

*metody pracy kruszywa łamane, żwirowe,
regiony surowcowe, podaż, popyt*

Rafał CHULIST*
Marek STRYSZEWSKI**

METODA OCENY ILOŚCIOWEJ PRACY CIĄGÓW TECHNOLOGICZNYCH SUROWCÓW SKALNYCH

Pozyskiwanie kopalin odbywa się układami technologicznymi urabianie-transport-przeróbka (obróbka). Przedstawiono metodę porównania pracy układu stacjonarnego i mobilnego. Podano też sposób obliczenia prawdopodobieństwa pracy układów zależnie od rodzajów połączeń. Elementy układów mogą być połączone: szeregowo, równolegle i w sposób mieszany, co w zasadniczo wpływa na stabilną na ich pracę. Każdy element został oceniony przez prawdopodobieństwo pracy, co pozwoliło na wyznaczenie prawdopodobieństwa pracy całego układu, zależnie od sposobu połączeń i cząstkowych prawdopodobieństw elementów układu technologicznego. Umożliwia to prognozowanie wydajności tych układów w odniesieniu do ich potencjalnej wydajności.

1. FUNKCJE UKŁADU TECHNOLOGICZNEGO

Przez układ technologiczny kopalni odkrywkowej rozumie się zbiór urządzeń celowo dobranych i funkcjonalnie połączonych dla prowadzenia procesu eksploatacyjnego w warunkach złożowych i organizacyjnych. Elementami składowymi układu mogą być operacje: urabiania, transportu, kruszenia, przesiewania, odwadniania, wzbogacania. Układy technologiczne są różne; od najprostszyc, aż po produkujących różnorakie frakcje kruszyw. Zależy to równocześnie od kilku czynników: popytu, zastosowań i rodzaju kopaliny, wielkości zasobów.

W przypadku kopalin pospolitych, jakimi są kruszywa łamane i piaskowo-żwirowe regułą jest zaspokajanie popytu w pierwszej kolejności w najbliższej okolicy. Stąd też największa liczba kopalń ma małe wydobywanie, zaspokajając popyt najbliższej odległości. Układy technologiczne są tu proste i sprowadzają się do pojedynczych operacji

* Metso Minerals (Poland) Sp zo.o, rafal.chulist@metso.com

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Górnictwa Odkrywkowego, mstrysz@agh.edu.pl

kruszeniu, bądź przesiewania. Kopalnie większe mają z reguły układ rozbudowany zaspokajając popyt na różnorodne frakcje. Najprostszym układem jest sama ładowarka, która urabia złoże i przewozi urobek na niewielką odległość do budowy lokalnej drogi, domu, wymiany gruntu itd. Zastosowanie kruszyw jest w różnorodnych formach budownictwa mieszkalnego i drogowego, zarówno w małych ilościach, w budownictwie lokalnym, jak i w większych inwestycjach. Powszechność zastosowań i ciągłość popytu na kruszywa sprawiają, że pozyskiwane są tam, gdzie istnieje najmniejszy, nawet chwilowy popyt. Zdecydowanie największa liczba kopalń produkujących kruszywa jest mała (około 70% kopalń produkuje rocznie kilkanaście tys. ton). Kopalnie większe z reguły zaspokajają popyt w odległościach większych i mają też rozbudowane układy technologiczne, dostosowane do ilości i jakościowo do odbiorców.

2. KRYTERIA OCENY UKŁADÓW TECHNOLOGICZNYCH

Układ technologiczny jest stałym elementem pracy kopalni przy zmiennych uwarunkowaniach geologicznych złoża, na które składają się: ciągłości złoża, jednorodności kopaliny i zmienności w kierunku.

Ciągłość złoża jest rozumiana jako istnienie złoża, lub jakiejś jego cechy, w każdym punkcie złoża (brak przerw w złożu, lub jego cechy). Przykładem ciągłości złoża jest złoże pokładowe, a braku ciągłości złoże gniazdowe, rozszczepione, szczelinowe.

Jednorodność złoża rozumiana jest jako stałość parametrów geometrycznych, lub właściwości je charakteryzujące. Są to parametry kwalifikujące kopalinę do konkretnego wykorzystania. Dla złoża z przeznaczeniem jako drogowe będzie to wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość, mrozoodporność, ścieralność, odporność na szok termiczny. Stąd celowe jest określenie kryteriów oceny ilościowej pracy układów w formie:

porównania pracy układów technologicznych dla podjęcia właściwej decyzji związanej z wyborem któregoś z nich, modernizacją itd., lub złoże może być ciągle w tym sensie, że wszędzie jest i równocześnie niejednorodne ze względu na wszystkie, bądź niektóre parametry. Są to złoże, które w różnych swych częściach posiadają różniące się istotnie własności.

Zmienność złoża w kierunku jest ważną cechą, która pozwala tak dostosować sposób eksploatacji do jego zmienności, by zapewnić minimalne wahania właściwości urobku. Prowadzi to do konieczności dostosowania pracy układu technologicznego do zmienności górotworu z kierunku eksploatacji złoża.

Wymienione cechy w sposób zasadniczy wpływają na stabilność pracy układów¹. Zdecydowana większość eksploatowanych złóż jest zmienna i wymaga eksploatacji

¹ Wpływ na pracę układów technologicznych ma też organizacja pracy, innowacyjność technologii, czynnik ludzki, właściwy dobór elementów układu do siebie. Elementy te nie będą tu rozpatrywane.

selektywnej, a więc ustawicznego dostosowania pracy układów technologicznych do zmieniających się warunków. Różnorodne warunki pracy sprawiają, że na wydajność układów technologicznych ma wpływ wiele czynników powodujących zakłócenia pracy układów. Ocenę prawdopodobieństwa pracy istniejącego układu określającą potencjalne możliwości osiągnięcia zadanej wydajności, co może to służyć planowaniu produkcji. Przedmiotem porównania są dwa układy technologiczne: stacjonarny i mobilny².

Cechy układu stacjonarnego. Zakład przeróbczy dobrze rozbudowany z możliwością uzyskania różnych frakcji produktów z przy zmieniających się wymaganiach odbiorców, stała lokalizacja zakładu przeróbczego, koparka przesuwana za złożem. Przy przesuwanie się frontów eksploatacyjnych zwiększa się odległość transportu między środkami urabiania, a zakładem przeróbczym. Dla zachowania stałej relacji między wydajnością urabiania i transportu konieczne jest zwiększanie liczby samochodów.

Cechy układu mobilnego. Największą zaletą układów mobilnych jest operatywność i wysokie wykorzystanie złoża. Decyduje o tym mała pojemność łyżki koparki, skutkująca dokładnym wybieraniem złoża. Niewielka wydajność (zwykle do 300 t/h). Jest to jednocześnie związane ze zwiększoną zdolnością selektywnego wybierania urobku po odstrzale, co zwiększa pozyskanie złoża i zmniejsza ilości mas płonnych zwyczajowo wożonych do zakładu przeróbczego i wydzielanie ich w procesie przeróbki. Niezależnie od tego zakłady mobilne mogą samodzielnie pracować na składowisku odpadów odzyskując frakcje użyteczne.

Elementy układów będących przedmiotem oceny:

– układ stacjonarny; kruszarka szczękowa 40.17, koparki hydrauliczne (do 4 m³) i ładowarki hydrauliczne (do 8 m³), przesiewacz wibracyjny dwupokładowy, np. WPB-821), przenośniki taśmowe (PTG 650), dwa silosy.

– układ mobilny: (koparka Caterpillar 330D lub ładowarka Caterpillar 962G, samojezdna kruszarka szczękowa Lokotrack LT110, dwupokładowy przesiewacz Fintec 570/trzypokładowy przesiewacz Lokotrack ST458); oba układy pracowały w tym samym złożu.

2.1. WSKAŹNIKI PORÓWNAWCZE UKŁADÓW

- wydajność efektywna w odniesieniu do godzin pracy [2]

$$DM = \frac{PT}{HM + HP} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

² Zakłada się, że elementy każdego układu są prawidłowo do siebie dobrane. Przedmiotem badania są układy jako całość, bez wnikania w elementy składowe.

- DM – wydajność efektywna, [t/h],
 PT – materiał przetworzony (sprzedaż), [t],
 HM – rzeczywista liczba godzin pracy, [h],
 HP – liczba godzin awarii, [h].

Wydajność efektywna jest liczona jako stosunek materiału przetworzonego do nominalnej liczby godzin pracy (suma rzeczywistej liczby godzin pracy (suma rzeczywistej liczby godzin pracy i liczby godzin awarii)).

- wskaźnik niezawodności pracy T_{fi} [%]

$$T_{fi} = \frac{HM}{HM + HP} \cdot 100 \quad (2)$$

Wskaźnik niezawodności pracy liczony jest jako stosunek rzeczywistej liczby godzin pracy do sumy rzeczywistej liczby godzin pracy i awarii.

- wskaźnik wykorzystania czasu pracy TU [%]

$$TU = \frac{HM}{HO} \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie HO – liczba godzin pracy na zmianach [h].

Przy zastosowaniu ww. wskaźników (1) do (3) postanowiono porównać dwa układy technologiczne w jednej z kopalń odkrywkowych surowców skalnych [2].

Wyszczególnienie	Zakład przeróbczy			
	stacjonarny		mobilny	
– liczba godzin na zmianach, HO [h]	2929	100%	2414	100%
– rzeczywista liczba godzin pracy, HM [h]	2524	86,2%	1774	73,5%
– liczba godzin awarii, HP [h]	38	1,3%	317	13,1%
– liczba godzin przerw w pracy, HA [h]	321	11,9%	324	13,4%
– materiał przetworzony PT [t]	490 100		292 457	
– wydajność DM [t/h]	191,3		139,9	
– wskaźnik niezawodności, T_{fi}	98,5%		84,8%	
– wskaźnik wykorzystania nominalnego czasu pracy TU	86,2%		73,5%	

Na uwagę zasługuje znaczna liczba godzin obserwacji, w której wykonywano pomiary. Można zauważyć, że w każdym przypadku lepsze wskaźniki uzyskał zakład stacjonarny, co wcale nie dyskwalifikuje zakładu mobilnego. Oba spełniają swoją rolę w procesie wydobywania kruszyw. Zakład stacjonarny zapewnia z reguły podstawową część produkcji („duży może więcej”), zaś mobilne dokładnie wybierają złożę. W przypadku małych złóż i małego wydobywania mogą pełnić funkcje podstawowego układu technologicznego.

2.2. OCENA PRAWDOPODOBIENSTWA PRACY UKŁADU TECHNOLOGICZNEGO

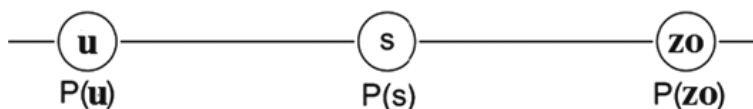
Dla określenia niezawodności trzeba określić prawdopodobieństwo pracy układu technologicznego p jako

$$p = \frac{\text{czas pracyukladutechnologicznego}}{\text{czas nominalny}}$$

Wielkości p są bardzo różne i zależne od czasu badania układu technologicznego (roczne, kwartalne, miesięczne, sezonowe itd.). Elementami pracy są maszyny i urządzenia: kruszarki, podawacze, przesiewacze, zbiorniki buforowe produkcji. Czasem pracy elementu jest czas zmierzony, zaś czas nominalny to czas w stosunku do którego odnosimy obserwacje.

Układy technologiczne w kopalniach surowców skalnych są w różny sposób połączone ze sobą. Wynika to z funkcji, jaką pełnią, zaspokajając popyt na kruszywo. W przypadku kopalń, które prowadzą wydobywanie chwilowe, czy na potrzeby lokalne, są to często układy szeregowo. Większe kopalnie, które muszą zaspokajać popyt odbiorców w sposób ciągły, mają połączenia równoległe, lub mieszane. Podstawowym wskaźnikiem, charakteryzującym pracę całego układu, jest prawdopodobieństwo pracy P_c . Dla różnych połączeń określa się go następująco:

Układ szeregowy połączeń, np. koparka-samochód-zakład przeróbczy:



Rys. 1. Układ szeregowy połączeń elementów
Fig. 1. Serial system

Prawdopodobieństwo całkowite pracy układu jest iloczynem prawdopodobieństw cząstkowych, gdyż są one od siebie niezależne.

$$P_c = P(u) \cdot P(s) \cdot P(zo) \quad (4)$$

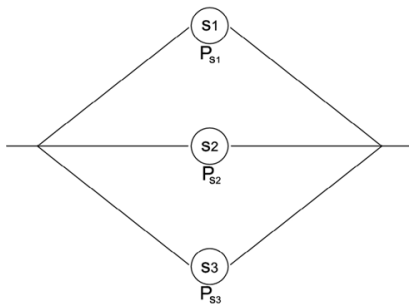
gdzie:

- $P(u)$ – prawdopodobieństwo pracy koparki,
- $P(s)$ – prawdopodobieństwo pracy samochodu,
- $P(zo)$ – prawdopodobieństwo pracy zakładu przeróbczego.

Układ równoległy pracy (przykładowo równoległe pracują trzy samochody) można wyznaczyć prawdopodobieństwo awarii:

- pierwszego samochodu równa się $(1 - P_{s1})$,

- drugiego samochodu równa się $(1 - P_{s2})$,
- trzeciego samochodu równa się $(1 - P_{s3})$.



Rys. 2. Układ równoległy pracy
Fig. 2. Parallel system

Stan awarii każdego samochodu nie zależy od pozostałych samochodów, więc całkowite prawdopodobieństwo awarii P_{as} jest równe iloczynowi

$$P_{as} = (1 - P_{s1}) \cdot (1 - P_{s2}) \cdot (1 - P_{s3}) \quad (5)$$

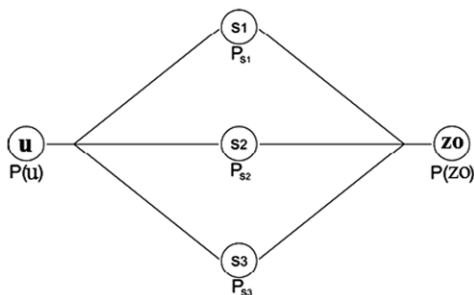
Stąd prawdopodobieństwo pracy samochodów wyniesie

$$P_{cs} = 1 - P_{as} = 1 - (1 - P_{s1}) \cdot (1 - P_{s2}) \cdot (1 - P_{s3}) \quad (6)$$

gdzie:

- P_{as} – prawdopodobieństwo awarii samochodów (wszystkich równocześnie),
- P_{s1} – prawdopodobieństwo pracy pierwszego samochodu,
- P_{s2} – prawdopodobieństwo pracy drugiego samochodu,
- P_{s3} – prawdopodobieństwo pracy trzeciego samochodu.

Połączenie mieszane: równoległo-szeregowe (przykładowo pracuje: jedna koparka, trzy samochody i jeden zakład przeróbczy):



Rys. 3. Układ równoległo-szeregowy (mieszany)
Fig. 3. Mix system

$$P_c = P(u) \cdot P_{cs} \cdot P(zo) \quad (7)$$

Po podstawieniach

$$P_{cs} = P(u) \cdot [1 - (1 - P_{s1}) \cdot (1 - P_{s2}) \cdot (1 - P_{s3})] \cdot P(z_0) \quad (8)$$

3. PODSUMOWANIE

- Praca układu technologicznego kruszyw w podstawowym zakresie decyduje o ekonomice kopalni. Na jego pracę ma wpływ wiele czynników wynikających ze zmiennego górotworu, organizacyjnych i technologicznych. Wywołuje to różne skutki w stabilności układów, jak i wydajności.
- Celowe jest prowadzenie stałego monitoringu pracy układów technologicznych dla ich oceny ilościowej. Wykonano to metodą „czarnej skrzynki” oceniając całe układy bez wnikania w ich strukturę. Przedmiotem oceny był układ stacjonarny kruszyw łamanych w porównaniu z przejezdny, a wskaźnikami oceny: niezawodność pracy i wykorzystanie czasu pracy. W świetle tych wskaźników lepsze wyniki uzyskał układ stacjonarny. Wyniki liczbowe oceny należy odnosić do przedstawionego przykładu.
- Przedstawiono też sposób oceny prawdopodobieństwa pracy układu technologicznego. Jest to podstawowy wskaźnik służący do prognozowania wydajności układu. Przedstawiona metoda oceny jest prosta w zastosowaniach, wymaga jednak prowadzenia stałego monitoringu pracy elementów układu. Wobec jego braku nie przedstawiono przykładu obliczeniowego do metody.

LITERATURA

- [1] BĘBEN A., *Maszyny i urządzenia do wybranych technologii urabiania surowców skalnych*, Wyd. Śląsk, 1998.
- [2] DĄBROWSKI P., *Analiza porównawcza pracy zakładu stacjonarnego i przejezdnego produkcji kruszyw na przykładzie kopalni Dubie*, Praca dypl. Katedra Górnictwa Odkrywkowego AGH (niepubl.), 2011.
- [3] HEINI M., *Rock Excavation Handbook*, Sandvik Tamrock Corporation, 1999.
- [4] RADOMSKI A., *Koncepcja modernizacji transportu technologicznego Kopalni Marmuru Sławnowice*, Studium Podyplomowe z Górnictwa Odkrywkowego, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH (niepubl.), 2009.
- [5] SOBOLEWSKI S., *Przeróbka mechaniczna skal i surowców mineralnych*, Skrypt PWr., Wrocław 1974.
- [6] STEFANICKA M., *Układy przerobcze w Piławie Górnej. XXI wiek w polskim górnictwie kruszyw – strategie i technologie*, Surowce i Maszyny Budowlane, 4/2011.
- [7] STRYSZEWSKI M., *Eksploatacja selektywna piaskowców karpaccich w aspekcie sezonowości wydobywania*, Górn. Odkr., nr 9–10, 1977.
- [8] WIDER J., *Eksploatacja selektywna na przykładzie Kopalni Surowców Skalnych „Wista” SA w Wiśle*, Projekt Inżynierski, Katedra Górnictwa Odkrywkowego AGH (niepubl.), 2012.

QUANTITATIVE COMPARING METHOD OF THE WORK OF ROCK PROCEESING PLANTS

The extraction of hard rock in quarries is based on drilling and blasting, loading, haulage and processing technology. A method for comparing the work of stationary and mobile processing plants has been presented. It has also been shown how to calculate the probability of the aggregate flow depending on the types of connection. Elements of the processing systems can be connected in series, in parallel or in combination, which fundamentally influences the system's operational stability and efficiency. Each element of the processing system has been calculated by the operational probability, which has made it possible to determine the operational probability of the whole system depending on the way of connection and partial probabilities of the elements of the processing system. This method enables forecasting the capacity of a processing system with regard to its potential capacity.