

LESZEK ZIĘTKOWSKI
JANUSZ MŁYNARCZYK
WOJCIECH SOBOLEWSKI

Testy optymalizacyjne pracy automatycznego urządzenia do rozbijania brył nadgabarytowych URB/ZS-3 w kopalni Polkowice-Sieroszowice

W artykule przedstawiono doświadczenia z pierwszego etapu testów optymalizacyjnych pracy automatycznego urządzenia do rozbijania brył nadgabarytowych. Testy przeprowadzono w okresie od grudnia 2017 r. do marca 2018 r. w Zakładach Górniczych Polkowice-Sieroszowice – oddział KGHM Polska Miedź. Automatyczne urządzenie URB/ZS-3 powstało w ramach drugiego konkursu wspólnego przedsięwzięcia finansowanego przez NCBR i KGHM Polska Miedź S.A. pod nazwą CuBR. Omówiono przyjęte metody prowadzenia prób ruchowych urządzenia URB/ZS-3, które musiały uwzględniać specyficzne wymagania i warunki pracy oddziału górniczego w kopalni Polkowice-Sieroszowice. Punktem odniesienia dla oceny skuteczności nowego rozwiązania były czasy oczyszczania kraty przez urządzenie pracujące w trybie zdalnym. Zaprezentowano wyniki oczyszczania kraty z urobku przez urządzenie pracujące w trybie automatycznym dla różnych algorytmów i scenariuszy uwzględnionych w oprogramowaniu sterującym. Wzięto pod uwagę wpływ stopnia rozdrobnienia rudy, w tym liczby brył nadgabarytowych, na czas oczyszczania kraty. Poddano wstępnej ocenie wpływ zmian wprowadzanych w tym oprogramowaniu na uzyskiwane czasy opróżniania kraty. W artykule przedstawiono również wpływ załadunku kraty z wykorzystaniem ładowarek oraz wozów odstawczych na efektywność pracy automatycznego urządzenia do rozbijania brył nadgabarytowych. Oceniono także elementy wykonawcze urządzenia pod kątem ich niezawodności oraz zaproponowano kierunki ewentualnych zmian konstrukcyjnych. W podsumowaniu zaproponowano kierunki dalszych działań zmierzających do optymalizacji urządzenia oraz podniesienia jego efektywności i niezawodności.

Słowa kluczowe: optymalizacja, górnictwo, rozbijanie brył nadgabarytowych

1. WSTĘP

Testy automatycznego urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3 przeprowadzone w kopalni Polkowice-Sieroszowice odbywały się jako część pracy badawczo-rozwojowej powstającej w ramach przedsięwzięcia CuBR II pt. „Automatyczne urządzenie do rozbijania brył typu URB/ZS-3 w wyrobiskach podziemnych kopalni rud miedzi” dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz KGHM Polska Miedź S.A. Projekt realizowany jest w konsorcjum, którego członkami są KGHM ZANAM S.A., KGHM

CUPRUM Sp. z o.o. CB-R oraz Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica.

Przed rozpoczęciem prób dołowych opracowano metodykę przeprowadzanych testów polegającą na określeniu koniecznych do przeanalizowania kryteriów w celu oceny poprawnej pracy urządzenia do rozbijania brył oraz działania układu automatycznego sterowania.

Prototyp urządzenia został zabudowany na punkcie przesypowym w kopalni Polkowice-Sieroszowice w chodniku T-210/przecinka P-13, z kratą przesypową R-120/1 na przenośnik Legmet L-120. Następnie

punkt przesypowy był poddawany testom optymalizacyjnym z urobkiem w okresie od grudnia 2017 r. do marca 2018 r.

W trakcie pomiarów rejestrowano czasy, w jakich urządzenie oczyszczało kratę z nadgabarytów oraz oceniano skuteczność jego działania. Ocenie poddano również mechaniczne rozwiązania automatycznego urządzenia do rozbijania brył oraz oprogramowania sterującego.

2. AUTOMATYCZNE URZĄDZENIE DO ROZBIJANIA BRYŁ URB/ZS-3

Prototyp urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3 powstał w odpowiedzi na nasilające się potrzeby KGHM Polska Miedź S.A. związane z koniecznością zwiększania poziomu automatyzacji podczas eksploatacji rudy miedzi [1]. Potrzeby te wynikają z pogarszających się warunków wydobywania – zwiększona temperatura i wilgotność powietrza oraz zagrożenie tapaniami [2].

Dodatkowo zautomatyzowanie procesu rozbijania brył umożliwiłoby zoptymalizowanie wykorzystania czasu pracy operatorów URB, a tym samym pozwoliłoby na obniżenie kosztów wydobywania rudy miedzi. Aby zrealizować te cele, urządzenie powinno zapewnić oczyszczenie kraty bez ingerencji operatora, który pełniłby funkcję kontrolną oraz włączał się w proces oczyszczania w sposób zdalny w szczególnych przypadkach [2].

Do przeprowadzenia próby zautomatyzowania procesu rozbijania brył wykorzystano istniejące urządzenia do rozbijania brył – URB, produkcji KGHM ZANAM, co było podyktowane potrzebą optymalnej pod względem kosztów konwersji z aktualnie obowiązującego systemu rozbijania brył nadgabarytowych (rozbijanie

ręczne z operatorem bezpośrednio na kracie oraz rozbijanie zdalne) na system pracujący w cyklu automatycznym [1].

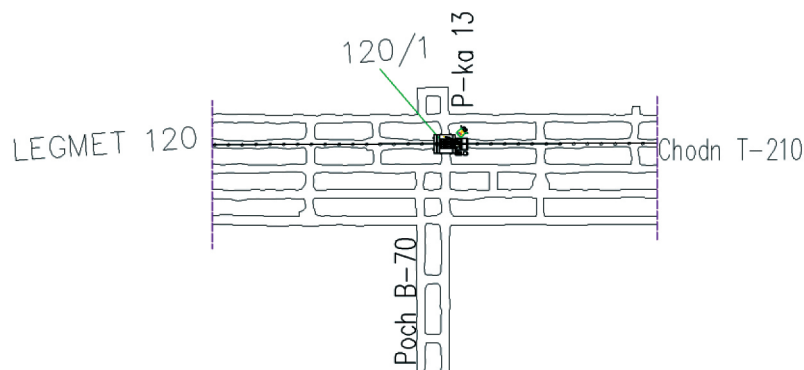
Działanie URB/ZS-3 opiera się na skanowaniu kraty laserowym skanerem, który określając stopień zajętości kraty przez urobek, decyduje o rozpoczęciu procesu oczyszczania kraty. Koordynacja pomiędzy młotem montowanym na wysięgniku, skanerem i programem sterującym odbywa się dzięki zamontowanym czujnikom i przetwornikom kąta położenia oraz drogi [1].

3. LOKALIZACJA

Prototyp automatycznego urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3 został zabudowany na punkcie przesypowym w kopalni Polkowice-Sieroszowice w chodniku T-210/przecinka P 13 z kratą przesypową R-120/1 na przenośnik Legmet L-120. Widok zabudowanego urządzenia został przedstawiony na rysunku 1. Schemat punktu przesypowego pokazano na rysunku 2.

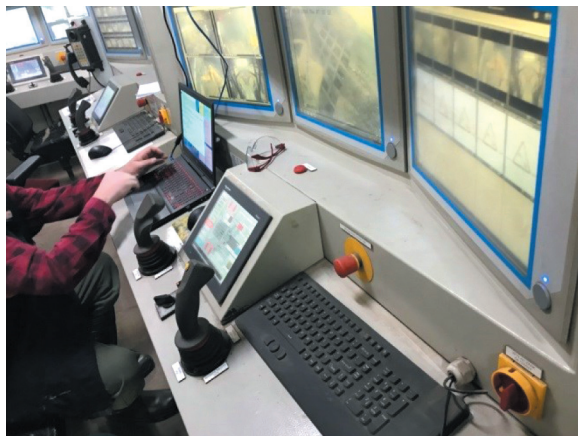


Rys. 1. Widok zabudowanego URB/ZS-3 w kopalni Polkowice-Sieroszowice



Rys. 2. Lokalizacja URB/ZS-3 w kopalni Polkowice-Sieroszowice

Jednocześnie w sterowni SK-2 na podszybiu szybu SW-1 zostało zabudowane stanowisko obsługowe URB/ZS-3 wyposażone w konsolę zdalnego sterowania oraz szafy sterownicze umożliwiające wykonywanie pracy zdalnej na kracie. Sposób zabudowy konsoli w sterowni został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Konsola zdalnego sterowania w sterowni SK-2 na podszybiu szybu SW-1

Sterownia posiada dostęp do monitoringu kraty R120/1 oraz pozwala na kontrolę nad sygnalizacją wjazdową, dzięki czemu możliwa jest współpraca z operatorem maszyny odstawczej.

4. KRYTERIA OCENY

Testy poprzedzono przygotowaniem odpowiednich zasad oceny poprawności działania automatycznego urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3. Ocenie zostały poddane poprawność pracy samego urządzenia oraz sposób działania algorytmu sterującego [2].

Za podstawowe parametry określenia zdolności do pracy urządzenia do rozbijania brył przyjęto:

- poprawność działania układu hydraulicznego wysięgnika z młotem udarowym,
- brak przecieków w układzie hydraulicznym,
- poprawność nastaw zaworu bezpieczeństwa,
- poprawność działania układu automatycznego smarowania,
- poprawność działania skanera laserowego,
- poprawność działania układu podawacza szufladowego,
- możliwe przejście kontroli zdalnej urządzenia ze sterowni SK-2 na podszybiu szybu SW-1.

Jako podstawowe parametry do sprawdzenia podczas pracy algorytmu sterującego przyjęto [1]:

- czas trwania cyklu samooczyszczania kraty przesypowej,
- stopień oczyszczenia kraty po zakończeniu cyklu pracy urządzenia,
- wpływ rodzaju urobku (stopień rozdrobnienia, zawilgocenie itp.) na czas trwania cyklu samooczyszczania kraty przesypowej,
- wpływ rodzaju urobku na stopień oczyszczenia kraty po zakończeniu cyklu urządzenia,
- poprawność oceny rozłożenia urobku na kracie przesypowej przez skaner laserowy,
- zdolność urządzenia do wyszukiwania urobku i pomijania pustych obszarów kraty przesypowej,
- zdolność urządzenia do wyszukiwania i rozbijania brył nadgabarytowych,
- zdolność urządzenia do wyszukiwania i przegarniania drobnego urobku,
- poprawność działania bramek wjazdowych automatycznie załączających urządzenie.

5. TESTY OPTIMALIZACYJNE

Przeprowadzono pięć optymalizujących prób dołowych ulepszających działanie algorytmu pod kątem sprawności i szybkości oczyszczania kraty. Do testów wykorzystano ładowarki łyżkowe LKP-0903 produkcji KGHM ZANAM o ładowności około 7 Mg urobku. Zaplanowane prace optymalizujące z wozami odstawczymi WO CB4 o ładowności 20 Mg urobku odbyły się w niepełnym wymiarze z uwagi na awarię urządzenia w marcu 2018 r.

Urobek użyty podczas prób obejmował pełen zakres ziarnistości spotykanej w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. Miało to na celu umożliwienie dostosowania algorytmu do zmieniających się warunków na kracie przesypowej, zależnych od rodzaju urobku, lokalizacji oddziału wydobywczego oraz ogólnej zmienności uziarnienia urobku wynikającej z zastosowania metody urabiania przodków za pomocą materiałów wybuchowych w filarowo-komorowym systemie eksploatacji.

Próby miały na celu opracowanie odpowiednich parametrów i nastaw w algorytmach sterujących polepszających czas pracy URB/ZS-3 oraz zapewniających odpowiedni dla użytkownika stosunek czasu trwania cyklu oczyszczania do stopnia oczyszczenia kraty z urobku [1].

Testy optymalizacyjne polegały na określeniu koniecznych do wprowadzenia modyfikacji w oprogramowaniu oraz wyznaczeniu akceptowalnego do zachowania ciągłości odstawy stopnia zajętości kraty, który umożliwia w razie takiej potrzeby przejazd maszyn odstawczych przez kratę [1].

Przykład kraty przed oczyszczeniem zaprezentowano na rysunku 4. Na kratę dostarczono około 7 Mg urobku o charakterystyce drobnej. Na rysunku 5 zaprezentowano kratę po oczyszczeniu automatycznym urządzeniem do rozbijania brył URB/ZS-3. Stopień oczyszczenia kraty uznano za zadowalający.



Rys. 4. Krata po wyladowaniu urobku przez ładowarkę łyżkową LKP-0903



Rys. 5. Krata po oczyszczeniu automatycznym przez URB/ZS-3

W wyniku prób optymalizacyjnych wprowadzono w algorytmie oczyszczającym trzy tryby pracy:

- rozbijanie brył w oczkach kraty (tryb dłutowania),
- przegarnianie urobku po kracie (tryb rozgarniania),
- rozbijanie brył w ich środku geometrycznym określany na podstawie skanowania (tryb „single”).

Po procesie optymalizacji tryby oczyszczające zostały znacząco uproszczone w celu skrócenia czasu programu czyszczącego. W początkowej fazie testów tryb dłutowania polegał na wstępnym przegarnięciu urobku z przęseł oczka kraty, a następnie na rozbiciu bryły w środku oczka kraty. W ramach prowadzonych testów program został uproszczony i w aktualnej wersji polega na wykonaniu najazdu młota nad środek geometryczny oczka kraty. Następnie urządzenie opuszcza się i w momencie napotkania oporu bryły uruchamia udar w młocie hydraulicznym.

Tryb rozgarniania został uproszczony z początkowego przejazdu wzdłuż przęseł kraty do przejazdów skośnych. Takie rozwiązanie znacznie przyspiesza oczyszczenie kraty z drobnego urobku w porównaniu z poprzednim rozwiązaniem. Tryb „single” został wprowadzony pod koniec trwania testów. Służy do rozbijania brył w ostatniej fazie pracy algorytmu po wykonaniu trybów przegarniających i rozgarniających.

Tryby zostały uporządkowane w scenariusze uruchamiane w zależności od typu maszyny dostarczającej urobek – wóz odstawczy/ładowarka łyżkowa oraz w zależności od stopnia zajętości kraty.

Stopień zajętości kraty był określany na podstawie skanowania wykonywanego przed realizacją i w trakcie realizacji scenariusza oczyszczającego. Urządzenie powinno kontynuować proces oczyszczania do momentu osiągnięcia ustalonej wartości, po czym umożliwić wjazd kolejnej maszyny z urobkiem. W wyniku testów optymalizacyjnych wyznaczono zadowalającą wartość graniczną na poziomie 17% zajętości kraty. Wartość wysokości urobku umożliwiającą swobodny przejazd maszyny określono w wyniku testów optymalizacyjnych na poziomie 150 mm nad kratą.

Układ sterujący po wyladowaniu urobku na kratę odczytuje stopień zajętości i załącza URB/ZS-3, w momencie gdy dostarczony urobek wypełnia kratę powyżej 17% stopnia zajętości. Praca oczyszczająca jest kontynuowana do momentu uzyskania zajętości poniżej 17%.

W trakcie pomiarów rejestrowano czasy trwania poszczególnych cykli od momentu załączenia automatycznego trybu samooczyszczania do powrotu młota hydraulicznego URB do punktu bazowego oraz określano skuteczność i stopień oczyszczenia kraty po każdym pomiarze. Dodatkowo w celu jak najlepszego odwzorowania warunków eksploatacyjnych na 15 s przed uruchomieniem URB/ZS-3 załączał się podawacz szufladowy kraty R-120/1, który umożliwiał wstępne przesypanie się drobnego urobku – samooczyszczanie się kraty.

Podczas normalnej eksploatacji planowane jest zapewnienie sterowania ruchem maszyn odstawczych w obrębie kraty przez system URB/ZS-3. To sterowanie sygnalizacją świetlną, która czerpie informacje między innymi ze specjalnych bramek zabudowanych na wjazdach na kratę. Podczas prób optymalizacyjnych nie testowano sygnalizacji wjazdu na kratę przez operatora. Zielone światło i zgodę na wjazd na kratę wydawał operator nadzorujący ze sterowni SK-2 [2].

Czasy poszczególnych pomiarów oraz wyniki testów zaprezentowano w tabeli 1 dla prób optymalizacyjnych oraz tabeli 2 dla testów sprawdzających algorytm. Krata zostawała uznana za oczyszczoną, jeżeli po zakończeniu próby stan zajętości kraty umożliwił ponowny załadunek urobku.

Testy optymalizacyjne URB/ZS-3 zostały przeprowadzone na pięciu zmianach górniczych, w trakcie których wykonano 39 pomiarów z użyciem około 280 Mg urobku (40 łyżek ładowarki LKP-0903), z których osiem zakończyło się oczyszczeniem kraty. Średni czas trwania próby pozytywnej od momentu uruchomienia URB/ZS-3 do wyłączenia wynosił 126 s.

Testy sprawdzające URB/ZS-3 zostały przeprowadzone na trzech zmianach roboczych, jednak w wyniku awarii urządzenia podczas pierwszych prób z wozami odstawczymi, w drugim dniu testów konieczne było przerwanie prób.

Na zmianie pierwszej dokonano jedenastu pomiarów z użyciem około 105 Mg urobku (piętnaście łyżek ładowarki LKP-0903), z których dziewięć zakończyło się oczyszczeniem kraty. Średni czas trwania próby pozytywnej od momentu uruchomienia URB/ZS-3 do wyłączenia wynosił 293 s.

W trakcie prób 15.03.2018 r. doszło do awarii urządzenia. Uszkodzeniu uległo mocowanie czujnika położenia tłoczyska siłownika obrotu URB/ZS-3, co spowodowało rozkalibrowanie się urządzenia i zgubienie punktu zero młota hydraulicznego. Z uwagi na konstrukcję układu pomiarowego (czujnik mocowany w tłoczysku) konieczna była wymiana całego siłownika obrotu. Po analizie stwierdzono, że awaria mocowania czujnika położenia tłoczyska w siłowniku obrotu nastąpiła w wyniku nieprawidłowego zabezpieczenia czujnika w gnieździe mocującym. Zastosowano żywicę poliuretanową, która pod wpływem temperatury czynnika roboczego uległa zniszczeniu. Niezabezpieczony czujnik podczas pracy udarowej URB/ZS-3 zaczął się przesuwać, co spowodowało rozkalibrowanie maszyny.

Z uwagi na fakt, że czujniki położenia drogi montowane są we wszystkich czterech siłownikach urządzenia do rozbijania brył, należy rozważyć zmianę przyjętej koncepcji zabezpieczenia czujnika i rejestrowania wysuwu tłoczyska.

Awaria uniemożliwiła przeprowadzenie pełnych testów odstawy za pomocą wozów odstawczych CB4 oraz odpowiedniej optymalizacji algorytmu. Testy optymalizacyjne z wozem odstawczym były prowadzone równoległe do napraw rozkalibrowanego URB/ZS-3.

W tabeli 3 zaprezentowano statystyki ogólne dla prób przeprowadzonych na punkcie przesypowym z wykorzystaniem automatycznego urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3. Testy optymalizacyjne były prowadzone na ośmiu zmianach górniczych w terminie od grudnia 2017 r. do marca 2018 r. Przeprowadzono łącznie 55 prób, z czego 21 zakończyło się oczyszczeniem kraty, co daje 38% skuteczności. Średni czas oczyszczenia wynosił 4,8 min. 50 prób zostało przeprowadzonych z użyciem ładowarek łyżkowych, z czego 17 zakończyło się oczyszczeniem kraty. Średni czas oczyszczenia wynosił 3,4 min. W tabeli ujęto również statystyki dla prób z wykorzystaniem wozu odstawczego. Wykonano pięć prób, z czego cztery zakończyły się oczyszczeniem kraty. Średni czas oczyszczenia wynosił 10,7 min.

Należy zaznaczyć, że próby prowadzone w okresie optymalizacyjnym miały charakter badawczo-sprawdzający. Dochodziło do przerw w trakcie trwania pomiarów i zmian w parametrach algorytmu. Stąd występujący niski stopień powodzenia przeprowadzonych prób oraz niskie zmianowe wykorzystanie URB/ZS-3. Optymalizację oprogramowania dodatkowo utrudniał zmieniający się charakter urobku – urobek drobniejszy wymaga większego udziału trybu przegarniającego w porównaniu z urobkiem z większym udziałem nadgabarytów.

W początkowej fazie testów – grudzień i styczeń, dostarczano na kratę bardzo drobny urobek, co spowodowało, że w procesie optymalizacji skupiono się w dużym stopniu na przegarnianiu urobku, które w momencie pojawienia się nadgabarytów w lutym i marcu nie sprawdziło się jako główny tryb pracy. Konieczne było rozszerzenie udziału trybu rozbijania brył oraz wprowadzenie dodatkowego trybu „single”. W wyniku wydłużających się czasów oczyszczania zastosowano uproszczenia w działaniu poszczególnych trybów. W wyniku dalszej optymalizacji osiągnięto zadowalający kompromis w dniu 09.03.2018 r.

Tabela 1

Wyniki pomiarów prób optymalizujących automatycznego urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3

Data prób	Liczba prób	Liczba prób pozytywnych	Dodatkowe informacje	Urobek		Czas trwania pracy URB [min]	Próba pozytywna	
				ładowarka [tyżka]	wóz			
19.12.2017	4	1	próby optymalizacyjne	3	0	5,0	nie	0
				1	0	8,0	nie	0
				1	0	4,0	tak	1
				3	0	8,0	nie	0
12.01.2018	2	0	próby optymalizacyjne	5	0	brak próby	nie	0
				4	0	brak próby	nie	0
31.01.2018	8	6	próby optymalizacyjne	2	0	1,5	tak	1
				1	0	1,7	tak	1
				1	0	1,5	tak	1
				1	0	1,8	tak	1
				1	0	1,7	tak	1
				1	0	3,5	nie	0
				3	0	3,0	tak	1
				3	0	2,8	nie	0
02.02.2018	17	1	próby optymalizacyjne	1	0	1,7	nie	0
				pop. próba	0	1,7	tak	1
				1	0	1,7	nie	0
				pop. próba	0	2,8	nie	0
				1	0	1,5	nie	0
				1	0	3,3	nie	0
				pop. próba	0	3,8	nie	0
				pop. próba	0	3,7	nie	0
				1	0	3,0	nie	0
				pop. próba	0	5,5	nie	0
				pop. próba	0	2,0	nie	0
				pop. próba	0	1,0	nie	0
				pop. próba	0	6,3	nie	0
				pop. próba	0	2,5	nie	0
				pop. próba	0	1,3	nie	0
pop. próba	0	0,8	nie	0				
28.02.2018	8	0	próby optymalizacyjne	1	0	1,0	nie	0
				pop. próba	0	7,0	nie	0
				pop. próba	0	6,0	nie	0
				1	0	3,0	nie	0
				1	0	3,9	nie	0
				pop. próba	0	3,1	nie	0
				1	0	7,0	nie	0
				pop. próba	0	1,5	nie	0

Tabela 2

Wyniki prób sprawdzających automatycznego urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3

Data prób	Liczba prób	Liczba prób pozytywnych	Dodatkowe informacje	Urobek		Czas trwania pracy URB [min]	Próba pozytywna	
				ładowarka [łyżka]	wóz		tak	nie
09.03.2018	11	9	próby testujące algorytm	3	0	6,0	tak	1
				1	0	4,0	tak	1
				1	0	11,0	nie	0
				1	0	6,5	nie	0
				1	0	10,7	tak	1
				2	0	4,0	tak	1
				2	0	3,0	tak	1
				1	0	4,0	tak	1
				1	0	4,3	tak	1
				1	0	3,3	tak	1
				1	0	1,5	tak	1
15.03.2018	2	1	nieprawidłowe działanie	0	1	14,7	tak	1
				0	1	8,0	nie	0
16.03.2018	3	3	nieprawidłowe działanie	0	1	3,0	tak	1
				0	1	6,5	tak	1
				0	1	18,5	tak	1

Tabela 3

Statystyki ogólne testów URB/ZS-3 zebranych podczas prób w kopalni Polkowice-Sierszowice

Statystyki ogólne testów URB/ZS-3	
Czas pracy URB [min]	228
Urobek dostarczony ładownicą łyżkową [Mg]	385
Urobek dostarczony wozem odstawczym [Mg]	100
Urobek dostarczony łącznie [Mg]	485
Przeładunek urobku do czasu pracy URB [Mg/min]	2
Liczba przeprowadzonych zmian [zmiana]	8
Średni przeładunek urobku na zmianę [Mg/zmiana]	61
Czas trwania zmiany [min]	240
Średni przeładunek urobku na minutę [Mg/min]	1
Średni czas trwania próby [min]	4,2
Liczba przeprowadzonych prób łącznie	55
Liczba przeprowadzonych prób pozytywnych	21
Stożek prób pozytywnych [%]	38
Średni czas trwania próby pozytywnej [min]	4,8

Tabela 3 cd.

Statystyki ogólne testów URB/ZS-3	
Statystyki dla ładowarki łyżkowej LKP-0903	
Liczba przeprowadzonych prób z ładowarką łyżkową	50
Liczba przeprowadzonych prób pozytywnych z ładowarką łyżkową	17
Stożenie prób pozytywnych z ładowarką łyżkową [%]	34
Czas pracy URB z odstawą ładowarką łyżkową [min]	178
Urobek dostarczony ładowarką łyż. do czasu pracy URB [Mg/min]	2
Średni czas trwania próby z odstawą ładowarką łyżkową [min]	3,6
Średni czas trwania próby pozytywnej z odstawą ładowarką łyżkową [min]	3,4
Statystyki dla wozu odstawczego WO CB4	
Liczba przeprowadzonych prób z wozem odstawczym	5
Liczba przeprowadzonych prób pozytywnych z wozem odstawczym	4
Stożenie prób pozytywnych z wozem odstawczym [%]	80
Czas pracy URB z odstawą wozem odstawczym	51
Urobek dostarczony wozem do czasu pracy URB [Mg/min]	2
Średni czas trwania próby z odstawą wozem odstawczym [min]	10,1
Średni czas trwania próby pozytywnej z odstawą wozem odstawczym [min]	10,7

W tabeli 4 zaprezentowano statystyki prób testujących z dnia 09.03.2018 r. Przeprowadzono 11 prób, z czego dziewięć zakończyło się oczyszczeniem kraty. Średni czas oczyszczenia wynosił 4,5 min.

Analiza danych z tabeli pozwala na stwierdzenie, iż zaawansowanie prac optymalizacyjnych jest na obiecującym poziomie. Zaobserwowano znaczną poprawę oczyszczania kraty. Próby testujące miały być kontynuowane w dniu 15.03.2018 r. w trybie ciągłym, jednak na skutek awarii konieczne było przerwanie prac i rozpoczęcie diagnostyki usterki.

Najczęstsze problemy, jakie odnotowano podczas automatycznej pracy URB/ZS-3, związane były z pracą skanera laserowego.

Odnutowano problemy z lokalizacją urobku wynikające z braku skanowania kraty w czasie rzeczywistym. Oznaczało to, że urządzenie po zeskanowaniu kraty nie miało możliwości korekty ścieżki przy realizacji ustalonego algorytmu do czasu ponownego zeskanowania kraty. Tworzyło to problemy wynikające z ruchu urobku na kracie podczas jej oczyszczania, co skutkowało pracą młota na pustych oczkach kraty lub pomijaniem brył. Problem ten podczas prób optyma-

lizacyjnych pozostał nierozwiązany i wpływa na pogorszenie wyników otrzymanych podczas prób.

Zamocowanie skanera pod kątem miało negatywny wpływ na wyniki oraz czasy oczyszczania. Nadgabaryty lub przyzmy urobku powodowały zasłonięcie kolejnego rzędu oczek kraty. Skaner interpretował takie zasłonięcie jako urobek w kolejnym rzędzie, co powodowało ruchy do pustych oczek kraty i wydłużenie czasu jej oczyszczenia. Problem ten podczas prób optymalizacyjnych pozostał nierozwiązany i wpływa na pogorszenie wyników otrzymanych podczas prób.

Skaner nie miał możliwości rozróżnienia ziarnistości urobku na kracie. Oznaczało to problemy z wyborem ścieżki algorytmu i z poprawnym przeprowadzeniem procesu oczyszczania – przegarnianie nadgabarytów i rozbijanie drobnego urobku. Częściowym rozwiązaniem problemu było wprowadzenie do algorytmu trybu „single”, podczas którego po wykonaniu skanu urządzenie rozpoczynało rozbijanie nadgabarytów w środku masy bryły w przeciwieństwie do wcześniejszego rozbijania w środku oczek kraty. Tryb „single” pomimo zapewnienia lepszego oczyszczenia kraty wydłuża czas pracy, co negatywnie przekłada się na wyniki pomiarów.

Tabela 4
Statystyki zebrane podczas prób testujących algorytm URB/ZS-3 w dniu 09.03.2018 r.

Statistics of testing performed on March 9, 2018	
Czas pracy URB [min]	58
Urobek dostarczony ładowarką łyżkową [Mg]	105
Urobek dostarczony wozem odstawczym [Mg]	0
Urobek dostarczony łącznie [Mg]	105
Przeładowany urobek do czasu pracy URB [Mg/min]	2
Liczba przepracowanych zmian [zmiana]	1
Średni przeładunek urobku na zmianę [Mg/zmiana]	105
Czas trwania zmiany [min]	240
Średni przeładunek urobku na minutę [Mg/min]	0,4
Średni czas trwania próby [min]	5,3
Liczba przeprowadzonych prób łącznie	11
Liczba przeprowadzonych prób pozytywnych	9
Stopień pozytywnych prób [%]	82
Średni czas trwania próby pozytywnej [min]	4,5

Znaczącym problemem zaobserwowanym podczas prób było wykonywanie jałowych ruchów oraz konieczność powrotu młota do ustalonego punktu w celu kolejnego zeskanowania urobku, co wydłużało czas pracy. Dokonano optymalizacji polegającej na skanowaniu kraty w miejscu postojowym młota bez konieczności zbędnych ruchów, co przełożyło się na zmniejszenie czasu oczyszczania kraty. Poprawiono aspekt poruszania się urządzenia po kracie w trakcie pracy. Dalsza poprawa parametrów wymaga kontynuowania testów z urobkiem.

Odnotowano również problemy z zasięgiem ramienia URB/ZS-3. Urządzenie miało trudności w rozbijaniu brył w ostatnim rzędzie oczek kraty – młot urządzenia używał udaru pod kątem w stosunku do bryły, co powodowało wydłużenie czasu pracy oraz częste zawieszenie algorytmu oczyszczającego. Zdecydowano się na zmniejszenie pola widzenia skanera przez zamaskowanie ostatniego rzędu oczek kraty. Spowodowało to znaczące polepszenie czasów pracy urządzenia.

W trakcie prowadzenia testów w dostarczonym urobku sporadycznie występowały elementy metalowe, stanowiące zagrożenie dla gumowej taśmy przenośnika. Podczas oczyszczania kraty z operatorem

jest on odpowiedzialny za kontrolę stanu urobku oraz ingerencję w niebezpiecznych przypadkach. W sytuacji oczyszczania automatycznego pojawienie się takich elementów wymusza ręczne wyłączenie awaryjne programu i ingerencję ludzką.

Testy optymalizacyjne wykazały również bardzo duże znaczenie konstrukcji przegubów wysięgnika i obrotnicy dla prawidłowej pracy układu sterującego. Stałe i niskie opory ruchu na przegubach i na obrotnicy znacząco ułatwiają ustalenie prawidłowych parametrów pracy oprogramowania sterującego. Stąd konieczność stosowania układu centralnego smarowania. Podczas testów stwierdzono jednak, że wartości obciążeń w pewnych punktach układu kinematycznego przekraczały bezpieczny poziom i dochodziło do nadmiernego zużycia łożysk, co skutkowało wzrostem oporów przemieszczania poszczególnych członów wysięgnika. Stąd konieczne było częste korygowanie parametrów identyfikujących urobek przyjętych w oprogramowaniu sterującym. Dlatego wydaje się celowe przeprojektowanie przegubów i obrotnicy w celu zwiększenia ich nośności i trwałości. Pozwoliłoby to, po zastosowaniu wydajniejszego zasilacza hydraulicznego, na zwiększenie prędkości przemieszczania młota, a tym samym na skrócenie czasu oczyszczania kraty.

6. PODSUMOWANIE

Testy optymalizacyjne prototypu urządzenia do rozbijania brył URB/ZS-3 miały na celu dostosowanie algorytmu sterującego oraz sprawdzenie urządzenia w warunkach dołowych kopalni KGHM Polska Miedź S.A. Optymalizacja prowadzona była z wykorzystaniem określonej metody prowadzonych prób, której nadrzędnym celem było zapewnić możliwie najkrótszy czas oczyszczenia kraty, do stanu umożliwiającego wysypanie kolejnej porcji urobku.

Podczas ośmiu zmian górniczych przeprowadzono 55 prób z urobkiem w warunkach kopalni Polkowice-Sieroszowice przy wykorzystaniu ładowarek łyżkowych LK3 LKP-0903 (50 prób) oraz wozów odstawczych WO CB4 (5 prób), z których 38% zakończyło się powodzeniem i oczyszczeniem kraty. Średnie czasy oczyszczenia wynosiły 4,8 min. Podczas zmiany w dniu 09.03.2018 r. przeprowadzono testy sprawdzające algorytm dla ładowarek łyżkowych. W wyniku pomiarów sprawdzających przeprowadzono 11 prób, z których 82% zakończyło się powodzeniem ze średnim czasem oczyszczania wynoszącym 4,5 min. Podczas pomiarów sprawdzających urządzenie rozbijało nadgabaryty oraz przegarniało urobek drobny w sposób zadowalający.

Algorytm czyszczący opiera się na uszeregowaniu w odpowiedniej kolejności podprogramów w trybach:

- dłutowania – rozbijania brył w środku oczek kraty,
- rozgarniania – przegarniania urobku na kracie,
- „single” – rozbijania brył w rozpoznanym przez skaner środku masy.

Ograniczono czasy trwania zbędnych ruchów jałowych podczas skanowania – skan kraty odbywa się w momencie przebywania urządzenia w punkcie startowym URB/ZS-3. Dalsze ulepszenie algorytmu powinno uwzględnić umożliwienie skanowania w czasie rzeczywistym, dzięki któremu urządzenie do rozbijania brył mogłoby reagować w zależności od bieżącego rozłożenia urobku na kracie.

Ponadto skan kraty powinien dostarczyć informację dotyczącą ziarnistości urobku na kracie. Urobek drobnoziarnisty wymaga wprowadzenia większej liczby ruchów przegarniających, natomiast urobek nadgabarytowy powinien być rozbijany uderzeniem młota hydraulicznego. Oprócz informacji dotyczącej charakteru urobku skan powinien informować operatora o niepożądanych elementach metalowych na kracie.

Próby z wozami odstawczymi były prowadzone przy niesprawnym urządzeniu URB/ZS-3. W wyniku awarii czujnika położenia tłocznika w siłowniku obrotu doszło do rozkalibrowania urządzenia. Usterka została spowodowana niewłaściwym doбором mocowania zabezpieczającego czujnik w gnieździe. Z uwagi na to, że URB/ZS-3 ma cztery siłowniki hydrauliczne wyposażone w czujniki przemieszczenia, istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia podobnych awarii w przyszłości.

Próby wykazały również, że celowe jest przeprojektowanie przegubów i obrotnicy wysięgnika URB, w celu zwiększenia ich nośności i trwałości.

Literatura

- [1] Krauze K., Rączka W., Sibiłak M., Konieczny J., Kubiak D., Culer H., Bajus D.: *Automated transfer point URB/ZS-3*, „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 2017, 2: 80–85.
- [2] Młynarczyk J., Sawicki M., Stefaniak P., Ziętkowski L.: *Wykonanie badań i analizy porównawczej dwóch systemów sterowania i obsługi krat wysypowych O/ZG Polkowice-Sieroszowice tj. obecnego z udziałem operatora oraz zdalnego (sterowanie 2 punktami) wraz z oceną wpływu zmiany sposobu sterowania na pracę całego układu przeladunkowego ETAP I-III*, KGHM Cuprum sp. z o.o., Wrocław 2011 [praca niepublikowana].

dr inż. LESZEK ZIĘTKOWSKI

dr inż. JANUSZ MŁYNARCZYK

mgr inż. WOJCIECH SOBOLEWSKI

KGHM CUPRUM

Centrum Badawczo-Rozwojowe

ul. gen. Władysława Sikorskiego 2–8,

53-659 Wrocław

{Lzietkowski, jmlynarczyk, wsobolewski}

@cuprum.wroc.pl