

Model optymalizacyjny odstawy urobku z robót przygotowawczych w kopalni „Lubin”

Mariusz Kościelny

Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wrocław
mariusz.koscielny@pwr.edu.pl

Streszczenie

W Zakładach Górniczych „Lubin” urobek transportowany jest z przodków do podszybia z wykorzystaniem środków transportu oponowego, szynowego oraz taśmowego. Przedstawione środki dobierane są indywidualnie na różnych etapach i w różnej skali. Stosowany sposób odstawy został zaprojektowany do wykorzystania go z systemem eksploatacji komorowo-filarowym. Zgodnie z nim transport oddziałowy jest zawsze realizowany za pomocą samojezdnych maszyn górniczych o podwoziu oponowym. Transport rudy urobku jest pierwszym procesem, determinującym efekt całego systemu, na który składa się wiele zmiennych. Ich poprawne dobranie pozwoli przeprojektować cały system tak, aby osiągnąć jego maksymalną wydajność przy minimalizacji poniesionych kosztów. W niniejszym artykule przedstawiono model optymalizacji odstawy urobku w kopalni „Lubin”. Problem optymalizacji został przeprowadzony na przykładzie dwóch oddziałów górniczych – G-2 i G-5. Efektem przeprowadzonych badań jest przedstawienie propozycji wdrożenia rozwiązań, mających na celu poprawę czasu odstawy rudy z przodka do punktu wysypowego, tym samym poprawiając wynik finansowy całego przedsięwzięcia. Model optymalizacji porusza problematykę odstawy, z wykorzystaniem zarówno ładowarki kołowej współpracującej z dwoma wozami odstawczymi, jak i określenie najdłuższej drogi odstawy urobku, przy której odstawa z wykorzystaniem jedynie ładowarki LK2 jest jeszcze efektywna.

Słowa kluczowe: model optymalizacyjny, transport oponowy, O/ZG „Lubin”, odstawa urobku

Optimization model of ore haulage from the development works in “Lubin” mine

Abstract

In “Lubin” mine, mined rock is transported from face to the shaft bottom by means of tire, rail and conveyor belt transportation. Presented means of transportation are chosen individually on different stages and on different scale. Applied method of haulage was designed to be used with the room and pillar mining system. According to this system, district transportation is always achieved with self-driving mining machinery with tire-chassis. Transportation of mined rock ore is the first process that determines the effect of the whole system, which consists of many variables. Proper selection of these variables will enable redesigning of the whole system, so that the maximum performance together with minimizing the costs will be achieved. In this paper optimization model of the haulage of mined rock in “Lubin” mine is presented. The optimization problem was carried out on the example of two mining districts: G-2 and G-5. The effect of conducted tests is the presentation of the proposal to implement solutions aimed at improving the time of the haulage of the ore from the face to the dumping point, thereby improving the financial result of the entire project. Optimization model brings up the issue of both, haulage by wheeled loader cooperating with two hauling cars, as well as, determining the longest route of the haulage of mined rock, at which haulage just by LK2 loader is still effective.

Key words: optimization model, transportation tire, “Lubin” mine, ore haulage

Wstęp

Globalna firma w sektorze wydobywczym, jaką jest KGHM Polska Miedź S.A., ze względu na występujące warunki silnej, światowej konkurencji rynkowej, wzrastających wymagań jakościowych oraz minimalizację kosztów wytwarzania, wymaga ciągłej optymalizacji systemów technologicznych. Odbywa się to poprzez wdrażanie szeregu różnych rozwiązań, które poprawiają ogólną efektywność przedsiębiorstwa. Poprawne zaprojektowanie lub modernizacja procesów i poszczególnych prac, w celu uzyskania oczekiwanych efektów, w tym wymiernych, związanych z ekonomią i wydajnością, niejednokrotnie wymaga dokonania szczegółowych analiz, przeprowadzenia zadań optymalizacyjnych, a także badań symulacyjnych [8].

Konieczność skrócenia czasu eksploatacji oraz uzyskanie najlepszych efektów ekonomicznych powoduje, że kopalnia musi podejmować rozmaite działania w zakresie optymalizacji projektowania z zastosowaniem technologii informatycznych, poprzez opracowywanie np. modeli symulacyjnych [2, 7].

Autor poprzez optymalizację rozumie wybór najlepszego rozwiązania ze względu na wybrane kryteria (analizowany przedział czasu, lokalizację analizowanych dróg, a także parametry transportu) przy ustalonych ograniczeniach. Rachunek optymalizacyjny powinien uwzględniać maksymalizację efektów z dostępnych środków i minimalizację nakładów przy założonym efekcie. Jednocześnie kreuje się tym samym przesłanie, że niezbędna jest optymalizacja poszczególnych procesów w oddziale wydobywczym, w tym procesie odstawy urobku, poprzez regulację parametrów poszczególnych operacji, charakteryzujących m.in. prace przygotowawcze [4, 5, 10, 1].

W niniejszym artykule przedstawiono model optymalizacyjny procesu odstawy urobku w robotach przygotowawczych. Podjęta próba rozwiązania problemu optymalizacji, jednego z najważniejszych zadań transportowych, została przeprowadzona na przykładzie dwóch oddziałów górniczych – G-2 i G-5 w polach eksploatacyjnych XIII i XV kopalni „Lubin”. Efektem przeprowadzonych obliczeń jest przedstawienie propozycji wdrożenia rozwiązań, mających na celu zmniejszenie nakładów finansowych oraz poprawy czasu odstawy rudy do punktów wysypowych.

1. Transport oponowy w procesie odstawy urobku

System transportu oponowego zalicza się do transportu cyklicznego. Niesie to za sobą wiele wyzwań logistycznych. Prace należy w zorganizowany sposób zaplanować, m.in. wielkość wydobycia na kilku oddziałach, zaprojektować całą infrastrukturę, w tym drogi, po których poruszają się wozy. Pomimo że rozwiązanie to wymaga od przedsiębiorcy ponoszenia znacznych środków finansowych, jest to jedyny, racjonalny sposób odstawy urobku z przodka na punkt wysypowy. Maszyny przeznaczone do tego zadania muszą pracować w znacznie cięższych warunkach niż np. przenośniki taśmowe realizujące transport główny.

W oddziałach górniczych KGHM Polska Miedź S.A. załadunek rudy jest realizowany z użyciem ładowarek o symbolu ŁK-2 (pojemność łyżki 2,5-4 m³) oraz ŁK-3 (pojemność łyżki 4-7 m³), odstawa rudy prowadzona jest z użyciem wozów odstawczych (WO), jednocześnie współpracujących z ładowarkami. W przypadku gdy zostaje spełniony warunek ekonomiczny, przy krótkich drogach odstawy, to proces załadunku i odstawy jest realizowany z użyciem ładowarek (najczęściej są to ŁK-4 TORO o pojemności łyżki powyżej 7 m³) dostarczających urobek samodzielnie do oddziałowych punktów wysypowych [3].

W kopalni „Lubin” w 2013 r. dostawa urobku była realizowana za pomocą ładowarki kołowej LKP-0805, która ładowała urobek na przodku, a następnie transportowała go do punktu przesypowego, w którym przeładowywała go na wóz odstawczy. Pełny wóz odstawczy transportował urobek do punktu wysypowego, tzw. kraty. Jednocześnie w tym samym czasie na punkt przesypowy podjeżdżał drugi wóz odstawczy. Ta sama ładowarka rozpoczyna proces wypełniania jego skrzyni. Tak więc na analizowanych oddziałach następowała współpraca jednej ładowarki z dwoma wozami odstawczymi typu CB4PCK. W tabeli 1 przedstawiono wybrane, teoretyczne, wartości parametrów pracy maszyn, przy ich wzajemnej współpracy.

Tabela 1. Wybrane teoretyczne wartości parametrów pracy maszyn, przy założeniu ich wzajemnej współpracy

Parametry pracy maszyn	ŁK-2	WO
Efektywny czas pracy na zmianę, min	210	210
Sumaryczny czas załadunku, min	0,5	1,5
Sumaryczny czas rozładunku, min	0,5	1,5
Czas załadunku, min	0,5	1,5
Czas rozładunku, min	0,5	1,5
Ładowność, Mg	4,6	13,8
Prędkość jazdy z urobkiem, km/h	5	7,2
Prędkość jazdy bez urobku, km/h	7,2	9,5
Liczba cykli na wóz	3	-

2. Główne cele budowy modelu optymalizacyjnego

Transport urobku ma znaczący wpływ na wynik ekonomiczny całego przedsiębiorstwa. Poprawne zaprojektowanie procesu odstawy urobku będzie skutkowało lepszym wynikiem finansowym. Wyznaczenie tego systemu sprowadza się do wyszukania najbardziej optymalnego rozwiązania.

Model zoptymalizowany ma za zadanie spełnić dwa założone cele:

- **Wyznaczyć najefektywniejszą drogę odstawy urobku przez ładowarkę kopalnianą przy systemie współpracujących maszyn**

Model ten ma za zadanie przedstawić wzorcową wydajność współpracujących maszyn (operatorzy maszyn wzajemnie na siebie nie czekają) w odniesieniu do uśrednionych, rzeczywistych parametrów pracy maszyn, występujących na oddziale G-2 i G-5 w kopalni „Lubin”. Poprzez wyrażenie „wzorcową wydajność” rozumie się taką wielkość transportowanego urobku, przy której zostałoby spełnione następujące założenie. Ładowarka kołowa LKP-0805C ładuje urobek na przodku. Następnie transportuje go do punktu przesypowego, w którym przeładowuje go na wóz odstawczy. Pełny wóz odstawczy transportuje urobek do punktu wysypowego. Jedno-

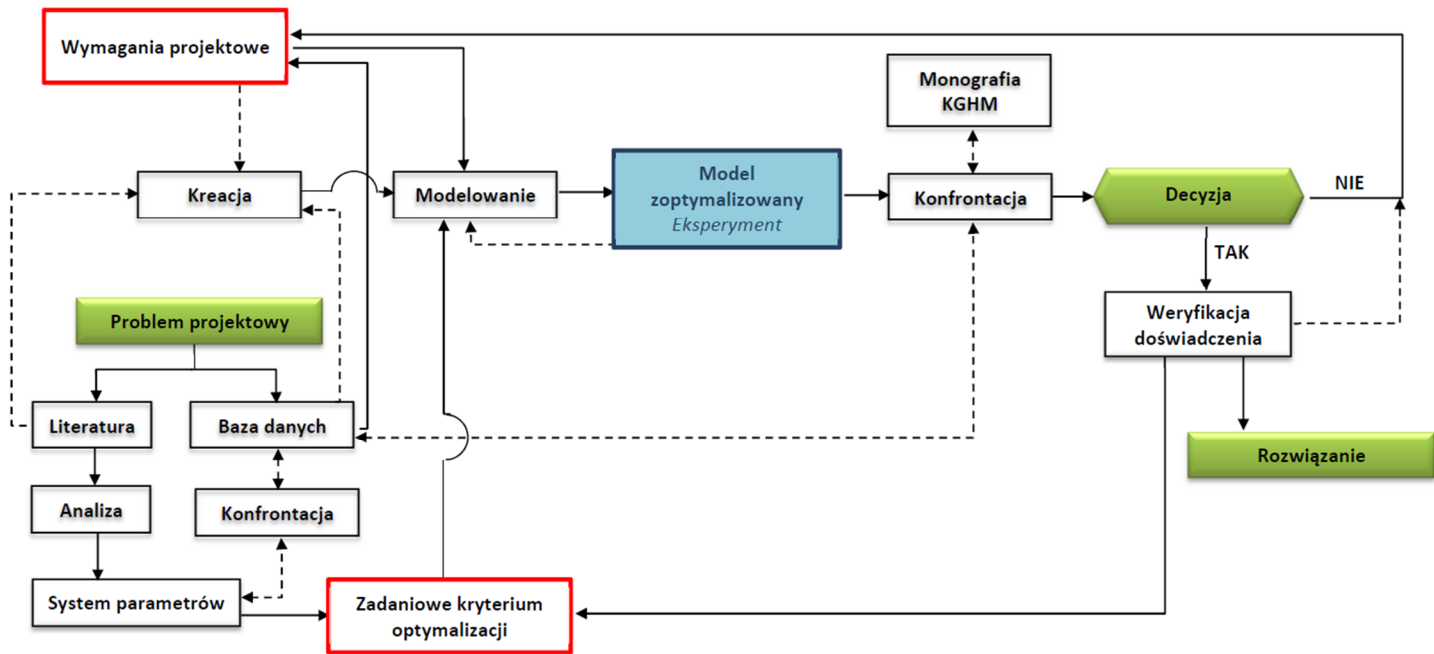
cznie w tym samym czasie na punkt przesypowy podjeżdża drugi wóz odstawczy. Ta sama ładowarka rozpoczyna proces wypełniania jego skrzyni. Operatorzy współpracujących maszyn nie czekają wzajemnie na siebie. Ich praca jest realizowana bez przerwy, w czasie efektywnym. Wyrażenie to można zrozumieć także w inny sposób. Wzorcowa, a więc najekonomiczniejsza. A więc wyznaczenie takiej wydajności, przy której maszyna transportująca urobek na daną odległość nie będzie generowała strat.

Obie przytoczone definicje – najefektywniejsza oraz najekonomiczniejsza – są ze sobą pośrednio powiązane. Pomiędzy wydajnością a kosztami generowanymi przez maszynę podczas odstawy rudy miedzi istnieje ścisła zależność. Największej wydajności odpowiadają najniższe koszty jednostkowe, które wzrastają do pokonywanej długości drogi odstawy [6].

Proces opisany powyżej ilustruje idealną współpracę operatorów maszyn. Należy jednak rozpatrzyć inny sposób odstawy urobku. Mianowicie ładowarka po skończonym procesie ładowania wozu odstawczego kieruje się do przodka. Tam ładuje kolejną łyżkę urobku i powraca na punkt przesypowy, w którym powinien już być wóz odstawczy. Jednak jeżeli czas transportu wozu odstawczego jest dłuższy niż czas procesu ładowania, to w tym punkcie wozu odstawczego nie będzie. Ładowarka czeka na wóz, generuje to dodatkową zwłokę czasową. W efekcie spada wydajność omawianego systemu współpracy. Sytuacja jest identyczna, gdy czas odstawy urobku, z wykorzystaniem wozu, jest krótszy od czasu pełnego załadunku drugiego wozu odstawczego. Wóz odstawczy podjeżdża pod punkt przesypowy i czeka w kolejce do ładowania. Tak więc cel ten zakłada wyznaczenie takiej odległości, przy której żadna z maszyn nie generowałaby zwłoki czasowej. Powstałby dzięki temu wyidealizowany system, w którym wozy podjeżdżałyby do punktu przesypowego dokładnie w tym samym momencie, w którym ładowarka napelniałaby poprzedni wóz.

Wyznaczenie takiej odległości opiera się na utworzeniu takiego modelu, przy którym żadna z maszyn (ładowarka i wóz odstawczy) nie czekałaby na drugą. Założono także, że model ma być odniesiony do warunków, które rzeczywiście panują w kopalni. Tak więc możemy wyróżnić następujące cechy takiego zadania optymalizacyjnego:

- Funkcja celu – wyeliminowanie czekania ładowarki na wóz. Wyeliminowanie ustawiania się wozów w kolejce;
- Parametry zmienne – długość drogi odstawy urobku od przodka do punktu przesypowego, długość drogi odstawy urobku od punktu przesypowego do punktu wysypowego;
- Warunki ograniczające – warunkiem ograniczającym będą wartości parametrów odniesione do rzeczywistych warunków pracy maszyn w kopalni:
 - prędkość jazdy wozu z urobkiem,
 - prędkość jazdy wozu bez urobku,
 - prędkość jazdy ładowarki z urobkiem,
 - prędkość jazdy ładowarki bez urobku,
 - ładowność wozu odstawczego,
 - ładowność ładowarki,
 - czas załadunku w przodku za pomocą ładowarki,
 - czas wyładunku w punkcie przesypowym,
 - czas wyładunku wozu na punkcie przesypowym,
 - rzeczywisty, efektywny czas pracy operatora ładowarki,
 - rzeczywisty, efektywny czas pracy operatora wozu.



Rys. 1. Schemat ideowy powstawania modelu zoptymalizowanego wydajności systemu

Tworzenie modelu zaczyna się od opisanego powyżej (rys. 1) problemu projektowego. Jest nim idealny system współpracujących maszyn, odniesiony do rzeczywistych parametrów występujących na dole w kopalni. Za pomocą literatury wyodrębniono teoretyczne parametry pracy maszyn (tabela 1). Dały one podstawę do zdefiniowania wartości przybliżonej rozpatrywanych parametrów – „rzeczywistych” (określonych jako warunki ograniczające). Baza danych pozwoliła skonfrontować, czy wartości te są prawidłowe. Tak więc kreacja takiego modelu wynika z parametrów występujących na dole w kopalni i tym samym baza danych definiuje podstawowe (opisane powyżej) wymagania projektowe. Modelowanie sprowadza się do sprawdzenia, czy utworzony model spełnia (opisane powyżej) założenia. Eksperymentalnie utworzony model musi zostać sprawdzony. W tym celu jest on przyrównany do wydajności maszyn, zaczerpniętej z monografii KGHM [9], oraz wydajności maszyn, które pracowały na oddziale G-2 i G-5. Następnie należy podjąć decyzję, czy charakterystyki te są zbliżone. Stwierdzenie odpowiedzi pozytywnej prowadzi do finalnej weryfikacji, mianowicie czy utworzony model spełnia zadaniowe kryterium optymalizacji. Jest nim funkcja celu opisana powyżej.

- **Określić najdłuższą drogę odstawy urobku, przy której odstawa z wykorzystaniem łądownarki ŁK-2 jest jeszcze efektywna**

Głównym celem ma być wyznaczenie najefektywniejszej długości drogi. A więc takiej odległości od przodka do punktu wysypowego, przy której transport odstawy, z wykorzystaniem łądownarki kołowej o oznaczeniu producenta LKP-0805, pracującej na oddziałach G-2 i G-5, jest efektywniejszy niż przy wykorzystaniu łądownarki LKP-0805, współpracującej z dwoma wozami odstawczymi CB4PCK. Poprzez określenie „efektywniejszy” rozumie się większą wydajność, a więc większą ilość transportowanej rudy podczas jednej zmiany roboczej.

3. Model optymalizacyjny odstawy urobku

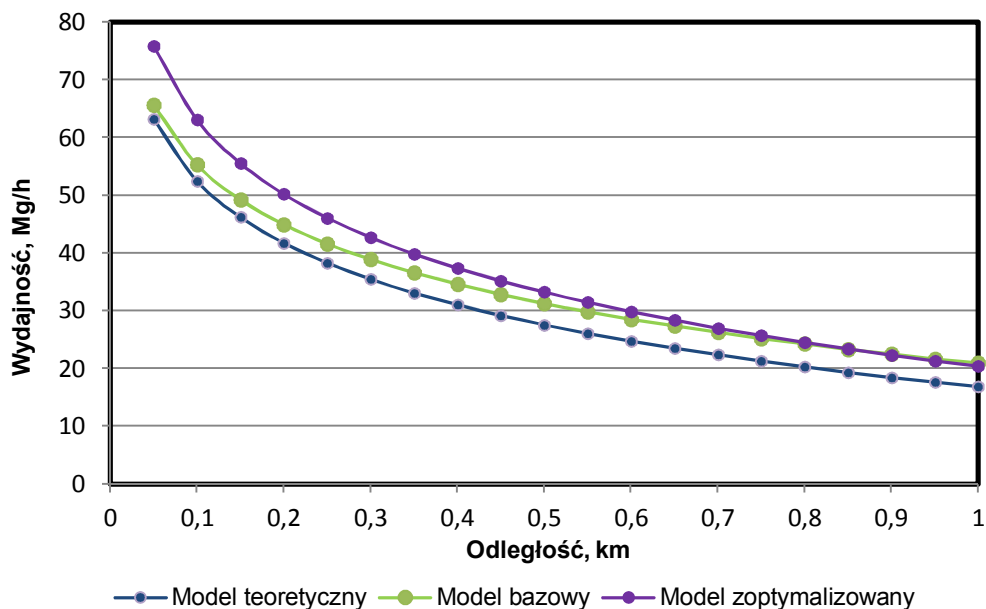
Omawiany model optymalizacyjny ma bazować na rzeczywistych wartościach parametrów pracy maszyn. Wartości te zostały przedstawione w tabeli 2 i wynikają z szeregu obliczeń [4], które zostały przeprowadzone w oparciu o zdefiniowanie następujących warunków odniesionych do wcześniej opisywanego procesu odstawy urobku.

- Warunek I – założono, że ilość rudy transportowanej za pomocą łądownarki jest równa ilości rudy transportowanej przy pomocy wozu odstawczego.
- Warunek II – na jeden pełny kurs wozu odstawczego składają się dokładnie trzy cykle łądownarki łyżkowej.
- Warunek III – średni czas zmiany operatora zarówno dla operatora łądownarki, jak i wozu odstawczego jest jednakowy. Efektywny czas pracy współpracujących maszyn jest również sobie równy.
- Warunek IV – rzeczywiste parametry pracy maszyn muszą być zbliżone do wartości teoretycznych, zaczerpniętych z literatury.

Tabela 2. Wybrane rzeczywiste wartości parametrów pracy maszyn, przy założeniu ich wzajemnej współpracy

Parametry pracy maszyn	ŁK2 LKP-0805C		WO CB4PCK	
	Wartość teoretyczna	Wartość zoptymalizowana	Wartość teoretyczna	Wartość zoptymalizowana
Ładowność, Mg	4,6	4,6204	13,8	13,7383
Średni czas zmiany, h	-	6,98	-	6,98
Średni czas efektywny, h	3,5	3,87	3,5	3,87
Prędkość jazdy z urobkiem, km/h	5	5,05	7,2	9
Prędkość jazdy bez urobku, km/h	7	7,08	9,5	11

Na rys 2. przedstawiono wydajność godzinową opracowanego modelu zoptymalizowanego, przyrównanego do „modelu teoretycznego” i „modelu bazowego”. Należy tutaj zaznaczyć, że „model teoretyczny” został opracowany na podstawie parametrów zaczerpniętych z literatury (szczegółowo przedstawionych w tabeli 1). „Model bazowy” odnosi się bezpośrednio do uśrednionych parametrów pracy maszyn zarejestrowanych na oddziałach górniczych G-2 i G-5. Przedstawiona charakterystyka ilustruje, że dla zwiększającej się długości drogi odstawy praca maszyn jest zbliżona do modelu opracowanego na wartościach rzeczywistych – „zoptymalizowanych”.



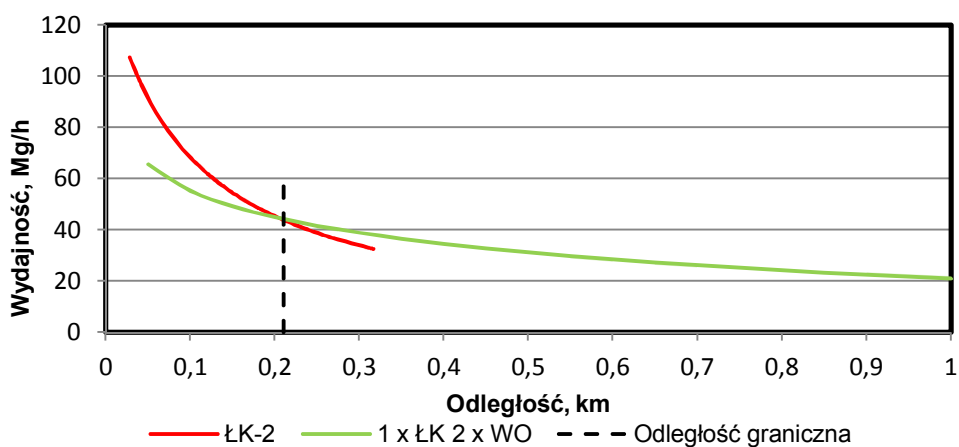
Rys. 2. Wydajność godzinowa opracowanych modeli

Drugi cel, który ma zostać spełniony przy opracowaniu modelu optymalizacji, odnosi się do wyznaczenia maksymalnej odległości, przy której transport ŁK2 jest efektywniejszy niż w przypadku współpracujących maszyn. Wyznaczenie tej odległości sprowadza się do przyrównywania dwóch charakterystyk. Pierwsza z nich odnosi się do wydajności systemu przy założeniu współpracujących maszyn. Druga charakteryzuje wydajność odstawy urobku z wykorzystaniem tylko ŁK2. W tabeli 3 przedstawiono teoretyczne, wartości parametrów pracy ładowarki, która samodzielnie odstawia urobek do punktu wysypowego. Na podstawie tych wartości utworzono charakterystyki wydajności ładowarki dla wartości bazowych, teoretycznych i rzeczywistych.

Tabela 3. Teoretyczne, wybrane, wartości parametrów pracy ŁK2 przy samodzielnej odstawie urobku do punktu przesypowego

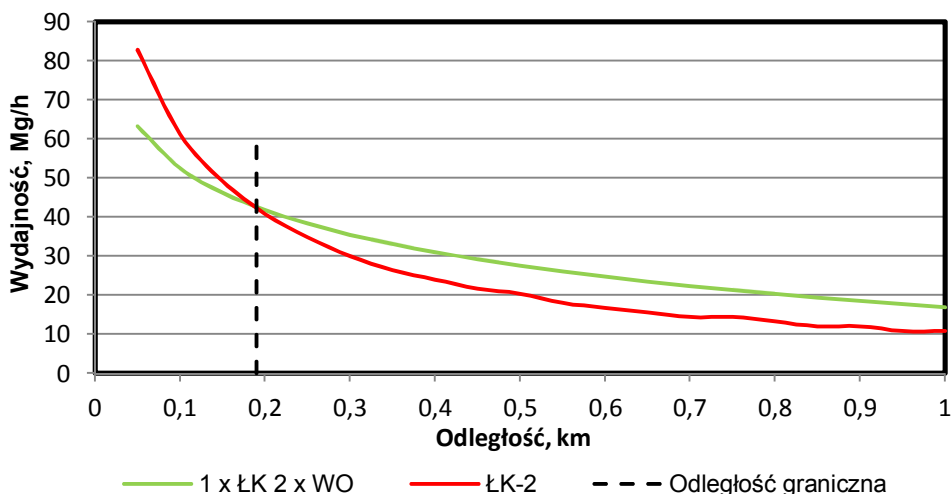
Maszyna	ŁK-2
Efektywny czas pracy na zmianę, min	210
Sumaryczny czas załadunku, min	0,5
Sumaryczny czas rozładunku, min	1,5
Czas załadunku, min	0,5
Czas rozładunku, min	1,5
Ładowność, Mg	4,6
Prędkość jazdy z urobkiem, km/h	5
Prędkość jazdy bez urobku, km/h	7,2
Liczba cykli wchodząca w skład jeden wóz	3

Na rys. 3. zilustrowano porównanie wydajności obu systemów. Charakterystyki te zostały opracowane na podstawie wartości „bazowych”, a więc parametrów pracy maszyn, które zostały zarejestrowane na oddziale G-2 i G-5. Odczytany punkt przecięcia oznacza maksymalną odległość, przy której transport ŁK2 jest jeszcze opłacalny, i wynosi 210 m.



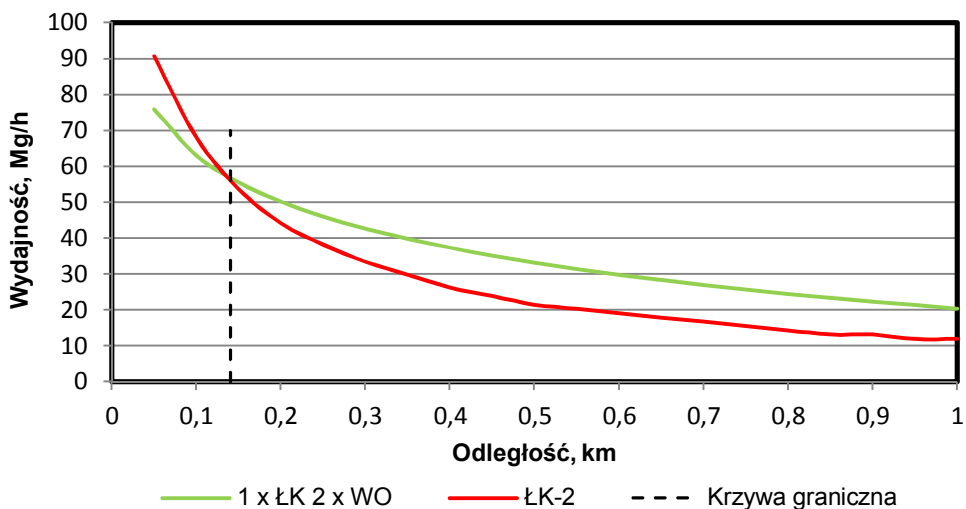
Rys. 3. Przyrównanie wydajności obu systemów, wartości „bazowe”

Dla charakterystyk opracowanych na podstawie wartości teoretycznych (rys. 4) odległość wynosi 190 m.



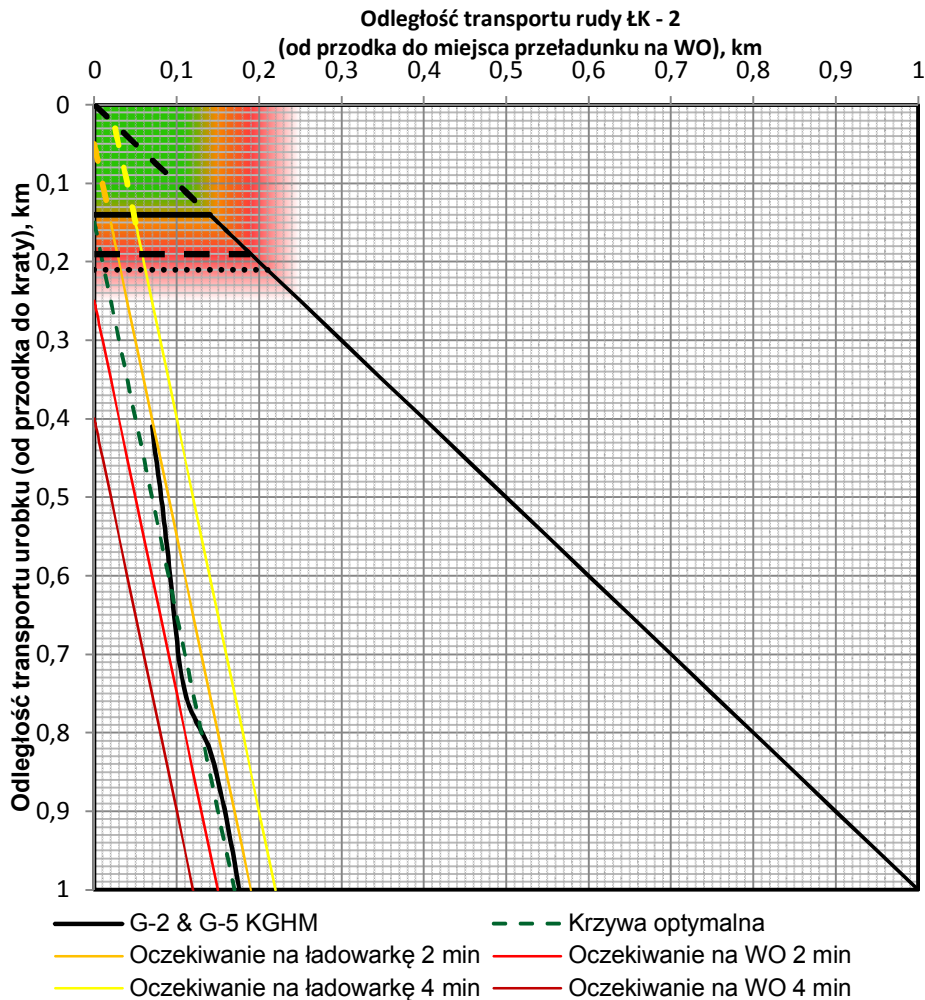
Rys. 4. Przystawienie wydajności obu systemów, wartości „teoretyczne”

Charakterystyki utworzone na podstawie wartości rzeczywistych „zoptimalizowanych” zostały przedstawione na rys. 5. Odczytana odległość graniczna na nich wynosi 140 m.



Rys. 5. Przystawienie wydajności obu systemów, wartości „rzeczywiste”

Opracowany model bazowy (cel 1) oraz wyznaczenie efektywności odstawy urobku z użyciem samej maszyny LK2 (cel 2) zostały przedstawione na rys. 6.



Rys. 6. Długość drogi ŁK (od przodka do miejsca przesypu) w odniesieniu do długości drogi ŁK + WO (od przodka do kraty) dla modelu optymalizacyjnego

Przeprowadzona analiza maksymalnej odległości, przy której transport rudy z wykorzystaniem LK2 jest jeszcze opłacalny, wykazała, że dla zbudowanego modelu na podstawie danych bazowych wynosi 210 m i wartość ta jest zbliżona do wyniku uzyskanego na podstawie parametrów „teoretycznych”. Uzyskany wynik z wartości „rzeczywistych” to 140 m, co jest wartością znacznie niższą. Jest to związane z faktem, że wartości te są przyjęte jako „wzorcowe” i tym samym wydajność współpracujących maszyn jest osiągnięta szybciej. W związku z tym ustalono, że dla odległości 140 m transport rudy z użyciem LK2 będzie najefektywniejszy, zwiększenie tej odległości do wartości 210 m będzie już na granicy optymalności. Przy odległości większej niż 210 m efektywniejszy okaże się transport z użyciem systemu współpracujących maszyn. Należy jednak zaznaczyć, że w pracy nie badano maksymalnej odległości, przy której transport ŁK2 będzie opłacalny. Wynik pracy jest skupiony na

wyznaczeniu odległości najefektywniejszej. Nanosząc na powstały wykres, wartości uzyskane w oparciu o badania przeprowadzone na oddziałach G-2 i G-5 otrzymamy krzywą, która ilustruje nam pracę maszyn. Określona w legendzie jako „G-2 & G-5 KGHM”, krzywa świadczy o tym, że pracę na tych oddziałach były planowane w taki sposób, aby osiągnąć efektywny wynik. Zależność ta została także przedstawiona na rys. 2, na którym charakterystyka krzywej bazowej, w miarę zwiększania odległości odstawy urobku, zbliża się do krzywej ilustrującej model optymalizacji. Krzywa optymalna pozwala dobrać (dla założonej długości drogi odstawy od przodka do punktu wysypowego – oś Y) optymalną odległość (od przodka do punktu przesypowego – oś X), aby współpracujące ze sobą maszyny osiągnęły najefektywniejszy wynik. Na rys. 6. zostały także zawarte cztery krzywe „czasowe”, określone w legendzie jako:

- oczekiwanie na ładowarkę 2 min, 4 min,
- oczekiwanie na WO (wóz odstawczy) 2 min, 4 min.

Na ich podstawie możemy wyznaczyć, jaka zwłoka czasowa będzie generowana każdorazowo przy realizowaniu cyklu ładowarki lub kursu wozu odstawczego, jeżeli punkt przesypowy zostanie zlokalizowany na krzywej czasowej.

Podsumowanie i wnioski

Niniejszy artykuł pokazuje model optymalizacji transportu urobku z robót przygotowawczych. Idea bazowa modelu polegała na tym, aby odnosił się on do rzeczywistych, uśrednionych (w analizowanym okresie), parametrów pracy maszyn. Wykazano, że wartości te różniły się od swych teoretycznych (zaczepniętych z literatury) odpowiedników. Ponadto zbudowanie modelu wymagało zdefiniowania następujących warunków:

- ilość transportowanego urobku za pomocą wozów odstawczych i ładowarek musi być jednakowa,
- na jeden pełny kurs wozu odstawczego składają się dokładnie trzy cykle ładowarki łyżkowej,
- średni (dla całego analizowanego okresu) czas zmiany operatora maszyn (LK i WO) jest jednakowy.

Na podstawie uzyskanych wyników została sporządzona optymalna krzywa odległości, która pozwala tak dobrać odległość punktu przesypowego względem punktu wysypowego, aby współpracujące ze sobą maszyny osiągały najefektywniejszy wynik pracy. Kolejną ważną cechą wyznaczonego modelu jest informacja, do jakiej odległości transport z użyciem maszyny LK2 – LKP0805C będzie efektywniejszy niż przy systemie współpracujących maszyn, uzyskany wynik to 210 m. Należy zauważyć, że dla okresu wykonywanych badań (2013 r.) prace na oddziałach G-2 i G-5 kopalni „Lubin” były planowane i realizowane w taki sposób, aby osiągnąć jak największą wydajność finalną procesu odstawy urobku z przodka do punktu wysypowego, tzw. kraty.

Bibliografia

- [1] Grega W., 2006, Metody optymalizacji, Wykłady AGH, Kraków.
- [2] Janion A., 1971, Maszyny i urządzenia górnicze, część II, wyd. Śląsk, Katowice.
- [3] KGHM Projekt zagospodarowania złoża 2011-2013.
- [4] Kościelny M., 2015, Praca magisterska: Analiza i optymalizacja transportu oponowego w kopalni Lubin, Wrocław, (niepublikowana).
- [5] Kowalski A., Kubiak D. i in., 2014, Model symulacyjny odstawy urobku z robót przygotowawczych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. Wiadomości Górnicze, nr 10, s. 542.
- [6] Król R., 2001, Wpływ długości drogi i wysokości wyrobiska na efektywność odstawy rudy miedzi ładownikami łyżkowymi, Transport Przemysłowy nr 1, s. 60-62.
- [7] Law A., 2007, Simulation Modeling and Analysis, 4th ed., McGraw-Hill.
- [8] Lonkowic P., 2008, Linie produkcyjne – nowoczesne systemy produkcji, Design News Polska, nr 5, s. 54-58.
- [9] Monografia KGHM Polska Miedź S.A., 2007, Lubin.
- [10] Reszka L., 2012, Koniunkcja logistyki i optymalizacji, Acta Universitatis Nicolai Copernici, zeszyt 407.