

dr inż. Jarosław TOKARCZYK  
dr inż. Marek DUDEK  
mgr inż. Kamil SZEWERDA  
mgr inż. Andrzej TUREWICZ  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

## Stan i kierunki rozwoju systemu wspomagania prac inżynierskich pomocniczego transportu kopalnianego Safe Trans Design (STD)

### Streszczenie

W artykule przedstawiono modułowy system wspomagania projektowania transportu kopalnianego STD (Safe Trans Design), opracowany w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG, wdrożony i stosowany w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. Scharakteryzowano jego poszczególne moduły tematyczne w tym: konfigurator kolejek podwieszonych, moduł obliczeń trakcyjnych oraz moduł analiz kolizyjności 2D. Omówiono kierunki przyszłych prac nad rozwojem systemu.

**Słowa kluczowe:** system wspomagania projektowania transportu kopalnianego, konfigurator kolejek podwieszonych, moduł obliczeń trakcyjnych, moduł analiz kolizyjności, konfigurator zestawu nośnego

**Keywords:** system for aiding the designing process of mine transportation, configurator of suspended monorails, module for traction calculations, module for collision analysis, configurator of carrying system

### Summary

Safe Trans Design (STD) modular system aiding designing of mine transport, which was developed at the KOMAG Institute of Mining Technology, and implemented and used at Jastrzebska Coal Company, JSC, is presented. Its thematic modules, including configurator of suspended monorails, traction calculations module and module for 2D collision analyses, are characterized. Directions of future work on development of the system are discussed.

## 1. Wstęp

Zwiększająca się długość tras kolejek spągowych i podwieszonych w polskich kopalniach węgla kamiennego oraz brak zunifikowanego podejścia do tworzenia dokumentacji systemów transportowych pociąga za sobą konieczność standaryzacji w tej dziedzinie. Dokumentacje te opracowywane są również w przypadku udostępniania trasy nowym środkom transportu. Dokumentacja obejmuje m.in. takie aspekty jak właściwy dobór ciągnika, wózków hamulcowych czy zestawów nośnych w określonych warunkach, dotyczących np. posiadanych przez daną kopalnię typów tras podwieszonych (długość szyn, nośność zawiesi, rodzaj profilu, z listwą zębatą itp.), a także specyfiki występujących dróg transportowych. Skutkiem takiego stanu rzeczy jest konieczność prowadzenia przez pracowników kopalń wielu obliczeń i analiz weryfikacyjnych, których zakres rozszerza się, między innymi wskutek modernizacji górniczych środków transportu pomocniczego, gdzie jeszcze do niedawna stosowano przede wszystkim linowe kolejki podwieszane i spągowe. W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG od kilku lat rozwijany jest modułowy system wspomagania projektowania transportu kopalnianego Safe Trans Design (STD), który umożliwia dobór poszczególnych komponentów kolejki podwieszanej i ich kompleksową ocenę [5]. W niniejszym artykule przedstawiono, zarówno

aktualną wersję systemu wspomagania projektowania transportu kopalnianego, z której korzystają pracownicy Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., jak również kierunki rozwoju systemu STD.

## 2. Ogólna charakterystyka modułów systemu STD, wdrożonych w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A.

Obecnie w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. wdrożone są dwa moduły systemu STD, rysunek 1.



Rys.1. Moduły systemu STD wdrożone w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. (opracowanie własne na podstawie [1, 6, 7])

Dostęp do modułów jest zdalny, tzn. system umiejscowiony jest na serwerze, z którym, za pomocą stacji roboczych, łączą się uprawnieni użytkownicy. Konfigurator kolejek podwieszonych umożliwia

przygotowanie danych wejściowych do obliczeń trakcyjnych (pełni rolę preprocesora). Dane wejściowe dotyczą następujących komponentów kolejki podwieszanej:

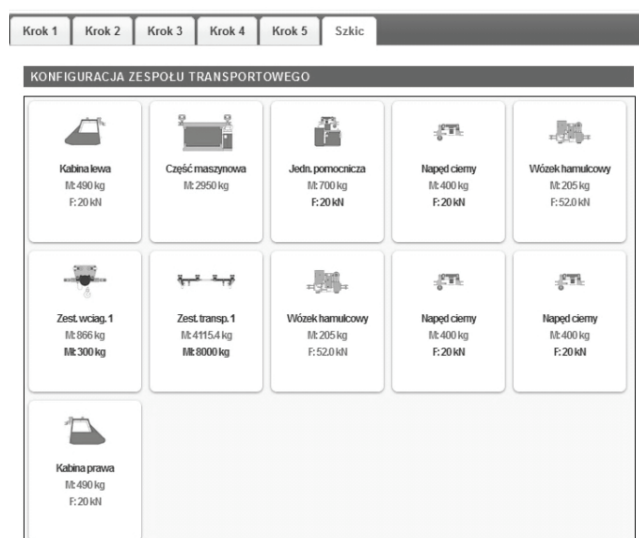
- ciągnik: kabiny operatorów, napędy (cierne, zębate), część maszynowa oraz jednostka pomocnicza,
- wózki hamulcowe,
- zestawy nośne,
- zestawy wciągników,
- ciągła.

Moduł obliczeń trakcyjnych służy do wykonania obliczeń umożliwiających ocenę wybranej konfiguracji kolejki podwieszanej w świetle określonych warunków przyszłego prowadzenia transportu.

### 2.1. Konfigurator kolejek podwieszonych

Konfigurowanie ciągnika możliwe jest po wprowadzeniu następujących danych: typ kabiny, liczba i rodzaj napędów, typ części maszynowej oraz typ jednostki pomocniczej. Wózki hamulcowe dobierane są ze względu na wartość statycznej siły hamownia oraz układu, w którym mogą pracować, np. DUO lub QUADRO. Dobór zestawów nośnych i wciągników wymaga podania przez użytkownika danych trasy, tj. profilu szyny, długości szyn oraz nośności złączy. Parametry trasy mogą znacząco wpłynąć na obniżenie masy przewożonych ładunków.

Konfiguracja kolejki podwieszanej jest przedstawiana w postaci interaktywnego schematu, na którym istnieje możliwość wzajemnego przemieszczania poszczególnych komponentów kolejki, rysunek 2.



Rys.2. Graficzna prezentacja konfiguracji [6]

Uzupełnieniem graficznej prezentacji kolejki jest wykaz ciągieł łączących poszczególne komponenty. W ten sposób możliwe jest dokładne obliczenie długości i masy kolejki.

### 2.2. Moduł obliczeń trakcyjnych

Utworzona konfiguracja kolejki podwieszanej jest zapisywana w bazie danych, w postaci pliku projektu i weryfikowana za pomocą modułu obliczeń trakcyjnych. Prowadzenie obliczeń trakcyjnych jest obowiązkowe, a ich wyniki zamieszcza się w Dokumentacji Układu Transportu [3].

Realizacja obliczeń jest w pełni automatyczna, a wyniki są udostępniane użytkownikowi w postaci pliku raportu. Zawartość raportu oraz możliwe warianty obliczeń opublikowano w [6].

### 3. Doskonalenie funkcjonalności modułów systemu STD

Moduły systemu STD wdrożone w JSW S.A. są na bieżąco uaktualniane i udoskonalane. Celem wprowadzanych zmian jest poprawa funkcjonalności, takiej jak zwiększenie prędkości wykonywania obliczeń, generowania raportu czy wczytywania stron internetowych systemu. Uaktualnienia te są wynikiem propozycji pracowników JSW S.A. (użytkowników) oraz aktualnych trendów i technik, jakie wykorzystywane są przez deweloperów stron internetowych. W ramach użytkowania systemu przeprowadzono wiele spotkań, konsultacji, a także szkolenia. Wymiana danych pomiędzy modułami realizowana jest w oparciu o strukturę bazodanową. Obecnie w bazie danych znajduje się ok. 300 rekordów obejmujących dane tekstowe i graficzne dotyczące ciągników (napędy, kabiny, części maszynowe, jednostki pomocnicze), wózków hamulcowych, zestawów nośnych, wciągników, trawers wzdłużnych i poprzecznych, ciągieł, szyn trasy oraz elementów graficznych (ikonek). Obecnie opracowywane i rozwijane są moduły przedstawione na rysunku 3.



Rys.3. Rozwijane moduły systemu STD (opracowanie własne na podstawie [1, 6, 7])

W okresie wdrażania systemu w JSW S.A. zmodyfikowano szkielet strony tak, aby zapewnić przyjazne korzystanie z systemu STD na smartfonach i tabletach. Wielkość liter oraz układ dostosowany jest do rozdzielczości ekranu, co sprawia, że nawet na małym ekranie możliwa jest obsługa systemu STD. Dodatkowo wprowadzono zakładkę *nowości*, gdzie

podawane są informacje o zmianach systemu STD, szkoleniach, ankietach, itp.

W celu zapewnienia użytkownikowi większej przejrzystości zrezygnowano z bocznego menu, przez co obszar roboczy poszczególnych modułów zwiększył się. Opcje z bocznego menu przeniesiono na górną część obszaru roboczego strony internetowej.

Do zmian w module konfiguratora kolejek podwieszonych można zaliczyć następujące nowe funkcje:

- *intro* – podświetlenie poszczególnych pól konfiguratora, które informują użytkownika jakie czynności należy wykonać w danym kroku,
- *podgląd* – przedstawienie, w formie tabelarycznej, danych dotyczących trasy oraz wybranych składników kolejki podwieszanej,
- *info* – wyświetlenie informacji na temat wybranego składnika kolejki. Funkcja ta jest dostępna w odniesieniu do każdego elementu kolejki podwieszanej,
- możliwość wybrania elementów kolejki nie będących w posiadaniu spółki węglowej, a które są aktualnie oferowane przez producentów. Składniki te są wyróżnione innym kolorem oraz ikonką. Możliwość wykorzystania komponentów kolejki podwieszanej niebędących w posiadaniu spółki pozwoli na sprecyzowanie parametrów technicznych środków transportu przed ich ewentualnym zakupem,
- możliwość zapisu charakterystyki graficznej w popularnych formatach PNG, JPG, PDF, SVG. W przypadku ciągnika dodano wykres z charakterystyką prędkości. Obecnie wykresy przedstawiają aktualną charakterystykę z wprowadzonymi danymi trasy (nachylenie, siła pociągowa, prędkość),
- wykaz i dobór cięgieł łączących składniki kolejki podwieszanej realizowany jest w oddzielnym kroku w konfiguratorze.

Moduł wspomaganie obliczeń trakcyjnych rozszerzono o możliwość dodania charakterystyk graficznych i tabelarycznych. Z uwagi na różne typy danych wprowadzanych w poszczególnych modułach, opracowano dwie, następujące listy projektów:

- projekty z modułu konfiguratora obliczeń trakcyjnych oraz modułu wspomaganie obliczeń trakcyjnych,
- projekty z modułu analizy kolizyjności 2D kolejek spągowych.

Oprócz rozwoju wdrożonych funkcji w modułach, opracowywane są aktualnie komercyjne wersje modułu analiz kolizyjności 2D w odniesieniu do kolejek spągowych i podwieszonych oraz konfigurator zestawów nośnych.

### 3.1. Moduł analiz kolizyjności 2D

Moduł analiz kolizyjności 2D wspomaga projektanta w tworzeniu nowej lub uaktualnieniu istniejącej trasy systemu transportu. Umożliwia przeprowadzenie symulacji przejazdu urządzenia transportowego (platformy transportowej, zestawu nośnego) wraz z ładunkiem po trasie kolejki. W trybie analizy 2D, w odniesieniu do wybranych odcinków trasy (zakręty, skrzyżowania, rozwidlenia), wyznaczane są: obwiednia ładunku, obwiednia platformy transportowej, obwiednia trawers i obwiednia odstępów ruchowych. Wyniki analizy kolizyjności dokumentowane są w postaci plików graficznych CAD, co umożliwia ich analizę i dalszą obróbkę przez projektanta systemu transportowego.

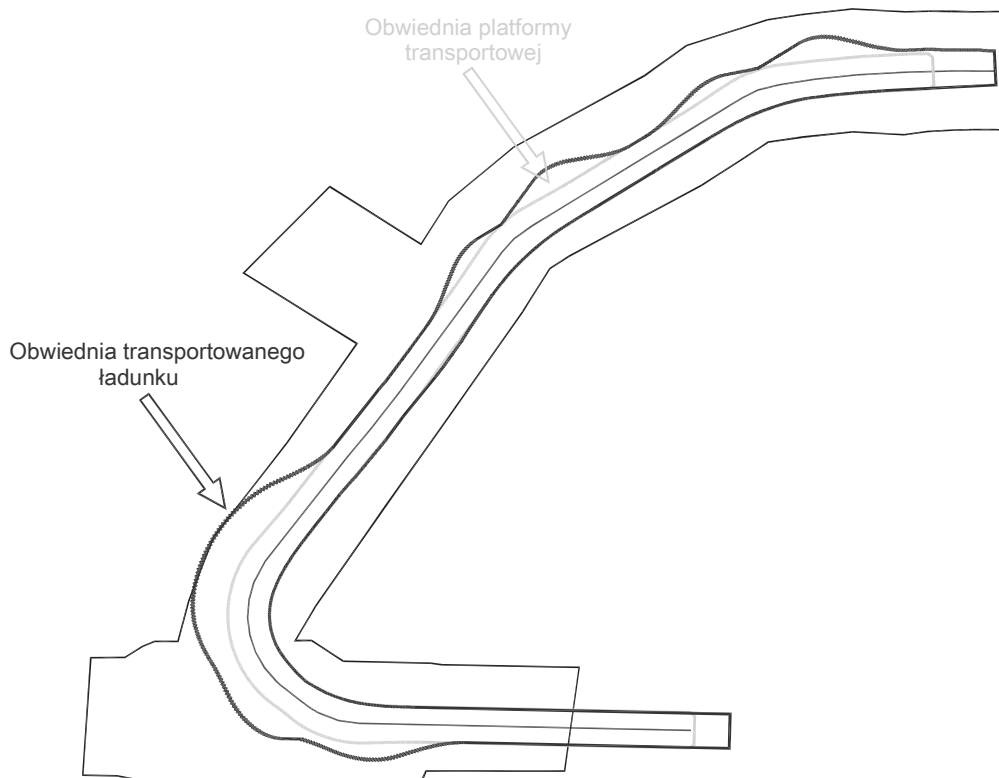
Obecnie większość dokumentacji rysunkowej tych projektów powstaje z wykorzystaniem systemu projektowania AutoCAD, który jest jednym z systemów wspomaganie projektowania CAD (ang. *Computer Aided Design*).

Pracownicy Działów Przygotowania Produkcji kopalń, na lokalnych stacjach roboczych wyposażonych w program AutoCAD, przygotowują plik DWG z wybranym fragmentem trasy kolejki. Następnie, poprzez przeglądarkę internetową, logują się do systemu STD. Po wybraniu modułu analizy kolizyjności 2D, poprzez formularz internetowy, wprowadzają dane niezbędne do przeprowadzenia analizy. Analizy kolizyjności wykonywane są przez autorskie oprogramowanie, pracujące w środowisku AutoCAD Server. Wyniki analizy, w postaci plików DWG, z poszczególnych etapów pracy programu, przesyłane są do użytkownika końcowego, w postaci pliku archiwum, np. ZIP.

W trakcie prowadzenia symulacji można wyróżnić następujące etapy pracy programu do analizy kolizyjności 2D kolejek spągowych (pliki DWG tworzone przez program symulacyjny):

- lokalizacja urządzenia transportowego, wraz z ładunkiem na początku trasy,
- kolejne kroki symulacji przejazdu urządzenia transportowego, wraz z ładunkiem po trasie kolejki; ślady urządzenia transportowego oraz ładunku,
- wyznaczenie obwiedni urządzenia transportowego oraz ładunku – przedstawiono na rysunku 4,
- wyznaczenie obwiedni odstępów ruchowych.

Moduł do analizy kolizyjności 2D może być stosowany w przypadku projektów systemu transportu, w których dokumentacja rysunkowa wykonywana jest w różnych systemach CAD. W takim przypadku dane wejściowe z systemu CAD (trasa kolejki, zarys wyrobiska), eksportowane są w formacie pliku DWG AutoCAD'a, zaś wyniki analizy kolizyjności eksportowane są przez program AutoCAD w postaci plików systemu CAD, stosowanego w danej spółce węglowej.



Rys.4. Analiza kolizyjności 2D dla kolejki spągowej. Przykładowy wynik pracy programu w odniesieniu do etapu 3 – obwiednie urządzenia transportowego (platformy transportowej) oraz ładunku [1]

### 3.2. Konfigurator zestawu nośnego

W przypadku kompletnych, modułowych zestawów nośnych, producenci zamieszczają w instrukcji ograniczenia nośności zestawu, w funkcji długości szyn trasy kolejki podwieszanej oraz nośności złączy na trasie, czyli tzw. charakterystykę nośności. Jakakolwiek modyfikacja zestawu, np. wymiana cięgieł na krótsze, nie uwzględniona w instrukcji, nie jest możliwa, ponieważ ten sam ciężar użyteczny (netto) ładunku, mógłby spowodować przekroczenie dopuszczalnego obciążenia pojedynczego łuku obudowy chodnikowej, wynoszącego 40 kN. W ramach systemu STD rozwijane jest narzędzie umożliwiające konfigurację zestawów nośnych zbudowanych z wciągników hydraulicznych lub ręcznych, zamontowanych na wózkach nośnych kolejek podwieszonych, a następnie prowadzenie wymaganych obliczeń weryfikujących w trybie automatycznym.

Tok obliczeń w konfiguratorze zestawu nośnego jest następujący [7]:

- konfiguracja modułowego zestawu nośnego z dostępnych komponentów – dobór cięgieł, belek nośnych oraz wciągników,
- pozycjonowanie środka ciężkości transportowanego ładunku,

- obliczenie wartości sił na rolkach nośnych utworzonego zestawu, pochodzących od sumy mas zestawu nośnego i transportowanego ładunku,
- przeprowadzenie symulacji przejazdu i obliczenie maksymalnego obciążenia zawiesia dla zadanych parametrów trasy.

Wynikiem działania modułu jest charakterystyka nośności zestawu w funkcji parametrów trasy.

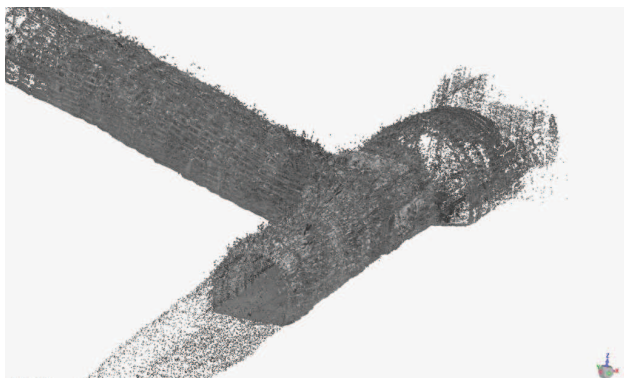
## 4. Kierunki rozwoju systemu STD

W ramach aktualnych prac badawczych rozwijany będzie moduł analiz kolizyjności oraz opracowywany nowy moduł do analiz dynamicznych.

### 4.1. Rozwój modułu analiz kolizyjności

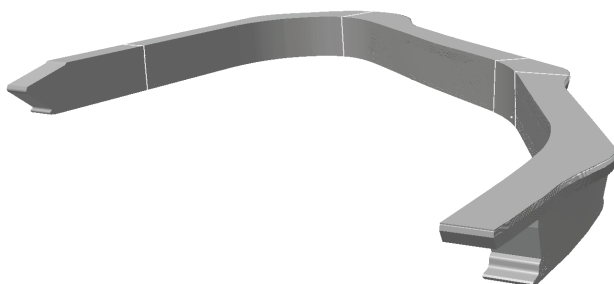
Pełną analizę kolizyjności przeprowadza się dysponując przestrzennym modelem geometrycznym wyrobiska chodnikowego oraz przestrzennym modelem geometrycznym odzwierciedlającym ślad bryły transportowanego ładunku. W celu utworzenia przestrzennego modelu geometrycznego wyrobiska chodnikowego, odzwierciedlającego jego rzeczywiste wymiary, należy wykonać skanowanie laserowe. W Instytucie KOMAG, w ramach prac badawczych [2]

przeprowadzono skanowanie przestrzenne fragmentu wyrobiska korytarzowego (skrzyżowania), przeznaczony do transportu materiałów i przewozu osób. Wynik skanowania w postaci chmury punktów przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Wynik skanowania przestrzennego – chmura punktów – skrzyżowanie wyrobisk korytarzowych na drodze transportowej – rzut izometryczny [2]

W celu utworzenia przestrzennego modelu geometrycznego odzwierciedlającego ślad bryły transportowanego ładunku, przeprowadzono symulację przejazdu urządzenia transportowego, wraz z ładunkiem, po trasie kolejki spągowej, z założonym krokiem symulacji. Po każdym kroku tworzono kopię modelu geometrycznego ładunku w postaci bryły 3D. Po zakończeniu symulacji, wszystkie kopie połączono w jedną bryłę 3D, rysunek 6.

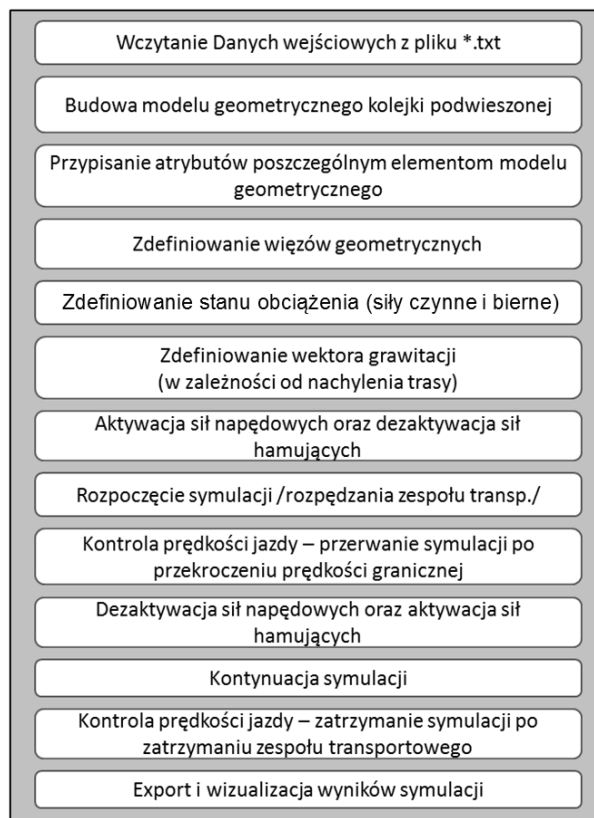


Rys.6. Przykładowe badania symulacyjne – ślad bryły transportowanego ładunku [Źródło: opracowanie własne]

Dysponując modelem 3D wyrobiska chodnikowego oraz modelem 3D odzwierciedlającym ślad bryły transportowanego ładunku, dokonuje się ich wzajemnej orientacji aby uzyskać jeden model 3D, zawierający wyrobisko chodnikowe oraz ślad transportowanego ładunku. Następnie, dokonuje się przecięcia tak otrzymanego modelu 3D płaszczyznami równoległymi do spągu (w wyniku przecięcia uzyskuje się obwiednię transportowanego ładunku wpisaną w przekrój podłużny wyrobiska) lub płaszczyznami zawierającymi kolejne łuki obudowy chodnikowej (w wyniku przecięcia otrzymywany jest przekrój poprzeczny transportowanego ładunku wpisany w przekrój poprzeczny wyrobiska).

## 4.2. Rozwój modułu analiz dynamicznych

Moduł analiz dynamicznych umożliwić będzie obliczanie przeciążeń dynamicznych występujących w określonych stanach pracy kolejki podwieszanej. Na rysunku 7 przedstawiono przykładowy algorytm działania modułu analiz dynamicznych, w sytuacji awaryjnego hamowania.



Rys.7. Algorytm działania modułu analiz dynamicznych w sytuacji awaryjnego hamowania kolejki podwieszanej [4]

System STD automatycznie tworzy plik zawierający dane wejściowe wymagane do budowy dynamicznego modelu obliczeniowego kolejki podwieszanej. Po wczytaniu pliku danych generowany jest uproszczony model geometryczny, przedstawiony na rysunku 8.

Poszczególne komponenty modelu połączone są więzami geometrycznymi oraz posiadają przypisane atrybuty wymagane do budowy modelu obliczeniowego. Warunki początkowe i brzegowe modelu obliczeniowego zawierają nachylenie trasy, po której przemieszcza się kolejka podwieszona oraz jej stan obciążenia wynikający z masy własnej, mas transportowanych ładunków, a także wartości sił napędowych i hamowania (sił czynnych). Po utworzeniu modelu obliczeniowego uruchamiana jest symulacja, zgodnie z opracowanym algorytmem (rys. 7). Przewiduje się, że wyniki symulacji udostępniane za pomocą systemu STD, w module obliczeń trakcyjnych będą zawierać:

- prędkość jazdy kolejki podwieszonej,
- przyspieszenie kolejki podwieszonej,
- siły działające na cięgła łączące poszczególne komponenty kolejki.

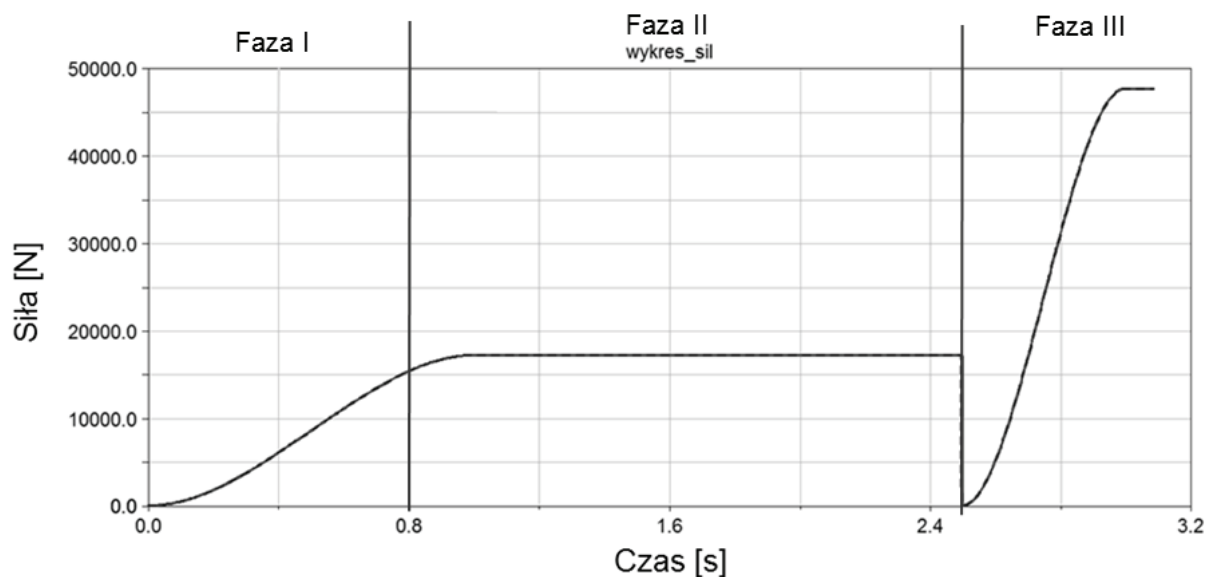
Na rysunku 9 przedstawiono przykładowy wynik symulacji – przebieg siły w jednym z cięgieł kolejki podwieszonej.

## 5. Podsumowanie

Podstawowym celem stosowania systemu STD jest poprawa bezpieczeństwa pracy, wynikająca z minimalizacji prawdopodobieństwa popełnienia błędów podczas konfiguracji kolejki podwieszonej, tj. doborze danych wejściowych i wykonywaniu obliczeń trakcyjnych. Stosowanie systemu STD, dzięki



Rys.8. Uproszczony model geometryczny kolejki podwieszonej (opracowanie własne na podstawie [4])



Rys.9. Przykładowy przebieg siły wypadkowej działającej na jedno cięgło podczas awaryjnego hamowania kolejki podwieszonej [4]

Widoczne są trzy następujące fazy:

- faza I – aktywacja i narastanie sił napędowych – w tej fazie kolejka podwieszona nie przemieszcza się. Siła działająca na cięgło wzrasta wraz ze wzrostem wartości sił napędowych,
- faza II – sumaryczna wartość sił napędowych jest większa niż opory ruchu, w wyniku ich działania prędkość kolejki podwieszonej zwiększa się. Cięgło jest rozciągane/ściskane ze stałą wartością siły wynikającej z lokalizacji cięgła w kolejce,
- faza III – rozpoczyna się, gdy kolejka podwieszona osiąga graniczną wartość prędkości. Przystają działające siły napędowe, natomiast wartość sił hamujących rośnie, począwszy od zera. Prędkość kolejki podwieszonej gwałtownie maleje. Siła działająca na cięgło gwałtownie maleje (brak sił napędowych), a następnie wzrasta co jest wynikiem działania sił hamujących. Przedstawiona na rysunku wartość siły jest wartością bezwzględną. Należy jednak zauważyć, że podczas hamowania następuje również zmiana zwrotu wektora siły działającej na cięgło, co skutkuje tym, że cięgła rozciągane są w tym przypadku ściskane, a cięgła ściskane są rozciągane.

istotnemu wsparciu służb kopalnianych w zakresie wykonywania pracochłonnych obliczeń skutkuje ukierunkowaniem prac inżynierskich prowadzonych w kopalniach na prace koncepcyjne. Powoduje to, iż tworzone przy wspomaganii systemu STD konfiguracje są optymalne w aspekcie panujących warunków i transportowanych mas ładunków.

Dostępność systemu STD na platformie internetowej oraz jego struktura bazodanowa umożliwiającą szybką aktualizację zasobów i ich uaktualnienie zgodnie z dostępnym parkiem maszynowym. Rozwój systemu STD jest odpowiedzią na faktyczne potrzeby jego użytkowników. Rozszerzanie funkcjonalności poprzez dodawanie nowych modułów i funkcji spowoduje, że system STD stanie się narzędziem wielozadaniowym, stosowanym powszechnie w procesie planowania pomocniczego transportu w kopalniach węgla kamiennego.

## Literatura

1. Dudek M., Turewicz A., Tokarczyk J.: Opracowanie modułu analiz kolizyjności 2D dla kolejek spągowych i jego integracja z systemem STD.

- 
- Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice, 2014.(nie publikowana)
2. Dudek M., Winkler T., Tokarczyk J., Michalak D., Szewerda K.: Modelowanie aktualnych cech geometrycznych tras transportowych kopalń węgla kamiennego. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice, 2013 (nie publikowana).
  3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169 oraz z 2006 r. Nr 124, poz. 863).
  4. Szewerda K., Turewicz A., Tokarczyk J.: Parametryzacja zadań obliczeniowych klasy MBS (ang. MultiBody System) prowadzonych w trybie wsadowym na przykładzie modułu analiz dynamicznych systemu STD (ang. Safe Trans Design). Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice, 2013 (nie publikowana).
  5. Tokarczyk J., Dudek M., Turewicz A., Pakura A.: System wspomagania obliczeń trakcyjnych dla kolejek podwieszonych z napędem własnym. *Maszyny Górnicze* 2011 nr 3 s. 26 – 31.
  6. Tokarczyk J., Dudek M., Turewicz A.: System wspomagania projektowania transportu kopalnianego Safe Trans Design. W: *Innowacyjne Techniki i Technologie dla Górnictwa. Bezpieczeństwo – Efektywność – niezawodność*. KOMTECH 2013. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013 s. 277-287.
  7. Tokarczyk J., Turewicz A.: Weryfikacja i walidacja opracowanego narzędzia wspomagania identyfikacji sił na trasach kolejek podwieszonych. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice, 2011 (nie publikowana).

*Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2014 r.*