

KRZYSZTOF KRAUZE
WALDEMAR RĄCZKA
MAREK SIBIELAK
JAROSŁAW KONIECZNY
DARIUSZ KUBIAK
HENRYK CULER
DANIEL BAJUS

Zautomatyzowany punkt przesypowy URB/ZS-3

W kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. urobek transportowany jest za pomocą wozów transportowych do punktów przesypowych, a następnie przenośnikami taśmowymi do przyszybowych zbiorników retencyjnych, skąd jest wydobywany na powierzchnię transportem szybowym. Przeładunek ze środków odstawy nieciągłej na ciągłe systemy transportowe odbywa się w punktach przesypowych, gdzie urobek dzielony jest na dwie frakcje, nadziarno i podziarno. Nadgabarytowy, pozostający na kracie, urobek poddawany jest procesowi kruszenia z użyciem młotów udarowych. W artykule opisano urządzenie URB/ZS-3 do automatycznego oczyszczania kraty na punkcie przesypowym, skrótkowo opisano konstrukcję i zasadę działania. Przedstawiono cel budowy i sposób automatyzacji urządzenia do rozbijania brył.

Słowa kluczowe: górnictwo, robotyzacja, automatyzacja

1. WPROWADZENIE

W kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. minerał użyteczny urabiany jest za pomocą materiału wybuchowego. Urobek transportowany jest na powierzchnię wozami odstawczymi, przenośnikami i transportem pionowym, np. skipem. Przeładunek z wozów odstawczych na przenośniki taśmowe następuje na punktach przesypowych [1, 2]. Urobek dostarczany do tych punktów charakteryzuje się zróżnicowanym uziarnieniem od ziaren średnicy 1 mm do brył o objętości pojedynczych metrów sześciennych. Ponieważ duże bryły urobku mogą uszkodzić przenośnik, dlatego w punktach przesypowych montowane są sita zwane kratami. Urobek pozostający na kracie poddawany jest procesowi kruszenia za pomocą hydraulicznych młotów udarowych [3–5]. Operator, odpowiednio manipulując młotem hydraulicznym, rozbija nadziarno do wymiarów umożliwiających przepadnięcie przez oczka kraty.

Obecnie większość punktów przesypowych wyposażona jest w młoty hydrauliczne sterowane ze stanowiska operatorskiego zlokalizowanego obok punktu przesypowego. Operator, stosując różne techniki oczyszczania kraty z podziarna, odsłania bryły nadgabarytowe, które rozkrusza do wymiarów umożliwiających ich transport przenośnikiem taśmowym. W przypadku gdy operator pracuje bezpośrednio na punktach przesypowych, tzn. w kabinie sterowania lokalnego umieszczonej bezpośrednio przy kracie, narażony jest na oddziaływanie szeregu niekorzystnych czynników, takich jak: hałas, zapylenie, drgania, wysoka temperatura i wilgotność, a także zagrożenia od górotworu (zawał, tąpnięcia itp.).

Biorąc pod uwagę powyższe zagrożenia, postanowiono radykalnie je ograniczyć, opracowano i wykonano zatem zdalne sterowanie młotem. Jego pulpit zlokalizowano w pomieszczeniu oddalonym na bezpieczną odległość (nawet kilku kilometrów) od punktu przesypowego. Operator oddalony od punktu przesypowego steruje zdalnie pracą młota z użyciem

pulpitu zdalnego sterowania (rys. 1). Takie urządzenie do rozbijania brył (URB) produkowane jest przez KGHM ZANAM S.A., a jego wersja ze zdalnym sterowaniem nosi nazwę URB/ZS-1. Kolejną wersją urządzenia do rozbijania brył jest URB/ZS-3, który w sposób autonomiczny oczyszcza kratę punktu przesypowego.

Odciążenie operatora dzięki wprowadzeniu pełnej automatyzacji punktu przesypowego spowoduje zwiększenie jego wydajności, gdyż praca operatora będzie polegać na nadzorze pracy urządzeń, dzięki czemu będzie mógł kontrolować większą liczbę punktów przesypowych niż obecnie. W pracę punktów przesypowych operator będzie ingerował tylko awaryjnie. Założono, że co najmniej 80% czynności związanych z rozbijaniem brył będzie wykonywane w sposób automatyczny. A w przypadku 20% pozostałego czasu operator będzie ingerował w pracę układu autonomicznego, przejmując sterowanie punktem przesypowym. Założono, że operator głównie będzie ingerował w sytuacjach nietypowych. Dlatego układ ma możliwość przejęcia przez operatora zdalnego sterowania pracą wysięgnika.

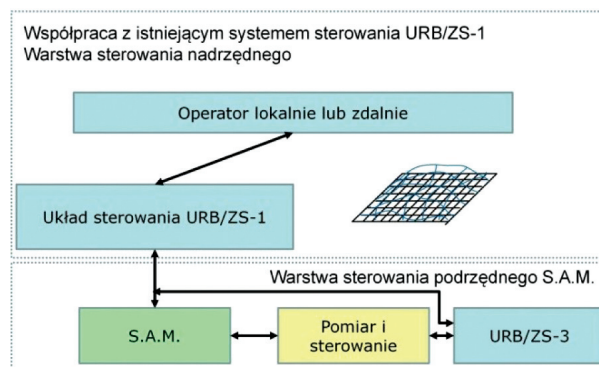
Do przeprowadzenia prac badawczo-rozwojowych powołano konsorcjum złożone z: KGHM ZANAM S.A. (Lider), Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe.

2. OPROGRAMOWANIE

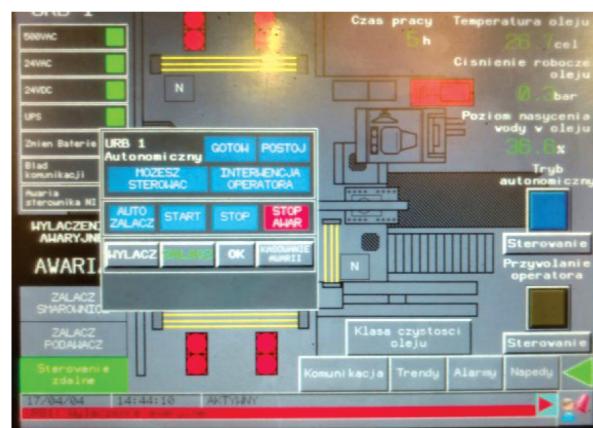
Zbudowany układ sterowania opiera się na sterowniku swobodnie programowalnym, na którym osadzony jest system operacyjny czasu rzeczywistego. System ten zapewnia synchronizację układu sterowania z czasem rzeczywistym. Na sterowniku po załączeniu zasilania automatycznie uruchamiany jest program sterujący, którego koncepcję działania pokazano na rysunku 1. Jak widać, operator zawsze jest najważniejszy i to on decyduje, czy steruje pracą młota manualnie (lokalnie lub zdalnie), czy włącza automat. Jeśli operator zdecyduje o pracy automatycznej, to włącza układ automatycznego sterowania SAM. Operator wybiera rodzaj pracy na podstawie informacji z kamer oraz danych widocznych na ekranie dotykowym pokazanym na rysunku 2.

Na rysunku 1 widać, że układ SAM steruje wysięgnikiem (URB/ZS-3) za pomocą sygnałów sterujących wyznaczonych na podstawie bieżącego stanu

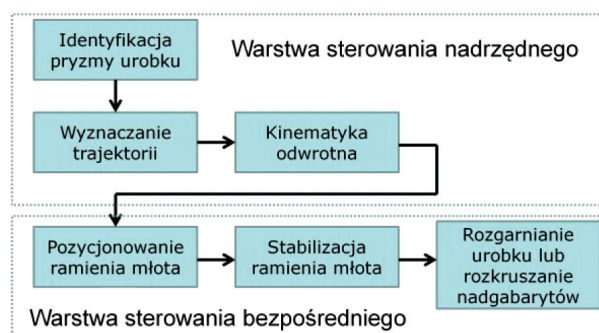
układu i wartości zadanej. Schemat blokowy układu SAM pokazano na rysunku 3. Składa się on z dwóch warstw: warstwy sterowania nadrzędnego i warstwy sterowania bezpośredniego. W warstwie nadrzędnej po zidentyfikowaniu kształtu i wymiarów pryzmy urobku system sterowania generuje trajektorię, która zostanie zrealizowana przez układ sterowania bezpośredniego. Trajektorię opracowano z użyciem algorytmów heurystycznych oraz obserwacji procesu oczyszczania kraty. Trajektorja realizowana jest w warstwie sterowania bezpośredniego.



Rys. 1. Koncepcja układu sterowania automatycznego młotem SAM



Rys. 2. Widok GUI (graficznego interfejsu operatora)



Rys. 3. Schemat blokowy systemu sterowania SAM

W układzie sterowania SAM można wyróżnić cztery główne moduły:

- moduł identyfikacji urobku,
- moduł wyznaczania trajektorii ruchu młota,
- moduł kinematyki odwrotnej,
- moduł sterowania bezpośredniego.

Identyfikacja pryzmy urobku jest podstawowym zadaniem układu SAM. Dobór sprzętu do tego zadania jest bardzo ważny. Wynikiem jego realizacji ma być urobek zalegający na kracie. Dostarczanie do układu sterowania danych w postaci cyfrowej o kształcie i położeniu pryzmy urobku lub o kształcie i położeniu nadziaren daje możliwość jego usunięcia. Dzięki wyposażeniu urządzenia URB w zespół do identyfikacji kształtu urządzenie to stało się robotem, który w sposób autonomiczny wykrywa położenie urobku na kracie, a następnie podejmuje działania mające na celu usunięcie go z niej.

Ponieważ dane o parametrach urobku są kluczowe dla działania robota URB/ZS-3, podjęto szereg prac koncepcyjnych mających na celu sformułowanie wymaganych cech tego sprzętu. Brano pod uwagę wyznaczony cel, warunki panujące w punktach przesypowych, rozmiary kraty, wysokość wyrobiska oraz wymagania układu sterowania.

Na kolejnych rysunkach 4 i 5 przedstawiono odpowiednio widok rzeczywisty urobku na kracie i jego obraz elektroniczny po skanowaniu. Na podstawie tych danych robot wyznacza trajektorię, po której się porusza.

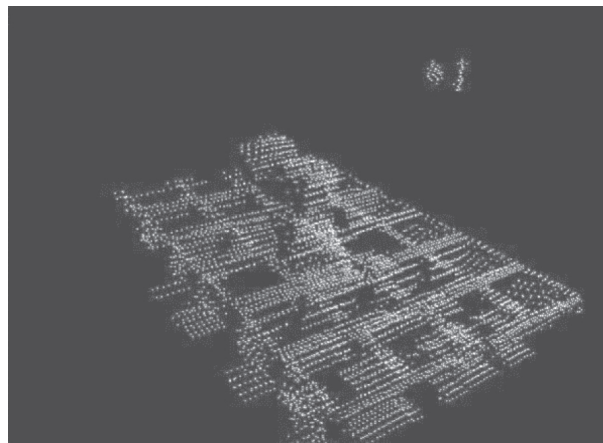
Moduł wyznaczania trajektorii ruchu młota to zamknięta część programu działająca na systemie czasu rzeczywistego. Działa ona w sposób sekwencyjny i realizuje wybrany scenariusz. Scenariusze opracowano na podstawie obserwacji pracy układu autonomicznego. Operator wybiera rodzaj scenariusza, a układ SAM go realizuje. Ponieważ w trakcie pracy młota



Rys. 4. Widok urobku na kracie

ułożenie urobku zmienia się, dlatego identyfikacja ułożenia urobku jest realizowana w sposób ciągły. Zmiany ułożenia urobku powodują, że trajektoria ruchu młota może być w każdej chwili zmieniona i rzeczywiście jest zmieniana. Dzieje się tak z wielu powodów, jako że w trakcie realizacji trajektorii działają różnego rodzaju dodatkowe mechanizmy, np. wykrywanie nadgabarytów. W wyniku reakcji na zmieniające się ułożenie urobku czy inne jego parametry moduł wyznaczania trajektorii generuje nowe trajektorie ruchu wysięgnika z młotem. Ta cecha algorytmu powoduje, że URB wyposażony w SAM staje się urządzeniem adaptującym się do zmieniających się warunków otoczenia. Zadania te układ realizuje w sposób autonomiczny, jednak operator w każdej chwili może przerwać jego pracę i przejąć kontrolę nad młotem. Taki sposób pracy jest możliwy dzięki zaproponowanej strukturze układu sterowania URB/ZS-3 pokazanej na rysunku 1. W strukturze tej układ zdalnego sterowania, który jest nadrzędnym układem, połączony jest z układem SAM. Dzięki temu operator zna stan urządzenia i informowany jest o stanach niepożądanych czy awaryjnych. Dzięki informacji zwrotnej z układu SAM operator może efektywnie nadzorować stan urządzenia, a w razie konieczności przejąć nad nim pełną kontrolę.

Wygenerowane na podstawie zidentyfikowanego urobku trajektorie przekazywane są do modułu kinematyki odwrotnej. Moduł ten z użyciem zaimplementowanego modelu kinematyki młota wyznacza zadane wysunięcia siłowników wysięgnika. Są to wartości zadane dla modułu sterowania bezpośredniego. Dzięki takiej strukturze łatwo jest skontrolować poprawność trajektorii, ich spójność czy ciągłość.



Rys. 5. Widok skanu urobku na kracie

Wartości zadane dla siłowników, wyznaczone w module kinematyki odwrotnej, są realizowane przez regulatory (rys. 7) zaimplementowane w module sterowania bezpośredniego. Moduł ten zajmuje się realizacją zadanych pozycji siłowników z użyciem regulatorów zaimplementowanych na FPGA.

3. UKŁAD AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA URZĄDZENIEM DO ROZBIJANIA BRYŁ

Opracowany układ automatycznego oczyszczania kraty punktu przesypowego zaimplementowano na urządzeniu do rozbijania brył w wersji ze zdalnym sterowaniem URB/ZS-1. Urządzenie to wyposażone jest w sterownik PLC, pulpit do zdalnego sterowania (rys. 6) i układy wykonawcze sterowane elektrycznie. URB/ZS-1 został wdrożony do pracy w kopalni, dlatego też jest to świetna baza do dalszego rozwoju tej maszyny i wyposażenia jej w układ automatycznego sterowania, który spowoduje, że będzie ona pracowała w sposób autonomiczny.

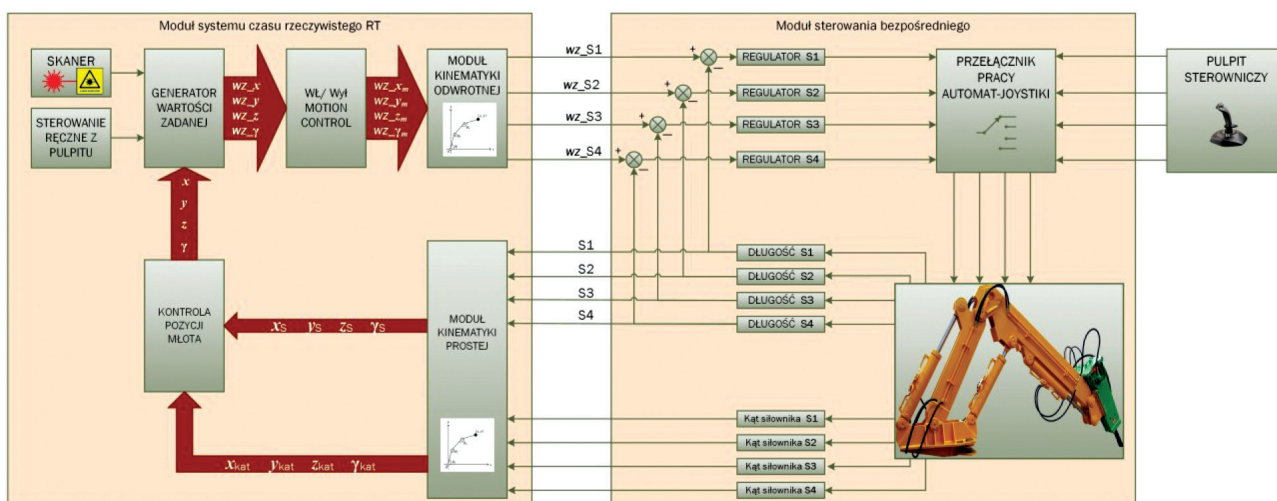


Rys. 6. Widok ogólny pulpitu operatora

Po analizie i testach konstrukcji mechanicznej i elektrycznej URB/ZS-1 oraz technologii oczyszczania kraty sformułowano główne założenia dla układu automatyki:

- układ sterowania ma działać w sposób autonomiczny,
- operator w każdej chwili może przejąć sterowanie i wyłączyć układ autonomiczny,
- co najmniej 80% czynności związanych z rozbijaniem brył urządzenie będzie wykonywać w sposób automatyczny,
- 20% pozostałego czasu operator będzie ingerował w sytuację na kracie,
- proces czyszczenia kraty z urobku będzie trwał do kilkunastu minut,
- zmiany konstrukcyjne muszą być możliwie jak najmniejsze w stosunku do układu URB/ZS-1.

Warstwa sterowania bezpośredniego pokazana na rysunku 3 zawiera czujniki i przetworniki zamontowanych na wysięgniku sterownika swobodnie programowalnych czujników w układzie hydraulicznym. W sposób dokładniejszy układ sterowania automatycznego przedstawiono na rysunku 7. Składa się on z układu pomiaru przemieszczenia siłownika, a także przemieszczeń kątowych przegubów wysięgnika. Ta redundancja na etapie badań układu miała za zadanie ograniczenie potencjalnych zagrożeń projektu. Na schemacie widać, że sygnały z urządzenia skanującego urobek, sygnały od operatora oraz bieżący stan młota są przetwarzane w bloku, który nazwano generatorem wartości zadanej. Blok ten wyznacza wartości zadane dla modułu sterowania bezpośredniego.



Rys. 7. Schemat ideowy układu sterowania

Wartość zadana podawana jest na węzeł sumacyjny, w którym wyliczany jest sygnał uchybu. Na podstawie sygnału uchybu regulatory wyznaczają sygnały sterujące, które sterują zaworami siłowników S1, S2, S3, S4. Sygnały sterujące elektrozaworami przechodzą przez blok „Przełącznik pracy automat–joystyki”, który służy do wyboru pomiędzy pracą automatyczną a sterowaniem manualnym przez operatora.

4. BADANIA I TESTY

Zbudowany układ zmontowano na stanowisku testowym w KGHM ZANAM S.A. (rys. 8). Stanowisko uruchomiono w wersji ze zdalnym sterowaniem. Po przeprowadzeniu testów ruchowych przystąpiono do uruchamiania układu automatyki SAM. W tym celu sprawdzono wszystkie tory pomiarowe, następnie wprowadzono skale i przetestowano cały układ pomiarowy. Badania obejmowały testy zakresu ruchu siłowników, zakresu pomiarowego przetworników drogi, poziomu zakłóceń, własności statycznych i dynamicznych układu.



Rys. 8. Stanowisko do badań urządzeń URB

Następnie przeprowadzono testy układu sterowania, sprawdzono sygnały sterujące elektrozaworami. Przetestowano sterowanie „ręczne” z użyciem komputera, sterując wysięgnikiem. Sprawdzono zakres sterowania, a następnie ustawiono parametry regulatorów torów sterujących siłowników. Kolejnym krokiem było uruchomienie regulatora bezpośredniego. Zweryfikowano i dostrojono nastawy regulatora, sprawdzono odpowiedź skokową dla wszystkich kanałów sterowania.

Po uruchomieniu warstwy sterowania bezpośredniego przystąpiono do uruchomienia modułów kine-

matyki prostej i odwrotnej, modułu sterowania ruchem, modułu wyznaczania trajektorii i modułów skanowania oraz analizy.

Przeprowadzone testy układów regulacji:

- zakres ruchu poszczególnych siłowników,
- prędkość siłowników,
- zakłócenia w torach pomiarowych i przesłuchy pomiędzy nimi,
- zakłócenia w trakcie ruchu.

Po uruchomieniu i przetestowaniu wszystkich modułów układu sterowania SAM przystąpiono do testów całego układu. W pierwszej kolejności wykonano kalibrację układu skanowania. Następnie przetestowano układ skanowania kraty oraz synchronizacji układów współrzędnych. Po tych podstawowych testach sprzętu i oprogramowania przeprowadzono szereg testów automatu. Między innymi przetestowano działanie dwóch scenariuszy:

- losowe rozgarnianie urobku,
- labiryntowe rozgarnianie urobku.

5. PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy przedstawiono układ autonomicznego robota do rozbijania skał. Przedstawiono zakres przeprowadzonych prac. Skrótowno opisano układ automatyki oraz budowę programu sterującego. Opisano przeprowadzone testy, które obejmowały między innymi badania układu pomiarowego, badania układu sterującego, próby ruchowe, weryfikację modeli kinematycznych i badania modułu kinematyki, testy modułu sterowania, badania układu skanującego oraz testy połączenia sterownika SAM ze sterownikiem PLC. Przeprowadzone prace wykazały, że układ realizuje zadania w sposób zgodny z założeniami. Układy identyfikacji urobku, wyznaczania trajektorii oraz jej realizacji sprawdzają się. Prowadzone prace badawcze wykazały, że układ potrafi oczyścić kratę z urobku o znacznych gabarytach w sposób zadowalający. Następnym krokiem jest zamontowanie układu na rzeczywistej kracie zgodnie z wymaganiami przyszłego użytkownika w celu sprawdzenia jego możliwości w warunkach kopalnianych.

Podziękowania

Praca realizowana w ramach Programu CuBR finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – umowa nr CuBR/II/1/NCBR/2015 i KGHM Polska Miedź S.A. – umowa nr KGHM-BZ-U-0737-2015.

Literatura

- [1] Krauze K., Kotwica K., Mendiya P., Bołoz Ł., Kulinowski P., Kasza P., Nawrocki M., Feliks J., Tomach P., Władzielczyk K., Kipczak P.: *Wybrane problemy urabiania, transportu i przeróbki skał trudnourabialnych. Tom 1*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2016.
- [2] Krauze K., Orozco Álvarez D., Bołoz Ł., Iwaniec M., Krauze K., Sidor J., Tomach P., Wydro T. et al.: *Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa*, „Mechanizacja, Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie. Monografia 2012”, Łędziny 2012.
- [3] Krauze K., Pluta J., Podsiadło A., Micek P.: *Badanie ciężkich młotów hydraulicznych*, „Maszyny Górnicze” 1996, 5: 62–71.
- [4] Krauze K., Łaska Z.: *Diagnozowanie młotów Roxon i Rammer na podstawie badań stanowiskowych*, „I Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania: TUR 2001. Monografia”, Kraków – Krynica 2001: 442–448.
- [5] Krauze K.: *Experimental determination of impact energy of hydraulic hammers*, „The Archive of Mechanical Engineering” 2000, 47, 1: 21–32.
- [6] Krauze K., Stopka G., Rączka W.: *Design and test result of the new solution hydraulic roof support for low seams*, „International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM” Albena, Bulgaria 2017, 17, 13: 189–196.
- [7] Sibiela M., Rączka W., Konieczny J., Kowal J.: *Optimal control based on a modified quadratic performance index for systems disturbed by sinusoidal signals*, „Mechanical Systems and Signal Processing” 2015, 64–65: 498–519.

prof. dr hab. inż. KRZYSZTOF KRAUZE

dr hab. inż. WALDEMAR RĄCZKA

dr hab. inż. MAREK SIBIELAK

dr hab. inż. JAROSŁAW KONIECZNY

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

im. Stanisława Staszica w Krakowie

Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

{krauze, wraczka, sibiela, konieja}@agh.edu.pl

mgr inż. DARIUSZ KUBIAK

mgr inż. HENRYK CULER

mgr inż. DANIEL BAJUS

KGHM ZANAM S.A

ul. Kopalnia 7, 59-101 Polkowice

{dariusz.kubiak1, henryk.culer,

daniel.bajus}@kghmzanam.com

