

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA OPROGRAMOWANIA FLEXSIM DO PROJEKTOWANIA I OPTIMALIZACJI PRACY PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH

THE POSSIBILITIES OF USING FLEXSIM SOFTWARE TO DESIGN AND OPTIMIZE THE OPERATION OF BELT CONVEYORS SYSTEMS

Stanisław Pawliszyn – „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W pracy opisano podziemny transport rudy, oraz działanie programu FlexSim wraz z dodatkowym modulem FloWorks. Omówiono sposób modelowania i symulacji pracy kolejnych elementów ciągu transportowego, a następnie przedstawiono możliwości prezentacji informacji o ich działaniu.

Słowa kluczowe: modelowanie w 3D, symulacja systemu transportowego, program FlexSim, moduł FloWorks

The paper briefly describes the underground transport of ore, and the operation of the FlexSim program together with the additional FloWorks module. The method of modeling and simulation of the work of subsequent elements of the transport chain was discussed, and then the possibilities of presenting information about their operation were presented

Keywords: 3D modelling, transport system simulation, FlexSim programme, FloWorks module

Wprowadzenie

Wraz z rozwojem i tworzeniem się nowych narzędzi informatycznych znajdują one coraz większe zastosowanie w wielu dziedzinach techniki. Nowoczesne rozwiązania informatyczne ułatwiają pracę inżynierów, potrafiących posługiwać się odpowiednimi programami. Rozwój informatyki, w tym programów dla branży górniczej, pozytywnie wpływa na efektywność prac, ułatwiając jednocześnie lepszy dostęp do opracowanych produktów oraz większe możliwości prezentacji wyników (Jurdiak, 1999). Inżynierowie górniczy często korzystają z takich programów jak: AutoCad, Microstation czy Datamine (Pactwa, 2013).

Program FlexSim również znalazł zastosowanie w realizacji przedsięwzięć górniczych. Mimo, że jego główne przeznaczenie to logistyka i optymalizacja linii produkcyjnych. Możliwości programu wciąż są rozbudowywane, a dostępne w nim rozwiązania można wykorzystywać do odwzorowania pracy w kopalni podziemnej i odkrywkowej.

Transport urobku w kopalniach jest procesem kluczowym dla sprawnego działania zakładu. Przewóz urobku jest kosztowny, ale jest niezbędny, co powoduje konieczność zapewnienia wysokiej efektywności oraz wydajności pracy ciągów transportowych. Modelując w programie FlexSim systemy transportowe, wykorzystywane w górnictwie dzięki symulacji ich pracy, otrzymujemy szereg użytecznych danych, które pozwalają na analizę procesu. Program zapewnia też wirtualną

wizualizację transportu w postaci symulacji i animacji pracy systemów transportowych w środowisku 3D.

Wykorzystanie programu FlexSim w odwzorowaniu przedsięwzięć górniczych

Projektowanie kopalni to skomplikowane, wielopłaszczyznowe zadanie, które wykonane jest na wielu etapach za pomocą rozwiązań informatycznych. Wspomagają one pracę inżynierów w zarządzaniu produkcją, umożliwiając analizowanie większej ilości danych jednocześnie, oraz ułatwiając tworzenie wielu rozwiązań jednego problemu wraz z analizą zmieniających się parametrów produkcji (Sypniowski, 2013).

Modelowanie oznacza stworzenie wirtualnego układu lub kopii realnego układu o znanych parametrach w sztucznym świecie stworzonym przez program. Powstanie takiego modelu pozwala na dowolne zmienianie układu i obserwacji zmian wyników, bez konieczności wprowadzania tych zmian w świecie rzeczywistym, co często wiąże się z dużymi kosztami, zajmuje dużo czasu lub jest skomplikowane. Kluczowe w symulacji jest to, aby jak najwierniej oddać parametry pracy poszczególnych elementów układu, a nie dokładnie odwzorować ich rzeczywisty wygląd. Dlatego w środowisku FlexSim można wykorzystać gotowe modele takie jak *Source*, *Transporter* lub *Conveyor* i odwzorować pracę np. koparki wielonaczyniowej, wozidła lub przenośnika taśmowego.

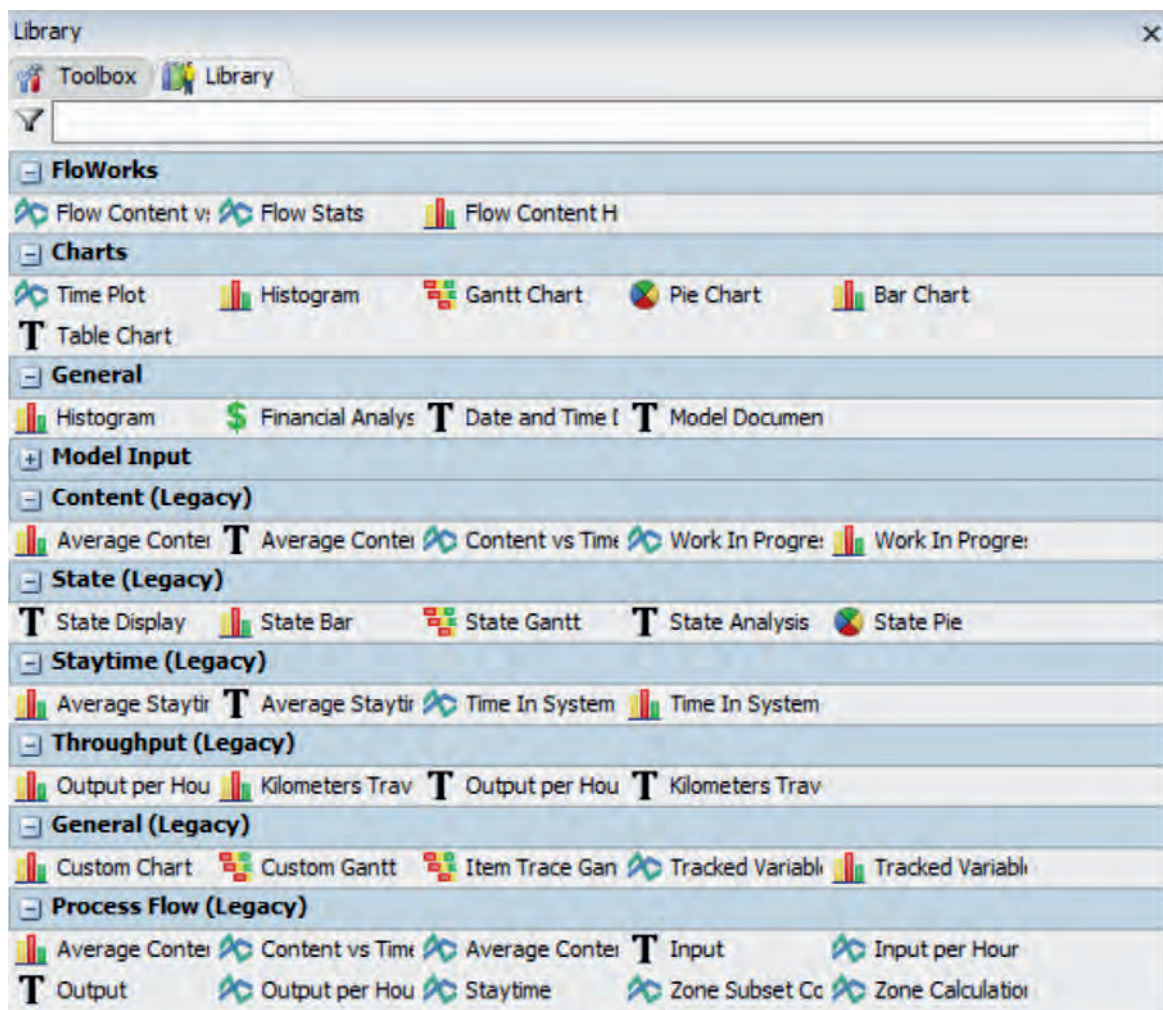
Program FlexSim pozwala budować modele w 3D, które mogą służyć do odwzorowania, bądź optymalizacji skomplikowanych procesów produkcyjnych związanych z prowadzeniem zakładu górniczego. Symulacje we FlexSim'ie świetnie sobie radzą w analizie obszaru produkcji lub logistyki (Leks, Gwiazda, 2015). Program jest w stanie dostarczyć niezbędne dane, opisujące dany ciąg produkcyjny. Dane te poddane odpowiedniej analizie, mogą pomóc w optymalizacji procesu wydobywania, zwiększając wydajność oraz usprawniając współdziałanie między elementami ciągu produkcyjnego. Umożliwiają także rozwiązanie problemu zasobów, czasu pracy, lokalizując wąskie gardła produkcji oraz w wirtualnym świecie pozwalają testować nowe rozwiązania (<http://FlexSim.pl/FlexSim/>, 2018).

Moduł FloWorks jest rozszerzeniem programu FlexSim i pozwala na modelowanie w taki sam sposób jak w standar-

strugę urobku oraz jej przepływ po przenośniku. Skutkuje to bardziej realistycznym modelem, a co za tym idzie dokładniejszemu odwzorowaniu warunków panujących w rzeczywistości (<http://FlexSim.pl/FlexSim/o-programie-floworks/>, 2018).

Do realizacji symulacji potrzebne jest pozyskanie odpowiednich danych. Program FlexSim jest wyposażony w wiele narzędzi ułatwiających pobranie danych, a także umożliwia eksport wyników do środowisk takich jak Excel lub HTML. Wyniki można prezentować w postaci wykresów słupkowych, kołowych lub liniowych zależnych od czasu. Możliwe jest śledzenie wielu parametrów konkretnej symulacji m.in.:

- stanu, w jakim znajduje się dany element,
- całkowitej ilości przetransportowanego materiału,
- ilość transportowanego materiału w czasie,
- długość trasy przebytej przez modele ruchome,
- wydajność procesu technologicznego.



Rys. 1. Proponowane wykresy danych w programie FlexSim

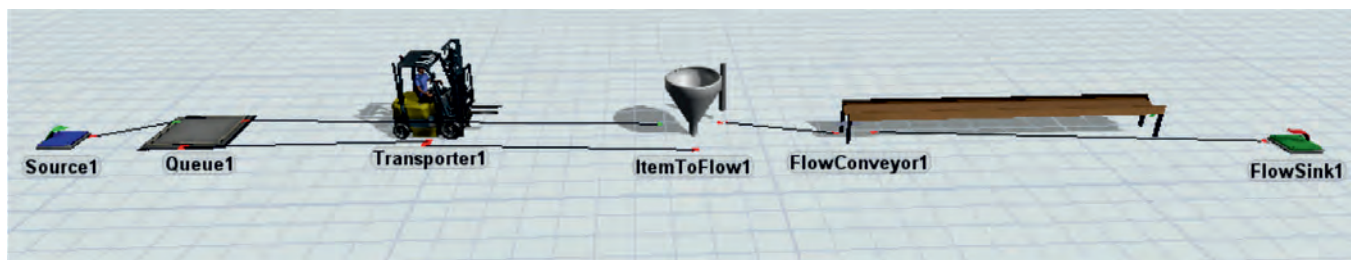
Fig. 1. Charts available to generate in FlexSim

dowej wersji programu, jednak zwiększa jego możliwości do budowy i analizy procesów ciągłych. Transport urobku przenośnikami taśmowymi jest właśnie takim procesem. Ciągła praca przenośników jest uzależniona od cyklicznej pracy wozideł i ładowarek dostarczających urobek, więc moduł FloWorks będzie niezbędny w celu modelowania takiego układu. W podstawowej wersji programu jest możliwe jedynie zamodelowanie pojedynczych obiektów poruszających się po taśmociągach, a w wersji rozszerzonej pozwala przedstawić

Program FlexSim posiada obszerną bibliotekę proponowanych wykresów, podzielonych na różne kategorie (Rys. 1).

Modelowanie ciągłego transportu w podziemnej kopalni rudy w programie FlexSim

Ciągły transport w podziemnej kopalni rudy może odbywać się na dwa sposoby: transportem szynowym lub przenośnikami taśmowymi. Przenośnik taśmowy jest jedynie



Rys. 2. Model symulujący współpracę wozidła z przenośnikiem taśmowy
Fig. 2. Simulation model of haul truck and conveyor belt cooperation

elementem systemu transportowego, na który składa się wiele maszyn i urządzeń, które służą do odstawy urobku ze ścian wydobywczych aż do zakładów przerobczych. Transport oddziałowy polega na odstawie urobku ładowarką łyżkową na samojezdny wóz odstawczy, który przewozi rudę na kratę, która jest równocześnie klasyfikatorem. Nadwymiarowe bryły, które zostają na kracie są kruszone na mniejsze bryły za pomocą hydraulicznego młota obsługiwanego przez operatora kontrolującego proces przesypania przez kratę. Następnie skała trafia do zbiornika, gdzie następuje wysypanie na znajdujący się poniżej przenośnik taśmowy. Strumień urobku jest dalej kierowany do zbiornika retencyjnego.

Chcąc zbudować działający model ciągłego transportu rudy w programie FlexSim, niezbędne jest rozwiązanie konkretnych problemów związanych z pracą systemu transportowego. Podzielić go można na kolejne etapy: odstawa urobku ze ściany wydobywczej na przenośnik, transport rudy za pomocą przenośników, oraz załadunek zbiorników, do których zmierza ruda, oddziałowych lub przyszybowych. Znając zasady tworzenia modeli danych etapów ciągu transportowego, możliwym będzie zbudowanie działającego modelu układu transportowego dowolnej kopalni podziemnej.

Początek transportu rudy przenośnikami taśmowymi następuje, gdy kratka przesypania poda urobek, przywieziony przez wozy odstawcze, na taśmę przenośnika. Model odwzorowujący ten proces w programie FlexSim będzie zawierał niezbędne obiekty oraz odpowiednio zdefiniowane relacje między obiektami.

Potrzebne obiekty

Do zamodelowania pracy przenośnika, na który zostaje podawany urobek za pomocą samojezdnego wozu odstawczego, niezbędne będzie użycie obiektów z biblioteki *Drag&Drop* z modułu *FloWorks* takich jak: *Flow Sink*, *Flow Conveyor* oraz *ItemToFlow*, jak i również charakterystycznych obiektów dostępnych w podstawowej wersji programu FlexSim takich jak: *Source*, *Queue* i *Transporter* (Rys. 2).

Obiekt *ItemToFlow* jest kluczowym dla tego scenariusza elementem, ponieważ umożliwia połączenie procesu cyklicznego, jakim jest odstawa urobku przez wozidło, z procesem ciągłym, jakim jest transport rudy przenośnikiem taśmowym. Obiekt ten działa analogicznie jak kratka przesypana i w modelu może symulować jej pracę. Urobek odpowiadający ładowności jednej skrzyni wozidła jest tutaj odstawiany i w określonym czasie zamieniany na ciągłą strugę urobku.

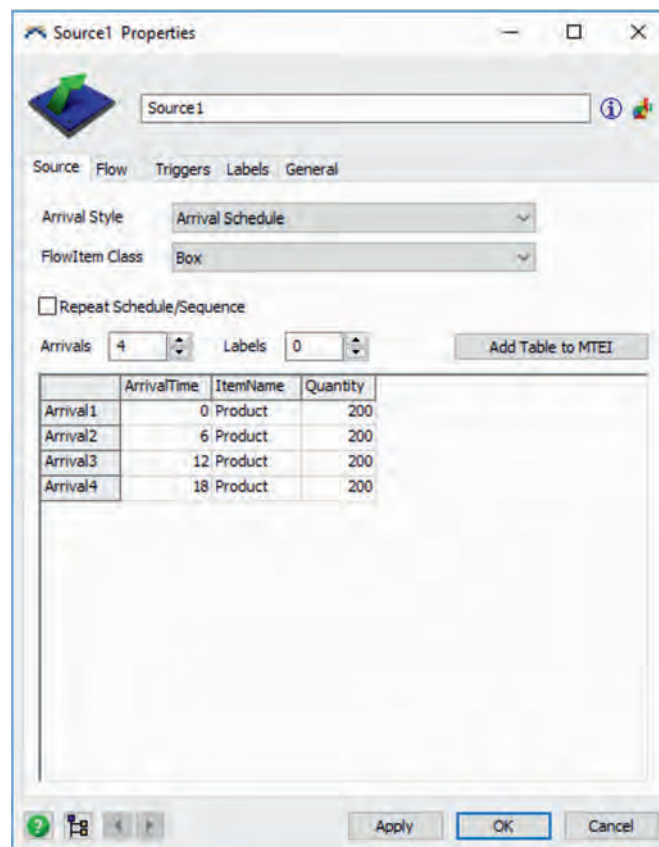
Obiekt *Source* odpowiedzialny jest za wytworzenie rudy. Dzięki niemu na obiekcie *Queue* możliwe jest pojawienie się urobku i właśnie w tym miejscu jest on składowany i czeka na odebranie przez wozidło i dostarczenie do kolejnych elementów modelu. Może on generować urobek odstrzelony

w przodku i uspany w przyzbie (reprezentowanej przez obiekt *Queue*) na przedpolu frontu roboczego. Z tego miejsca pobierany jest urobek przez ładowarki.

Obiekt *Transporter* symulujący pracę samojezdnego wozidła odstawczego zdolny jest do przedstawienia transportu oponowego przypisanej mu objętości urobku z miejsca, gdzie ruda czeka na odebranie (*Queue*) do miejsca, gdzie ruda może być transportowana przez kolejne elementy ciągu transportowego (obiekt *ItemToFlow*). Program FlexSim dodatkowo pozwala na wprowadzanie zmian estetycznych do swoich modeli, więc możliwe jest, aby wgrać model wizualnie wyglądający jak pojazd używany w górnictwie podziemnym, zamiast podstawowego modelu wyglądającego jak wózek widłowy.

Dobór i definiowanie obiektów w modelu załadunku przenośnika przez kratę

Chcąc nadać obiektowi *Source* odpowiednie parametry należy dwukrotnie kliknąć w jego ikonę, co spowoduje otwarcie okna (Rys. 3), w którym będzie można zdefiniować takie parametry jak: sposób, w jaki będzie się pojawiał uro-



Rys. 3. Właściwości obiektu Source
Fig. 3. Source object characteristics

bek w obiekcie *Queue* (Arrival Style), rodzaj generowanego materiału (*FlowItem Class*). Praca podziemnych kopalń rudy często odbywa się w czterozmianowym systemie, dlatego niezbędne jest stworzenie harmonogramu pojawiającego się urobku poprzez wybranie opcji *Arrival Schedule*. W ukazanym wierszu należy wybrać liczbę odpowiadającą liczbie strzelań w ciągu doby lub liczbę zmian roboczych, w trakcie których odbywa się załadunek rudy. Można założyć, że ruda pojawia się czterokrotnie, w określonym czasie i w określonej objęto-



Rys. 4. Parametry wozu odstawczego
Fig. 4. Parameters of a haul truck

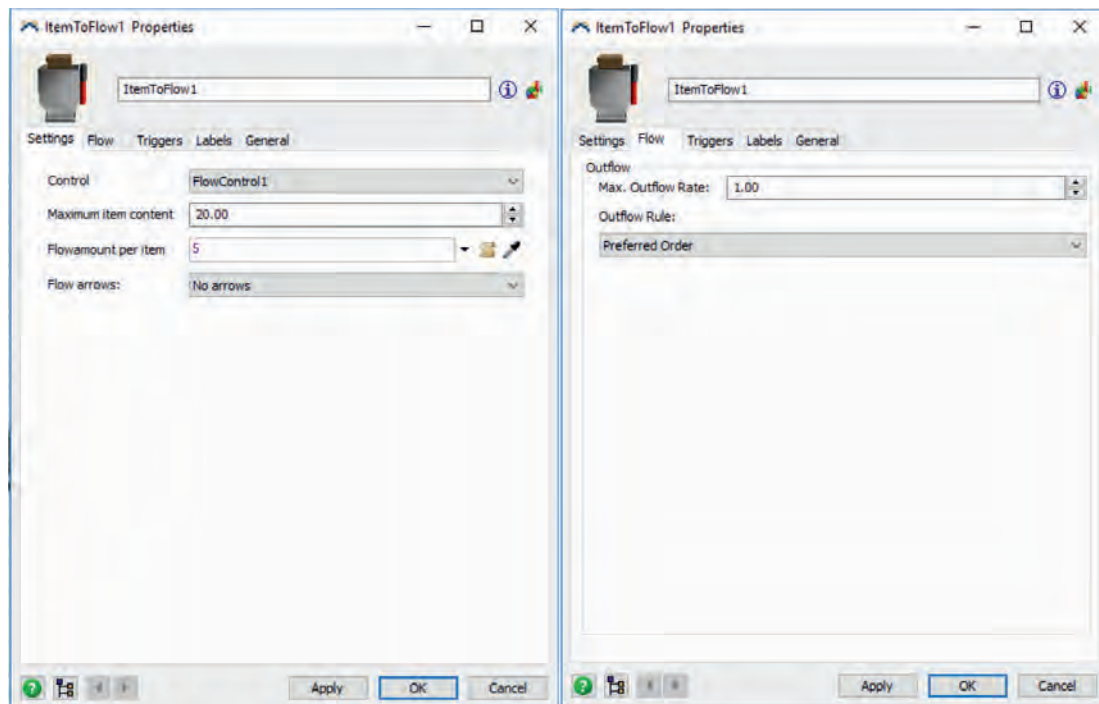
ści. Za czas i objętość odpowiadają kolejno kolumny *Arrival Time* oraz *Quantity*. Wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem byłaby symulacja strzelań, które odbywają się raz na dobę, a ilość urobku odpowiadałaby jednemu zabiorowi. W kolejnych zmianach urobek byłby pobierany przez ładowarki i wozy odstawcze, aż do wyczerpania zapasu znajdującego się w obiekcie *Queue*. Można oczywiście założyć, że urobek pojawia się częściej na początku każdej zmiany roboczej w ilości zaplanowanej do pobrania na tej zmianie.

Wprowadzenie odpowiednich parametrów wozu odstawczego można wykonać po otwarciu okna właściwości obiektu Transporter (Rys. 4). Kluczowe właściwości wozideł to: pojemność skrzyni (*Capacity*), maksymalna prędkość (*Max Speed*), czas załadunku (*Load Time*) i czas rozładunku (*Unload Time*). Program FlexSim umożliwia również zmianę nazwy obiektu, więc nazwę Transporter1 można zastąpić nazwą Samojezdny wóz odstawczy (SWO).

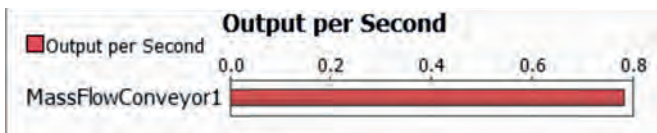
Gotowy obiekt *ItemToFlow* może posłużyć do symulacji pracy kraty wysypowej. Objętość rudy, znajdującej się w skrzyni wozidła, wysypywana jest na kratę i zamieniana jest w ciągłą strugę urobku o skończonej długości, wynikającej z drogi przebytej przez taśmę w okresie przesypywania się urobku przez kratę. Rubryka *Flowamount per item* służy do ustalenia długości strugi jaka powstaje z wysypanego urobku. Na Rysunku 5 można ustawić parametr *Max. Outflow Rate* odpowiadający za szybkość wysypywania się urobku na przenośnik przez kratę. Czas potrzebny na przejście urobku przez kratę pozwala wyznaczyć długość strugi urobku na przenośniku.

Prezentacja wyników symulacji

Dzięki funkcji *Dashboards* możliwy jest dostęp do wykresów tworzonych w czasie rzeczywistym dla analizowanej symulacji. FlexSim w wersji edukacyjnej oferuje limitowaną długość działania symulacji, więc przedstawienie pełnego



Rys. 5. Właściwości obiektu ItemToFlow
Fig. 5. Characteristics of ItemToFlow object



Rys. 6. Wydajność pracy przenośnika
Fig. 6. Efficiency of a conveyor belt



Rys. 7. Wykresy kołowe pracy przenośnika taśmowego i kraty załadowniczej.
Generating – czas przesypania urobku przez kratę, empty – czas pracy, kiedy przenośnik jest pusty, releasing – odpływ urobku z przenośnika większy niż napływ, not_empty – napływ i odpływ urobku z przenośnika jest równy, filling – napływ urobku na przenośnik większy niż odpływ, idle – praca jałowa kraty
Fig. 7. Pie charts of conveyor belt and grate operations

czterozmianowego dnia pracy jest niemożliwe. Zasymulować można jedynie krótki fragment pracy systemu transportowego. Poniższa symulacja opiera się na parametrach przykładowych. Przenośnik taśmowy o długości 10 metrów oraz prędkości taśmy 2,5 m/s, zmienia objętość urobku przywiezionego przez wóz odstawczy na 10-metrową strugę. Krata przesypana podaje urobek na taśmę w tempie 1 l/s. Na Rysunku 6 zobaczyć można średnie tempo oddawania urobku przez przenośnik. Wykresy (Rys. 7) przedstawiają procentową ilość czasu w jakim stanie jest dany element.

Z powyższych wykresów odczytać można, że średnia wydajność przenośnika wynosi niecałe 0,8 j/s, gdzie jednostką jest objętość przywieziona przez wozidło podczas jednego podjazdu. Efektywny czas wykorzystania kraty wynosi niecałe 75% czasu jej pracy. Symulacja była prowadzona przez 150 sekund w programie FlexSim. W tym czasie zapełnianie przenośnika zajęło około 20% czasu, przenośnik pracował w swojej pełnej wydajności przez około 55% czasu, a przez około 10% czasu był pusty (oczekiwanie na dostarczenie urobku przez wóz odstawczy i kratę).

Podsumowanie

W artykule opisano i scharakteryzowano działanie ciągłego systemu transportu rudy. Opisany został program FlexSim, zostało wyjaśnione, na jakich zasadach działa, do czego jest przydatny oraz jak wykorzystać jego możliwości. Scharakteryzowano główne obiekty mogące być wykorzystane do modelowania transportu w kopalni. Charakterystykę programu poszerzono o moduł FloWorks. Zarysowano główne różnice między działaniem programu FlexSim bez modułu FloWorks oraz z nim, także wymieniono główne powody oraz zalety korzystania z rozszerzenia do modelowania procesów ciągłych.

W pracy, z uwagi na ograniczenie wykorzystania liczby modeli do 30, nie przedstawiono modelu pełnego ciągu transportowego. Omówiono poszczególne elementy podczas współpracy przenośników z wozami odstawczymi i kratami. Zaprezentowano, w jaki sposób program FlexSim umożliwia modelowanie konkretnych rozwiązań oraz przeprowadzenie symulacji działania przenośników taśmowych. FlexSim rozszerzony o moduł FloWorks okazał się odpowiednim programem i poradził sobie z prezentacją fragmentów pracy ciągłego transportu rudy.

Mając na uwadze przyszłe projekty związane z przedsięwzięciami górniczymi, można brać pod uwagę wykorzystanie m. in. programu FlexSim do prezentacji, symulacji oraz optymalizacji transportu ciągłego w podziemnych kopalniach. Program jest w stanie odtwarzać pracę przenośników taśmowych nie tylko precyzyjnie i szczegółowo, ale również w sposób przejrzysty dla osób spoza branży.

Literatura

- [1] Jurdziak, L., 1999, *Komputerowa wizualizacja i animacja przedsięwzięć górniczych*, Górnictwo Odkrywkowe, Vol. 41, nr 4-5, str. 3-21
- [2] Leks, D., Gwiazda, A., 2015, *Application of FlexSim for modeling and simulation of the production proces*, Selected Engineering Problems, Tom nr 6, str. 51-56
- [3] Pactwa, K., 2013, *Wybrane programy komputerowe wykorzystywane w górnictwie*. Przegląd zastosowań, Kruszywa: produkcja – transport – zastosowanie, Tom nr 3, str. 52-56
- [4] Sypniowski, S., 2013, *Wykorzystanie nowoczesnych narzędzi informatycznych w projektowaniu kopalni Gubin*, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Tom nr 84, str. 57-66