

# MONITOROWANIE I REJESTRACJA PARAMETRÓW PRACY MASZYN – NOWOCZESNE NARZĘDZIA WSPOMAGAJĄCE ZARZĄDZANIE I OPTYMALIZACJĘ WYDOBYCIA

## MONITORING AND RECORDING OF MACHINES OPERATING PARAMETERS - MODERN TOOLS TO SUPPORT AND OPTIMIZE MINING MANAGEMENT

Anna Nowak-Szpak, Krzysztof Poterała, Marek Onichimiuk, Marian Wygoda - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

*W artykule przedstawiono wyniki prac nad modulem ładowarka zrealizowanych w ramach projektu rozwojowego pt.: „Zintegrowany system sterowania technologią wydobywania surowców skalnych” finansowany ze środków NCBiR. Projekt zrealizowany był w latach 2011-2014, a jego głównym celem było opracowanie i przetestowanie na obiektach rzeczywistych systemów automatyzacji procesu wydobywania surowców skalnych metodą ładową oraz spod lustra wody w wyrobiskach odkrywkowych, a także wprowadzenie nowoczesnego systemu organizacji i zarządzania wydobywaniem w tych kopalniach.*

**Słowa kluczowe:** system sterowania, górnictwo skalne, monitoring, ładowarka

*The paper describes a module for a loader, which was created within the project entitled „The integrated control system for open cast mining technology”. The project was financed by NCBiR and implemented in 2011 - 2014. The main objective of the project was to develop and test the system for open pit mining in real conditions, including surface and underwater mining methods. A modern tool to support and optimize mining management was also developed.*

**Keywords:** control system, rock mining, monitoring, loader

### Wprowadzenie

Zautomatyzowany system identyfikacyjno-monitorujący opracowany w ramach projektu rozwojowego pt.: „Zintegrowany system sterowania technologią wydobywania surowców skalnych” pozwala na inteligentne sterowanie procesem wydobywania i dostosowywanie technologii do zmiennych warunków geologiczno-górnictwowych. Założonym efektem praktycznym jego stosowania w przedsiębiorstwach górniczych jest poprawa racjonalnego gospodarowania zasobami i wykorzystania kopaliny oraz dostosowanie produktów, do jakości zgodnej z oczekiwaniami odbiorców.

Finansowany ze środków NCBiR projekt realizowany był przez konsorcjum naukowe, którego liderem był „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego we Wrocławiu, a udziałowcami PROTEGO Zakład Projektowo – Badawczy Produkcyjny i Handlowy oraz Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

Dla unowocześnienia organizacji i zarządzania System posiada możliwości automatycznego przetwarzania oraz przesyłania danych w czasie rzeczywistym. Na elementy tworzące System składają się zainstalowane na maszynach podstawowych kopalni oraz w dyspozytorni moduły identyfikujące i

rejestrujące pracę maszyn. Wyniki identyfikacji stanów pracy i pomiarów wykonywane są na bieżąco i przesyłane są pomiędzy poszczególnymi elementami układu pomiarowego. Gromadzone są również w bazach geologiczno-górnictwowych, dzięki czemu możliwe jest uzyskiwanie bieżącej informacji o ilości i jakości wydobywanej kopaliny.

Na podstawie założeń określonych w projekcie firma PROTEGO opracowała moduły programowe Górnictwowego Systemu Nawigacyjno-Kontrolnego (GSN) jako Zintegrowanego systemu sterowania technologią odkrywkową wydobywania surowców skalnych, w tym m.in:

- procedury sterowania procesem wydobywania kopaliny koparką pływającą oraz procedury sterowania procesem odstawy urobku pchaczem (transport barkami), [1], [2]
- procedury sterowania procesem wydobywania kopaliny koparką ładową. [3], [4]

„Poltegor – Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego opracował moduły dotyczące ładowarki łyżkowej, koparki jednoznaczyniowej podsiębiernej i wozidła zdolne do autonomicznej pracy lub do integracji z systemem GSN [5], [6] Moduł „Wozidło” został przygotowany pod kątem transportu ładowego, tj. dla samochodów technologicznych pracujących w kopalniach odkrywkowych wykorzystywanych do transportu

kopaliny/nadkładu itp. Możliwe jest jednak jego modułowe zastosowanie na dowolnych innych maszynach pracujących w warunkach przemysłowych. Szczegółowe informacje o budowie oraz wynikach stosowania tego modułu dostępne są w publikacji pt.: „Moduł: Wozidło w zintegrowanym systemie sterowania technologią wydobywania surowców skalnych” [7].

### Matematyczne modele obliczeniowe

Podstawową częścią zbudowanego Systemu jest lokalizacja organu urabiającego, a właściwie miejsca kontaktu organu urabiającego ze złożem. W zależności od rodzaju maszyny i technologii jej pracy opracowano różne sposoby oczyunikowania, dzięki czemu możliwa jest wariantowa ich konfiguracja, dostosowana do typu i skali prowadzonej działalności górniczej.

Dla spełnienia założeń wielomodułowości, w rozwiązaniach obiektów ruchomych zastosowano układ składający się z urządzenia pokładowego z możliwością przesyłania danych do komputera bazowego. Każdy z modułów testowych został wykonany w oparciu o inne rozwiązania sprzętowe kontrolera - w module Wozidło i Pchacz zastosowano wyświetlacz dotykowy z kartami modbusowymi, natomiast w modułach Ładowarka i Koparka droższy wielofunkcyjny kontroler. W obu rozwiązaniach, wejścia pomiarowe umożliwiały podłączenie wielu urządzeń wejściowych, zarówno dla sygnałów analogowych napięciowych lub prądowych, jak i sygnałów cyfrowych.

Zapewnienie kompatybilności i współpracy różnych rodzajów rozwiązań platform sprzętowych, osiągnięto dzięki przekazywaniu danych za pośrednictwem plików wymiany danych. Takie podejście umożliwia łatwe włączenie modułów dodatkowych do systemu bazowego, jednocześnie zapewnia ich swobodne konfigurowanie oraz użycie, jako niezależnych systemów.

Dla każdego z ruchomych typów maszyn opracowano procedurę i obliczeniowy model technologiczny. Istotne obliczeniowo parametry poszczególnych elementów maszyny, wprowadzane są w postaci numerycznej do odpowiadających im modułów systemu. Przyjęta metoda ujednoliciła obliczeniowo określenie położenia organu urabiającego bez względu na rodzaj i ilość maszyn. Określenie współrzędnych opisujących aktualny stan skarpy w wyrobisku wyznaczono na podstawie dokładnego położenia naczynia roboczego (łyżki, czerpaków) względem urabianej skarpy.

Aby określić to położenie w przyjętym układzie współrzędnych konieczne było zbudowanie modeli matematycznych

poszczególnych zależności geometrycznych określających przestrzenną pozycję poszczególnych mechanizmów tych maszyn. Do tego celu przyjęto mechaniczny punkt widzenia, w którym koparka (jednonaczyniowa jak i wielonaczyniowa) oraz ładowarka były rozpatrywane jako zespoły mechanizmów tworzące łańcuch kinematyczny. Zdefiniowano parametry głównych grup mechanizmów oraz macierze transformacji. Dla eksploatacji ładowej opracowano modele obliczeniowe dla następujących maszyn wydobywczych:

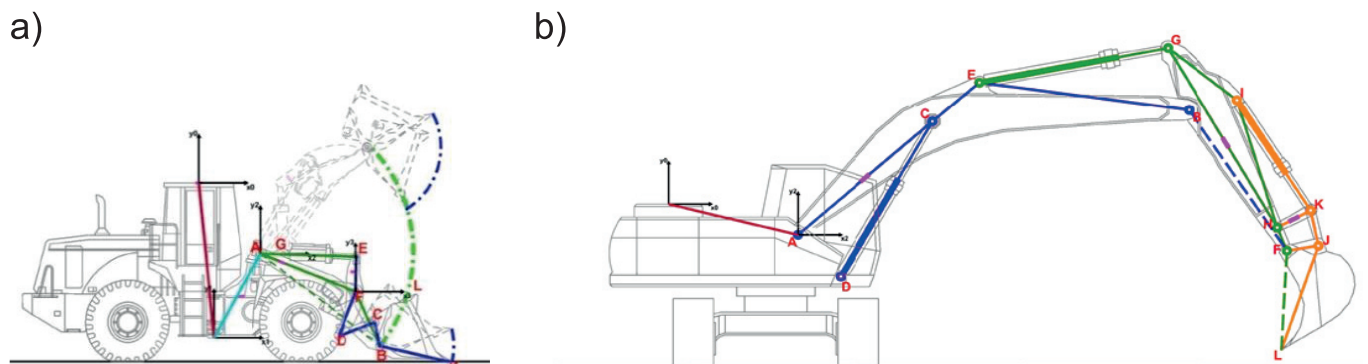
- ładowarka łyżkowa,
- koparka jednonaczyniowa podsiębierna,
- koparka wielonaczyniowa kołowa.

W wyposażeniu pomiarowym każdej z maszyn podstawowych wydobywania zastosowano dwa odbiorniki GPS. W pracy rozważano również możliwości zastosowania alternatywnych, tańszych metod wyznaczania położenia maszyny tj. zastosowanie kompasu elektronicznego czy orientowanie osi względem kierunku jazdy, jednak rozpoznanie wykazało, że ww. metody nie pozwalają na osiągnięcie wystarczająco precyzyjne określenie aktualnego położenia maszyny, co nie spełniało założonego celu. Zgodnie z informacjami przekazanymi przez użytkowników, zastosowanie kompasów elektronicznych w pobliżu urządzeń mechanicznych powoduje rażące błędy w odczycie, natomiast metoda polegająca na wyznaczaniu kierunków jazdy względem zaobserwowanych ostatnich odczytów GPS (stosowana np. w nawigacjach samochodowych) mogłaby wprowadzić błędne zorientowanie układu szczególnie podczas cofania maszyn. Dobór pozostałych urządzeń (inklinometrów, pochyłomierzy, kątomierzy, enkoderów) wynikał z mechanizmów maszyny.

### Moduł maszyny podstawowej: ładowarka

Na podstawie analizy łańcucha kinematycznego organu roboczego, wytypowano miejsca instalacji czujników pomiarowych, służących do identyfikacji położenia organu roboczego względem podwozia. W module ładowarka zastosowano dwa inklinometry do pomiaru kąta pochylenia łyżki i ramienia wysięgnika urabiającego.

Dodatkowo w osi obrotu członów podwozia zainstalowano enkoder do pomiaru kąta skręcenia podwozia maszyny. Tak zainstalowane czujniki, zgodnie z wcześniej opracowanym modelem matematycznym pozwoliły jednoznacznie identyfikować położenie organu roboczego względem podwozia ładowarki (rys. 2). W celu identyfikacji położenia maszyny zastosowano dwa nisko kosztowe odbiorniki GPS. Czujniki te

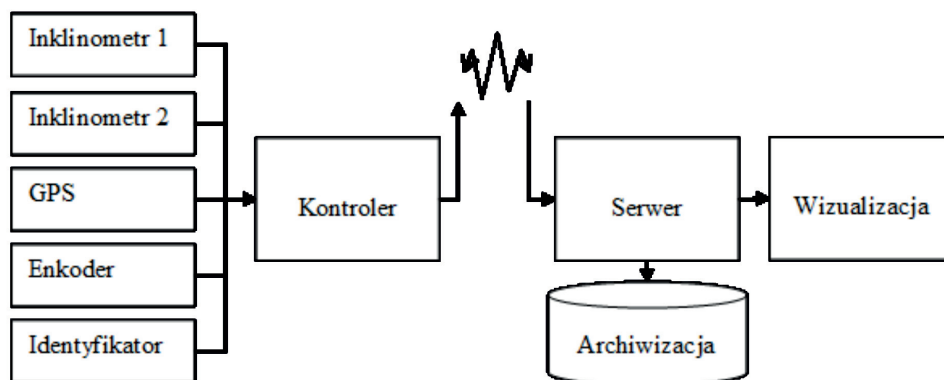


Rys. 1. Schemat mechanizmów osprzętu roboczego maszyn górniczych:

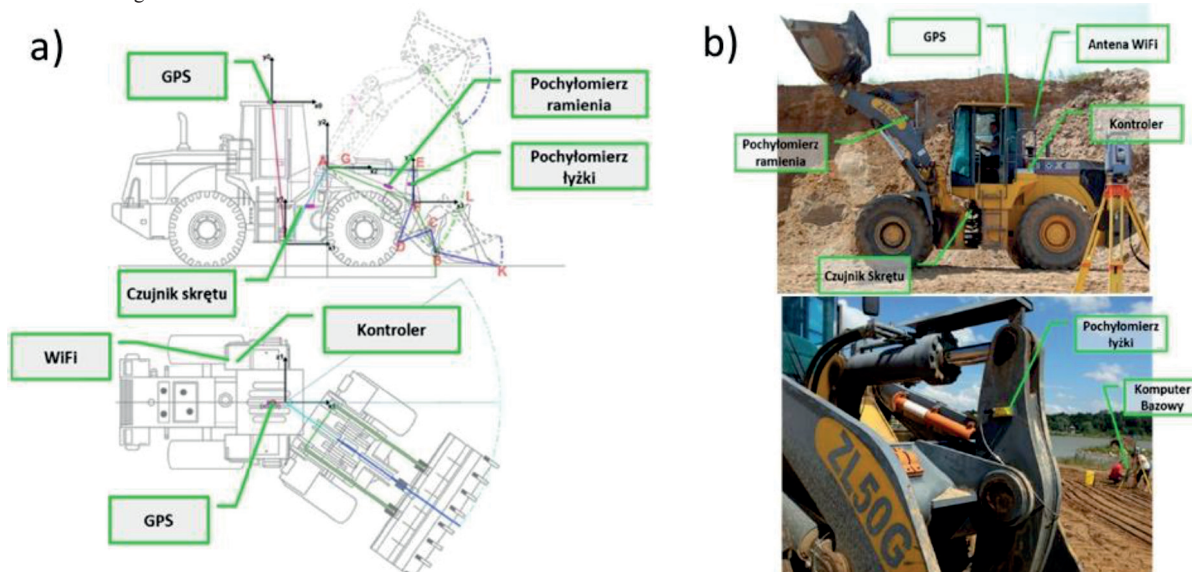
a) ładowarki łyżkowej, b) koparki podsiębiernej

Fig. 1. Plane loading mechanisms of mining machines

a) loader, b) excavator



Rys. 2. Schemat konfiguracji modułu ładowarka [6]  
Fig. 2. Schematic configuration of a loader's module

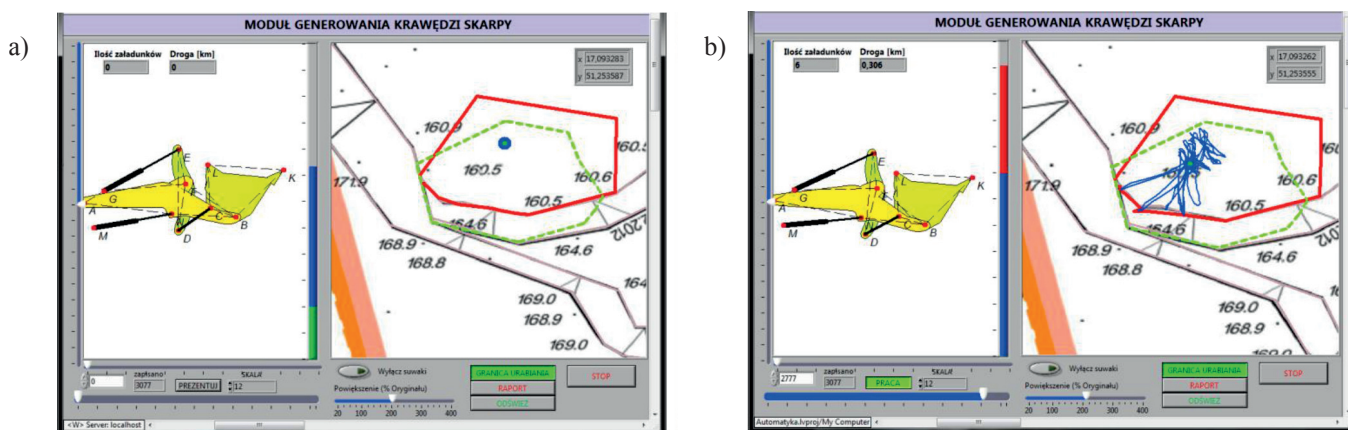


Rys. 3. Widok ładowarki łykowej z zainstalowanymi urządzeniami modułu ładowarka [6]  
Fig. 3. A loader with installed devices of the loader's module

umieszczono na nadwoziu w możliwie największej odległości od siebie (rys. 3). Jako urządzenie pokładowe do zbierania sygnałów pomiarowych zastosowano kontroler compact RIO firmy National Instruments, który wyposażono w kasetę wejść analogowych do zbierania danych z inklinometrów i enkodera oraz kasetę portów szeregowych do odbierania danych z odbiorników GPS. Kontroler został zaprogramowany, tak aby pobierał dane z czujników pomiarowych, wstępnie je przetwarzał i przysyłał zdalnie do komputera bazowego. Wszystkie zainstalowane urządzenia pokładowe modułu zasilane były z

instalacji elektrycznej ładowarki.

Do współpracy z powyżej opisanym modulem opracowano dodatkową funkcję generowania krawędzi skarpy, zadaniem której jest wizualizowanie w czasie rzeczywistym aktualnej krawędzi skarpy. Moduł może być używany, jako funkcja dodatkowa w systemie bazowym GSM (w większych zakładach górniczych) lub pracować w sposób autonomiczny (małe kopalnie, w których wydobywanie oparte jest o pojedyncze maszyny wydobywcze, w złożach charakteryzujących się małą zmiennością). Podstawową jego funkcją jest przekształcanie



Rys. 4. Rzut ekranu modułu: Generowanie krawędzi skarpy [5]  
a) stan początkowy wyrobiska, b) stan wyrobiska po sześciu załadunkach  
Fig. 4 Print screen of the loader's module – automatic design of the slope  
a) the initial state of the excavation pit, b) the excavation pit after 6 loading cycles



danych uzyskanych z modeli obliczeniowych maszyn urabiających. Opracowane algorytmy przeliczają aktualną granicę spągu eksploatacji wyrobiska, automatycznie zmieniając linię jego przebiegu na mapie (rys. 4). Odpowiednio zapisane dane sekwencji pozwalają na zliczanie wysypów łyżki, jako ilości załadunków łyżką samochodu technologicznego. Ponadto moduł pozwala na wygenerowanie raportu w postaci dokumentu Word z wybranego czasu eksploatacji, w którym zawarte są informacje odnośnie przebytej drogi ładowarki oraz ilości wysypów, a także wyjściowe i ostateczne krawędzie skarpy.

Przedstawione na rysunku 4 rzuty ekranów pokazują stan systemu podczas testów funkcji generowania krawędzi skarpy w warunkach rzeczywistych w kopalni odkrywkowej surowców skalnych:

- a) stan przed rozpoczęciem załadunku pierwszego samochodu technologicznego. Ładowarka znajduje się w środku obszaru pracy i ma opuszczoną łyżkę, licznik załadunku jest wyzerowany. Linia czerwona przedstawia aktualną granicę wyrobiska w założonym obszarze pracy ładowarki.
- b) stan pracy ładowarki po zakończeniu załadunku dwóch samochodów technologicznych i zatrzymaniu maszyny. Zatrzymanie nastąpiło z opuszczoną łyżką. Linia niebieska przedstawia trajektorię poruszania się ładowarki w trakcie załadunku. Linia czerwona obrazuje zmianę granicy spągu.

W trakcie testów okazało się, że moduł w sposób samodzielny nie potrafił określić, czy wysyp urobku związany jest z załadunkiem, czy z przygotowaniem frontu pracy. Identyfikacja rozpoczęcia i zakończenia załadunku zaznaczona

została ręcznie przez testujących. Samo zliczanie wysypów łyżki odbywało się automatycznie. Przemieszczanie frontu pracy ładowarki obrazowane było automatycznie i w czasie rzeczywistym. Zastosowane urządzenia GPS okazały się mało dokładne do wyznaczania kierunku zwrotu organu urabiającego na mapie, dlatego informacja ta mogła być pozyskana tylko na podstawie wektora prędkości przemieszczania się.

## Podsumowanie

Moduł ładowarka może być wykorzystywany samodzielnie lub być włączony do kompleksowego systemu zautomatyzowanego sterowania wydobywaniem, jako zintegrowany system zarządzania i automatyzacji procesu wydobywania. Zaprezentowane rozwiązanie umożliwia zautomatyzowane śledzenie postępu wydobywania złoża i pół automatyczne monitorowanie załadunku urobku na wozidła.

Zintegrowanie wielu podobnych modułów, dla całego parku maszynowego zakładu wydobywczego w jednolity system identyfikacyjno-monitorujący może stanowić inteligentne sterowanie procesem wydobywania i dostosowywanie technologii do zmiennych warunków geologiczno-górnich.

Rejestrowane w Systemie dane z pracy maszyn podstawowych mogą zostać wykorzystane do analiz energochłonności procesu wydobywania w oparciu o analizę ruchów technologicznych koparek, wydajności uzyskiwanej przez poszczególnych operatorów, efektywności wykorzystania czasu pracy oraz przestojów w pracy maszyn.

*Praca powstała na podstawie wyników realizowanego w latach 2011-2014 projektu rozwojowego NR09-0061-10/2011 pt.: "Zintegrowany system sterowania technologią odkrywkowa wydobywania surowców skalnych" finansowanego ze środków NCBiR.*

## Literatura

- [1] W. Kielbasiewicz, M. Kielbasiewicz, A. Kielbasiewicz, J. Nowak, T. Kowalczyk, J. Kołacz-Ciesielska, J. Wynalek, J. Grynkiewicz i P. Czeredrecki, „Opracowanie modułów sterowania koparką pływającą w zautomatyzowanym systemie wraz z testowaniem,” „Protego” Zakład Projektowo Badawczy Produkcyjny i Handlowy, Wrocław, 2012
- [2] W. Kielbasiewicz, „Eksploatacja ze wspomaganie : zalety systemu kontroli w czasie rzeczywistym,” *Surowce i Maszyny Budowlane*, pp. 42-46, 2/2014
- [3] W. Kielbasiewicz, T. Kowalczyk, J. Pękała, M. Kielbasiewicz, A. Kielbasiewicz, J. Kołacz-Ciesielska, A. Maćków, M. Łukaszykiewicz, J. Grynkiewicz, P. Czeredrecki i O. Wynalek, „Opracowanie modułów sterowania kaparkami jednoznaczyniowymi w zautomatyzowanym systemie wraz z testowaniem,” „Protego” Zakład Projektowo Badawczy Produkcyjny i Handlowy, Wrocław, 2013
- [4] W. Kielbasiewicz, „Asystent w koparce. Górniczy system nawigacyjno-kontrolny na koparkę ładową,” *Surowce i Maszyny Budowlane*, pp. 68-70, 3/2014
- [5] A. Nowak-Szpak, K. Poterała, M. Onichimiuk, M. Wygoda i A. Bajcar, „Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych systemów sterowania w zautomatyzowanych obiektach oraz prezentacja i możliwości zastosowania opracowanych rozwiązań,” „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław, 2014
- [6] A. Nowak-Szpak, K. Poterała, M. Onichimiuk i M. Wygoda, „Budowa systemu doświadczalnego,” „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław, 2014
- [7] K. Poterała, A. Nowak-Szpak i M. Onichimiuk, „Moduł: Wozidło w zintegrowanym systemie sterowania technologią wydobywania surowców skalnych,” *Górnictwo Odkrywkowe*, ISSN 0043-2075, pp. 57-60, nr 1/2015
- [8] W. Kielbasiewicz, M. Kielbasiewicz, A. Maćków, J. Nowak, B. Owsianny, A. Smyk i J. Pękała, „Założenia do określenia procedur systemu sterowania technologią odkrywkową wydobywania surowców skalnych,” PROTEGO Zakład Projektowo Badawczy Produkcyjny i Handlowy, Wrocław, 2011