

czerpakowego. Założono, że rozpoznanie to powinno sięgać około 2,5 m w głąb skarpy roboczej.

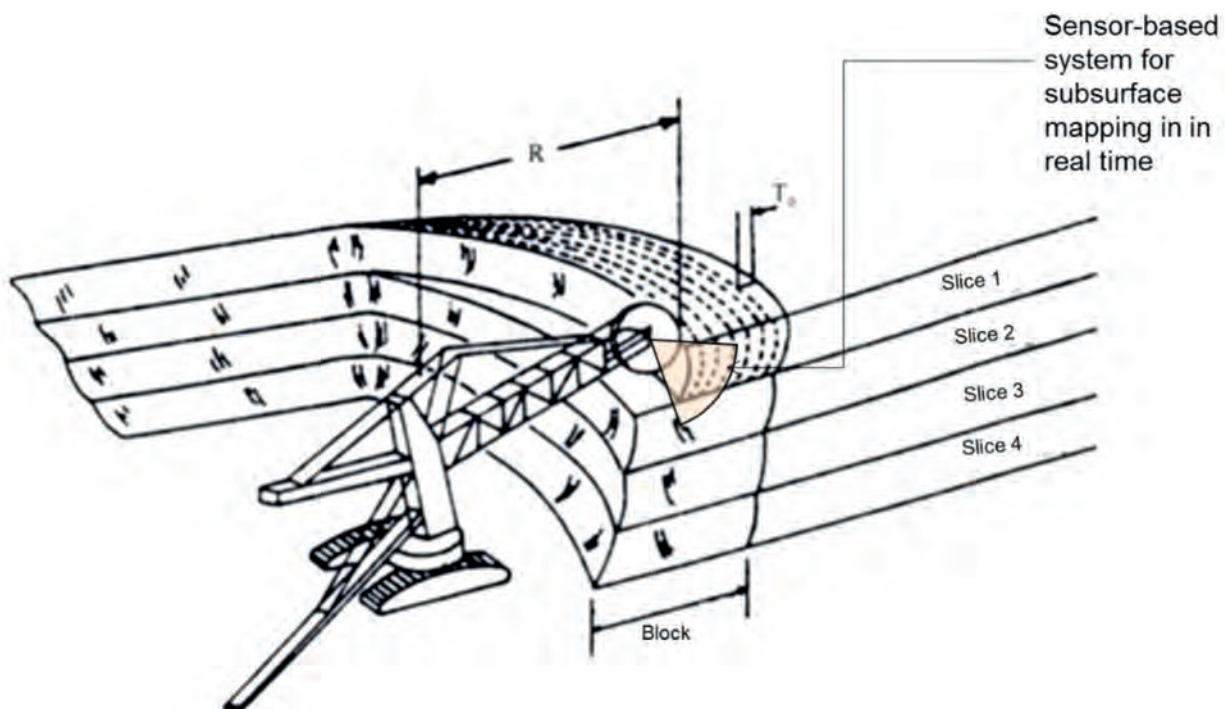
W czasie trwania projektu BEWEXMIN dla systemu rozpoznania frontu roboczego osiągnięto V poziom gotowości technologicznej. Określono również wymagania dotyczące systemu montażu urządzenia wykrywającego na automatycznym wysięgniku, który musi charakteryzować się następującymi cechami:

- możliwość dostosowania obszaru rozpoznania do technologii pracy koparki (praca podpoziomowa, nadpoziomowa, różne parametry urabianych pasm) poprzez zmianę kąta umiejscowienia czujnika,
- możliwość zachowania stałej odległości czujnika od urabianej skarpy,
- posiadać jak najmniejszy wpływ elektromagnetyczny na czujnik,
- umożliwić zachowanie dystansu co najmniej 4 metrów pomiędzy czujnikiem, a metalową konstrukcją koparki,

Wnioski

Pracujące w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego koparki, niejednokrotnie także te nowo projektowane, nie są w pełni dostosowane do takich warunków pracy, czego wynikiem są częste awarie powodujące wyłączenie maszyny z normalnej eksploatacji. Celem projektu było opracowanie rozwiązań zmniejszających awaryjność koparek kołowych pracujących w tych warunkach. Drogą do uzyskania tego celu jest zmniejszenie wrażliwości koparki, głównie na obciążenia impulsowe, jak i podjęcie działań zmierzających do zmniejszenia wielkości obciążeń dynamicznych.

Projekt BEWEXMIN obejmował trzy pakiety. Zadaniem stawianym pierwszemu (WP1) było doświadczalne określenie



Rys. 5. Schemat systemu rozpoznania zabierki [4]
Fig. 5. Scheme of working front recognition system [4]

sposobu wyznaczania siły od obciążeń impulsowych wraz z określeniem wymagań jakie powinna spełniać koparka, aby mogła bezawaryjnie pracować w konkretnych warunkach. W ramach drugiego pakietu (WP2) został opracowany sposób tworzenia systemu monitorowania naprężeń w ustroju nośnym koparki prowadzący do ciągłej oceny stopnia jego wyczerpania oraz sygnalizacji ostrzegania przed możliwością wystąpienia uszkodzeń. Celem działań ujętych w pakiecie trzecim (WP3) było dążenie do likwidacji lub zmniejszenia wielkości obciążeń impulsowych powodowanych natrafieniem na nieurabialną przeszkodę (kamień), poprzez wcześniejsze ich wykrywanie w skarpie i odpowiednie sterowanie pracą koparki.

Wszystkie trzy pakiety są ze sobą powiązane i tworzą kompletny zespół działań dążących do tego samego celu, jakim

jest zmniejszenie awaryjności koparek kołowych w trudnych warunkach urabiania.

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2015-2018 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego.

This research project has received funding from the European Commission - Research Fund for Coal and Steel under grant agreement No RFCR-CT-2015-00003. The presented results reflect only the authors' view and the European Commission is not liable for any use that may be made of the information contained therein.

Literatura

- [1] Galetakis, M., T. Michalakopoulos, A. Bajcar, C. Roumpos, M. Lazar, and P. Svoboda. "Project BEWEXMIN: Bucket wheel excavators operating under difficult mining conditions including unmineable inclusions and geological structures with excessive mining resistance." 13th International Symposium Continuous Surface Mining. Belgrade, 2016
- [2] Bajcar, A. „Ku mniejszej awaryjności”. Rynek Inwestycji, nr 15-16/2017-18
- [3] Bajcar, A., Onichimiuk, M., Wygoda, M. „Methods of decreasing of bucket wheel excavators failures working in soils including unmineable intrusions”. Górnictwo Odkrywkowe nr 6, Wrocław 2017
- [4] Galetakis, M. et al. "Automatic detection of unmineable inclusions while bucket wheel excavator digging, using electromagnetic (EM) sensor and GPS", Górnictwo Odkrywkowe nr 4, 2018

