

Krzysztof KRUPA<sup>1</sup>  
Piotr KLIŚ

### SYMULACJA SYSTEMU TRANSPORTOWEGO W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

*W artykule przedstawiono działania związane z budową modelu symulacyjnego funkcjonowania kopalni węgla kamiennego. Bezpośrednim celem symulacji jest analiza tzw. „wąskich gardeł” i zaproponowanie działań mających na celu poprawę funkcjonowania firmy jako całości, ze szczególnym uwzględnieniem systemu transportu, rozumianego w aspekcie transportu pracowników „na” i „ze” stanowisk pracy, transportu urobku oraz odpowiedniej synchronizacji tych działań.*

### SYMULATION OF TRANSPORT SYSTEM IN A COAL MINE

*In the paper simulation model building of a coal mine operation is presented. The main goal of the simulation is bottlenecks analysis and proposition of changes aiming at improvement of the company operation. The main interest is paid to transport of workers to and from workplaces, transport of mined coal and synchronisation of these two activities.*

#### 1. WSTĘP

System transportu odgrywa istotną rolę niezależnie od tego, czy jest rozpatrywany lokalnie, na poziomie zakładu, czy też w skali globalnej, zapewniając właściwe funkcjonowanie współpracujących ze sobą firm. Złożoność systemu transportowego (ST) w kopalni węgla kamiennego, daje duże możliwości optymalizacji jego funkcjonowania. Wymaga to jednak dokładnej analizy stanu bieżącego oraz określenia wzajemnych relacji między elementami tworzącymi strukturę informacyjną i fizyczną systemu. Bardzo dobrym narzędziem, ułatwiającym poszukiwanie rozwiązań mających na celu poprawę funkcjonowania ST, a przez to poprawę funkcjonowania całej firmy, jest symulacja komputerowa, która może pełnić rolę quasi optymalizacji [2].

W wielu przypadkach uzyskanie rentowności zakładów górniczych jest możliwe dzięki koncentracji wydobycia i wyposażeniu kompleksów ścianowych w wysokowydajne urządzenia. W analizowanym przykładzie, po wdrożeniu takich modyfikacji, trzy brygady ścianowe wydobywają rocznie takie same ilości węgla, jak w latach 80-tych osiem brygad. Zmiany te sprawiają, że systemy odstawy urobku, które transportują go na powierzchnię

---

<sup>1</sup>. Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny; 31-864 Kraków, al. Jana Pawła II 37  
Tel: + 48 12 374-32-24, Fax: + 48 12 374-32-02, E-mail: krupa@mech.pk.edu.pl

oraz zakład przeróbczy węgla, stały się jednym z najważniejszych ogniw systemu produkcyjnego.

Urobiona przez kombajn nadawa, w pierwszym etapie, transportowana jest przenośnikami zgrzeblowymi, a następnie przez sieć przenośników taśmowych, pod szyb wydobywczy lub bezpośrednio na powierzchnię. Prawidłowy dobór, sprawność oraz odpowiednie plany eksploatacji przenośników taśmowych mają olbrzymi wpływ na uzyskiwanie planowanego wydobycia przez zakład górniczy. Szeregowe usytuowanie wszystkich urządzeń odstawy sprawia, że awaria lub zły dobór jednego z nich, ma istotny wpływ na efekty techniczne, a co za tym idzie, również efekty ekonomiczne.

Do budowy modelu oraz symulacji pracy, wykorzystano program Vensim w wersji DSS dostarczony przez firmę Ventana Systems inc. [3].

## 2. SYSTEM TRANSPORTU

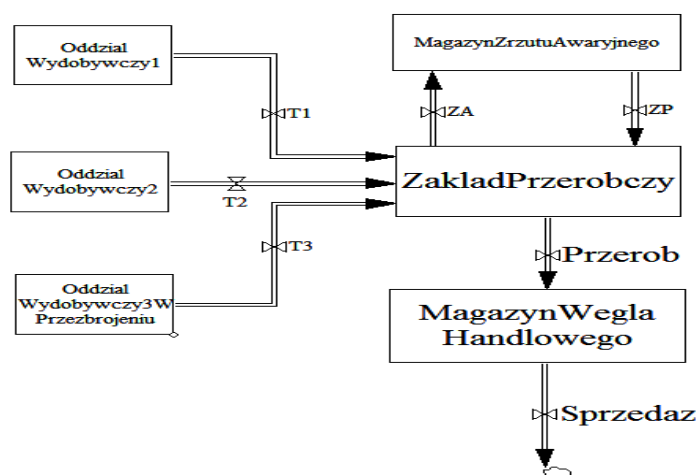
W analizowanym zakładzie górniczym obowiązuje system trzyścianowy. Oznacza to, że wydobycie realizowane jest na dwóch ścianach, a trzecia, w tym czasie jest przezbrajana. Na powierzchnię należy więc odstawić nadawę z dwóch ścian wydobywczych. Stosuje się kombajny ścianowe o wydajności  $1200 \div 1500$  t/h. Urobek z oddziałów wydobywczych transportowany jest ciągiem szeregowo sprzęgniętych, przenośników taśmowych na odstawę zbiorczą i upadową wydobywczą lub przedziałem skipowym bezpośrednio na powierzchnię do zakładu przeróbki mechanicznej węgla. Praca przenośników taśmowych odbywa się w systemie automatycznym, umożliwiając posobne załączanie się przenośników wówczas, gdy przenośnik poprzedzający rozpoczął pracę, a jego taśma nabrała prędkości nominalnej. Zakładu przeróbki mechanicznej węgla ma wydajność 900 t/h, ale może pracować bez przerwy, w cyklu 24 h. Urobek z dołu, skruszony do odpowiedniej klasy, kierowany jest do zbiorników węgla surowego. Stamtąd dwoma bliźniaczymi nitkami technologicznymi transportowany jest, poprzez klasyfikację wstępną, do kompleksowego wzbogacania. Jeżeli zakład przeróbki węgla nie jest w stanie przerobić bezpośrednio urobku, kierowany on jest na system zrzutu awaryjnego, skąd pobierany jest w czasie przestoju oddziałów wydobywczych (rys.1.).

Dla potrzeb symulacji, pracę kompleksów ścianowych opisano funkcją PULSE TRAIN(), pozwalającą wyrazić planowaną ich wydajność w funkcji czasu. Plan wydobycia kompleksów ścianowych zakłada wykonanie trzech przejazdów (skrawów) przez ścianę. Po każdym skrawie następuje przekładka kompleksu ścianowego oraz przeprowadzenie prac górniczych zabezpieczających. Cykl jednego skrawu, na który składa się przejazd kombajnu i zabezpieczanie górotworu w obu oddziałach wydobywczych wynosi ok. 1,5 godziny. Przejazd kombajnem oddziału pierwszego przez długość ściany jest krótszy z powodu wydajniejszego kompleksu ścianowego, natomiast czas zabezpieczania górotworu jest dłuższy z powodu wyższego pokładu węgla.

Ze względu na charakter, kopalnia węgla kamiennego stanowi rozległą strukturę przestrzenną. Dlatego czasy transportu zarówno ludzi na stanowiska pracy, jak i samego urobku są znaczne. Transport ludzi na dół kopalni odbywa się szybami na odpowiednie poziomy, a następnie za pomocą kolei podziemnej, załoga dowożona jest do stacji osobowych usytuowanych w rejonach wykonywania prac. Średni czas dotarcia na stanowisko pracy, to ok. 1,5 h. Praca odbywa się w systemie czterozmianowym:

- zmiana A od 6:30 do 14:00

- zmiana B od 12:30 do 20:00
- zmiana C od 18:30 do 02:00
- zmiana D od 0:30 do 08:00



Rys.1. Schemat blokowy organizacji pracy

Podobnie jak wydajność kompleksów ścianowych, systemy zmian obu ścian wydobywczych zostały opisane funkcją PULSE TRAIN(). W obecnym systemie produkcji są one takie same. Załogi pracujące w obu ścianach rozpoczynają i kończą pracę w tym samym czasie. Sprawia to, że oddziały w tym samym czasie wymieniają załogę, wstrzymując wydobywanie na okres 1,5 godziny.

Planowane remonty wszystkich maszyn i urządzeń w zakładzie oraz prace konserwacyjne, odbywają się w ustalonych godzinach (8:00 - 10:00). Godziny te mogą być traktowane również jako jeden z parametrów, które można zmieniać celem optymalizacji funkcjonowania całości firmy.

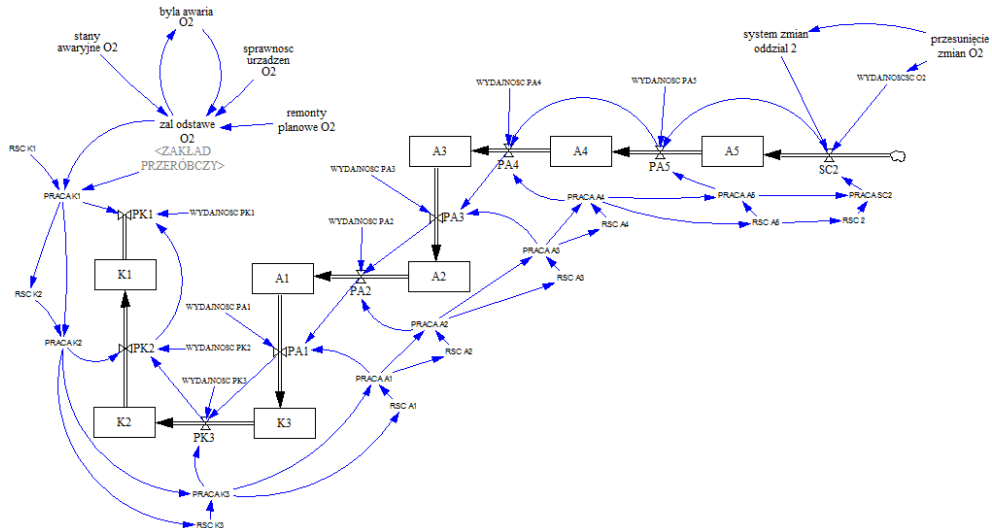
### 3. MODEL SYMULACYJNY

Budowa modelu symulacyjnego wymaga dokładnej analizy istniejącego stanu. Na rysunku 2 przedstawiono schemat systemu transportu jednego z oddziałów (ze względu na rozbudowaną strukturę, całość systemu nie będzie prezentowana). W skład ciągu transportowego wchodzi osiem przenośników taśmowych o mocy od 90 kW do 500 kW.

#### 3.1 Awarie urządzeń

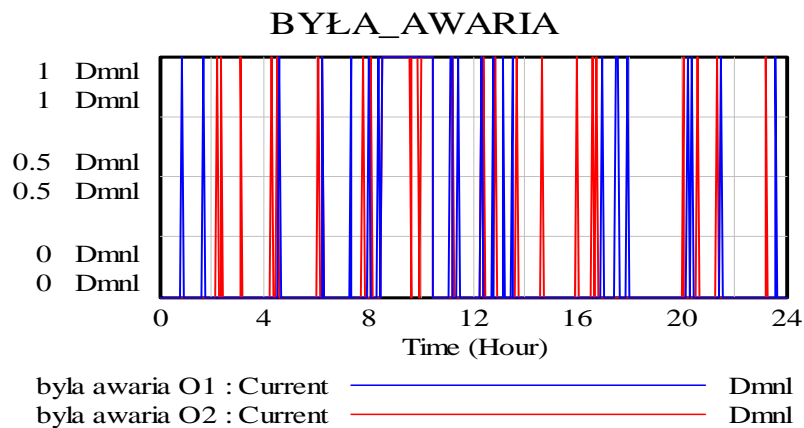
Jednym z istotnych parametrów, mających wpływ na pracę całego systemu, są awarie w ciągu transportowym. Awaria dowolnego taśmociągu powoduje zatrzymanie pozostałych, a ponowny rozruch wiąże się z upływem czasu. W zależności od ilości urobionego surowca znajdującego się na przenośniku, jego rozruch trwa od 40 sekund do ponad 1 minuty.

Awarii nie można dokładnie zaplanować, ale w oparciu o dostępne informacje z przeszłości (częstość wystąpień, rodzaj awarii) oraz rachunek prawdopodobieństwa, możliwe jest



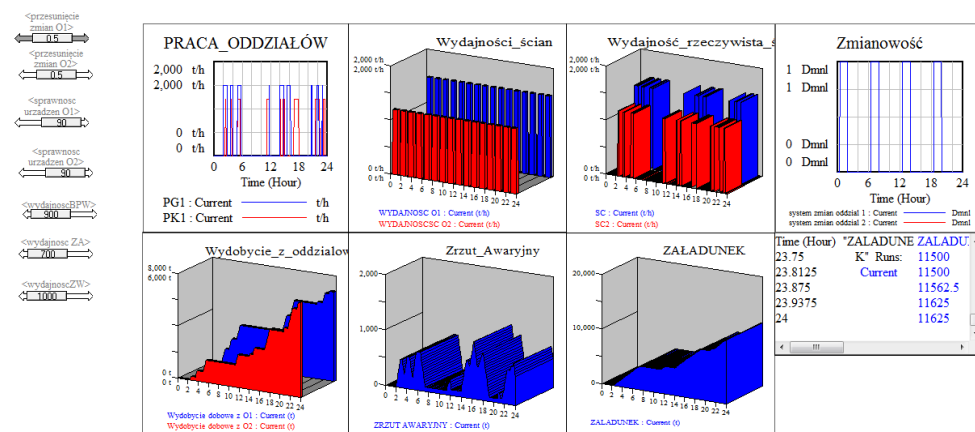
Rys.2. Schemat systemu transportu jednego z oddziałów

wygenerowanie liczb pseudolosowych opisujących takie awarie. Pozwoli to na obserwację ich skutków. W realizowanym modelu, jako parametr wprowadzono sprawność urządzeń. Doświadczalnie przyjęto, że jeżeli sprawność urządzenia spadnie poniżej 90%, należy urządzenie bezwzględnie zatrzymać i usunąć usterkę. Przy takiej sprawności liczba wyłączeń urządzeń odstawy urobku jest zbliżona do rzeczywistych, występujących w zakładzie górniczym. Przykładową liczbę wyłączeń odstawy, ze względu na usuwanie drobnych awarii oraz planowanych remontów, pokazano na rys.3.



Rys.3. Częstość występowania awarii na dwóch oddziałach

Wykres przedstawiony na rys.3. należy interpretować jako stwierdzenie faktu wystąpienia awarii w funkcji czasu. Natomiast jej rodzaj oraz czas usuwania jest oddzielnym problemem, który również może być symulowany jako liczba losowa z określonego przedziału. Należy również zwrócić uwagę, że nie każda awaria wiąże się z zatrzymaniem ciągu transportowego. Przykładowe wyniki symulacji, dla standardowych parametrów, przedstawiono na rysunku 4.



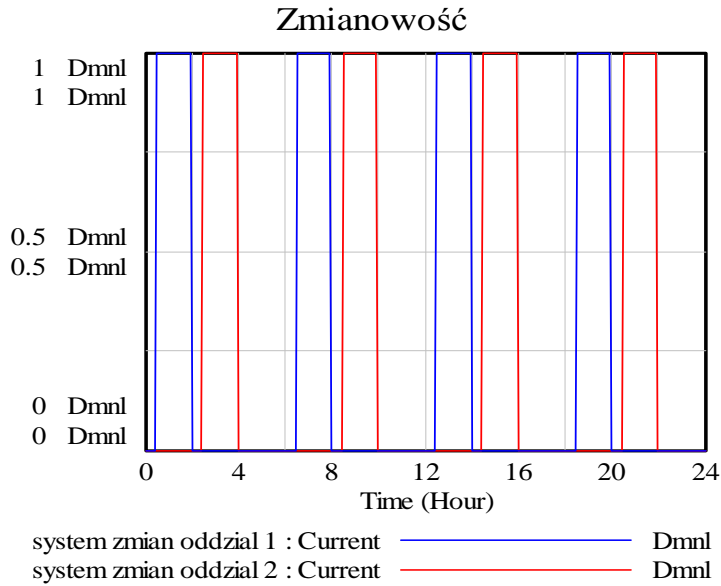
Rys.4. Wyniki symulacji dla standardowych parametrów pracy

Zwiększając sprawność urządzeń z 90% do 95% otrzymano znaczny spadek wyłączeń odstawy spowodowany koniecznością naprawy drobnych usterek i awarii. Jest to fakt łatwy do przewidzenia. Ale okazało się, że 5 procentowy wzrost sprawności urządzeń przekłada się na ok. 27 procentowy wzrost parametru „Załadunek węgla handlowego”, co oznacza znaczną poprawę funkcjonowania całego systemu. Jest to typowy przypadek zmiennej wrażliwości systemu na skutek działań, które nie są opisane prostą zależnością liniową, ale oddziałują na system w sposób trudny do jednoznacznego zapisu formalnego i rozwiązania analitycznego. Można to porównać do znanego w teorii chaosu deterministycznego, tzw. efektu motyla [1].

### 3.2 Organizacja czasu pracy

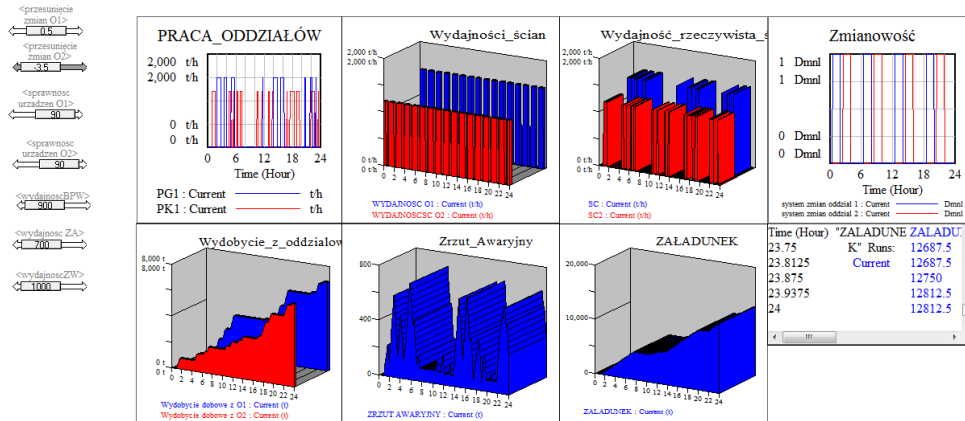
Kolejnym etapem poszukiwania poprawy jakości funkcjonowania zakładu górniczego, była próba przesunięcia w czasie cyklu pracy poszczególnych oddziałów wydobywczych. Działanie te związane były z reorganizacją godzin pracy oraz czasem transportu ekip na stanowiska pracy. Zmiany te pozwoliły na zmniejszenie skutków sytuacji, kiedy dwa oddziały wydobywcze dokonują wymiany załogi w tym samym czasie, a następnie wydobywają pełną wydajnością swoich kompleksów ścianowych. Przesunięcie o 2 godziny cyklu pracy oddziału drugiego spowoduje wzrost produkcji węgla o ok. 10%. Nie jest to już

tak duży wzrost, jak w przypadku poprawy niezawodności urządzeń transportowych, ale nie wymaga dużych nakładów finansowych, a jedynie zmiany organizacji pracy.(rys.5.)



Rys.5. Charakterystyka zmian załogi, po wprowadzeniu modyfikacji

Wyniki symulacji, uwzględniające przesunięcie w fazie cyklu pracy ekipy oddziału drugiego, przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Wyniki symulacji po wprowadzeniu zmian modernizacyjnych

#### 4. WNIOSKI

Symulacja jest potężnym narzędziem do analizy skutków planowanych działań. Sama w sobie nie jest matematycznym modelem optymalizacji, ale pozwala na poszukiwanie lepszych rozwiązań metodą kolejnych przybliżeń. W prezentowanych rozważaniach pokazano, jak niewielkim nakładem pracy można uzyskać znaczną poprawę rezultatów. Zbudowany model jest pierwszym przybliżeniem rzeczywistego systemu i wymaga jeszcze konsultacji merytorycznych z użytkownikami. Może okazać się, że w modelu nie dokładnie odzwierciedlono rzeczywiste mechanizmy i tak znaczny wzrost wydajności produkcji przy niewielkim wymuszeniu, nie będzie osiągalny. Na zbudowanym modelu przeprowadzono wiele symulacji. Okazało się, że analogiczne zmiany wprowadzane na dwóch, niewiele różniących się oddziałach, mogą być, w pewnym zakresie, zupełnie odmienne w skutkach. Wyjaśnienie tego wymaga dalszych prac, które są kontynuowane.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Halpern P.: *Na tropach przeznaczenia. Z dziejów przewidywania przyszłości*, Warszawa, Wydawnictwo CiS, WAB, 2004.
- [2] Krupa K.: *Modelowanie, symulacja i prognozowanie. Systemy ciągłe.*, Warszawa, WNT 2008.
- [3] <http://vensim.com/>