

Komputerowe wspomaganie procesu konfiguracji i oceny środków pomocniczego transportu górniczego

Jarosław Tokarczyk, Andrzej Turewicz, Marek Dudek, Kamil Szeverda, Edward Pieczora

1. Wprowadzenie

Transport urządzeń, materiałów i urobku oraz przewóz ludzi stanowi jedno z najważniejszych ogniw procesu wydobywczego zakładu górniczego. O ile transport po spągu jest stosowany od początku rozwoju górnictwa, to początek stosowania transportu podwieszonoego nastąpił dopiero w połowie XX wieku. Stał się on podstawą transportu pomocniczego w wyrobiskach nachylonych, zwłaszcza o słabych spągach. Początkowo powszechnie stosowany był transport podwieszonymi kolejkami szynowymi z napędem linowym. W tym przypadku siła uciągu przenoszona była przez linę ciągnącą, zaś trasa służyła do przemieszczania zestawu transportowego. Ograniczenia tego rodzaju transportu [1] spowodowały opracowanie i wdrożenie do eksploatacji szynowych kolejek spalinowych z napędem własnym, przede wszystkim spalinowym, a ostatnio także z napędem akumulatorowym. W tym przypadku trasa jezdna służy nie tylko do przemieszczania ciągników i zestawów transportowych, ale przede wszystkim przenosi siłę uciągu. Wynikła stąd konieczność opracowania, przeprowadzenia badań i dopuszczenia przez Prezesa WUG do stosowania w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych nowych typów tras szynowych łącznie z ich zawieszami.

Zgodnie z obowiązującym od 1 lipca 2017 r. Rozporządzeniem Ministra Energii w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [3] ruch układu transportowego prowadzi się w sposób określony w dokumentacji układu transportu, która zgodnie z § 630.1 musi zawierać m.in.:

- charakterystykę techniczną maszyn i urządzeń transportowych, obejmującą:
 - parametry eksploatacyjne,
 - cechy charakteryzujące środki transportowe oraz trakcję;
- obliczenia trakcyjne:
 - dróg hamowania,
 - maksymalnych transportowanych ciężarów użytecznych z uwzględnieniem dopuszczalnych obciążeń elementów złącznych, nośnych i zabezpieczających.

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom użytkowników transportu podwieszonoego, w Instytucie KOMAG opracowano system STD (*Safe Trans Design*) [2], który umożliwia odpowiedni dobór komponentów podwieszonych zestawów transportowych z napędem własnym, np. ciągnika, wózków hamulcowych, zestawów nośnych do konkretnych warunków prowadzenia

Streszczenie: W artykule omówiono modułowy system wspomagania projektowania pomocniczego transportu kopalnianego STD (ang. *Safe Trans Design*) w wersji 2.0, opracowany w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG i wdrożony w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Przedstawiono założenia i strukturę systemu oraz omówiono jego moduły: konfigurator zespołów transportowych, moduł obliczeń trakcyjnych i moduł analizy kolizyjności 2D. System STD stosowany jest w pracach projektowych dotyczących górniczych układów transportowych z wykorzystaniem kolejek podwieszonych i spągowych. Przedstawiono możliwości obliczeń dynamicznych oddziaływania kolejek podwieszonych na trasę jezdnią w świetle najnowszych przepisów.

Słowa kluczowe: szynowy transport pomocniczy, obliczenia trakcyjne, analizy kolizyjności, program symulacyjny, obliczenia dynamiczne

COMPUTER AIDED PROCESS OF CONFIGURATION AND EVALUATION OF AUXILIARY MINING TRANSPORT MEANS

Abstract: The article discusses the STD (*Safe Trans Design*) modular support system in version 2.0, developed in KOMAG Institute of Mining Technology and implemented in the mines of Jastrzębska Spółka Węglowa SA. The assumptions and structure of the system and its modules have been discussed: the configurator of suspended monorail, the traction calculation module and the 2D collision analysis module. The STD system is used in design works related to mining transport systems with the use of suspended monorails and floor-mounted railways. The possibilities of dynamic calculations of the impact of suspended monorails on the arch road support in the light of the latest regulations are presented.

Keywords: rail auxiliary transport, traction calculations, collision analysis, simulation program, dynamic calculations

transportu oraz wykonanie obliczeń trakcyjnych. Warunki te określane są przez nachylenie wyrobiska, a także parametry trasy podwieszonoej, takie jak: długość, profil i typ szyn oraz nośność zawiesi. Wyniki obliczeń dostarczają informacji

reklama

o maksymalnej masie netto transportowanego ładunku, drodze hamowania, opóźnieniu hamowania, rozkładzie sił wzdłużnych w ciągłach zespołu transportowego, a także umożliwiają analizę kolizyjności podczas transportu ładunków wielkogabarytowych.

W ww. rozporządzeniu [3] § 124 określono maksymalną siłę wypadkową pochodzącą od kolejki wraz z ładunkiem i obciążeniem pochodzącym od innych urządzeń, jaką można obciążyć pojedyncze odrzwia obudowy chodnikowej. Siła ta nie może przekraczać wartości 40 kN. Jednocześnie wprowadzono nowy zapis: „Stosowanie większych obciążeń jest dopuszczalne pod warunkiem przeprowadzenia obliczeń potwierdzających zachowanie stateczności obudowy wyrobiska”. Obliczenia powinny uwzględniać wszelkie możliwe statyczne i dynamiczne kombinacje oddziaływania na obudowę chodnikową ciągnika, zestawu transportowego oraz ładunku i ich bezwładności w dających się racjonalnie przewidzieć warunkach eksploatacyjnych. Instytut KOMAG, dzięki wdrożeniu metod obliczeń numerycznych, może się podjąć realizacji tych obliczeń.

2. System STD 2.0

System STD posiada strukturę modułową. Dostęp do poszczególnych modułów systemu realizowany jest poprzez przeglądarkę internetową. Po zalogowaniu i uwierzytelnieniu w systemie użytkownik uzyskuje uprawnienia do korzystania z poszczególnych modułów systemu, zasobów bazy danych środków transportu oraz utworzonych w systemie projektów. Baza danych systemu zawiera środki transportu niezbędne do konfiguracji podwieszonego zespołu transportowego: ciągniki z napędem własnym, wózki hamulcowe, wysokoobciążalne zestawy nośne, wciągniki, kabiny i ławy osobowe, wozy specjalne oraz ciągła łączące ze sobą poszczególne komponenty zespołu transportowego. Możliwe jest tworzenie nowych oraz edycja bądź usuwanie istniejących projektów systemu transportu. Pojęcie projektu systemu transportu obejmuje jedną konfigurację zestawu transportowego wraz z danymi wejściowymi (nachylenie trasy, typ szyny, nośność złącza) lub jeden przypadek analizy kolizyjności 2D. Strukturę wdrożonego systemu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura systemu STD 2.0 [opracowanie własne]

System STD 2.0 pozwala na kompleksową ocenę prawidłowości doboru konfigurowanego, podwieszonego zestawu transportowego oraz przeprowadzenie analizy kolizyjności podczas

przewodzenia prac transportowych. Składa się z następujących modułów:

- moduł administratora systemu – umożliwia tworzenie użytkowników systemu STD oraz nadawanie im uprawnień;
- konfigurator zespołów transportowych – służy do wprowadzenia wszystkich danych wejściowych do modułu oceny i raportowania;
- moduł oceny i raportowania – na podstawie danych wejściowych z konfiguratora zespołów transportowych automatycznie przeprowadza obliczenia wskazane w § 630.1 rozporządzenia [3] i tworzy raport;
- moduł analizy kolizyjności 2D dla kolejek podwieszonych i spągowych – umożliwia przeprowadzenie symulacji przejazdu urządzenia transportowego wraz z ładunkiem po trasie kolejki i identyfikację potencjalnych miejsc kolizji transportowanego ładunku z otoczeniem.

2.1. Konfigurator zespołów transportowych

Zadaniem modułu jest konfiguracja zespołu transportowego złożonego z dostępnych komponentów, jakie znajdują się w bazie danych. Konfiguracja zespołu transportowego obejmuje następujące czynności:

- dobór i konfiguracja ciągnika;
- dobór wózków hamulcowych;
- dobór zestawów transportowych (wysokoobciążalne zestawy nośne, zestawy wciągników), a także kabin i ław osobowych oraz wozów specjalnych;
- wprowadzenie danych dodatkowych, niezbędnych do przeprowadzenia obliczeń trakcyjnych;
- dobór ciągła i formowanie składu – wzajemna lokalizacja komponentów zespołu transportowego i łączących je ciągła.

2.1.1. Dobór i konfiguracja ciągnika

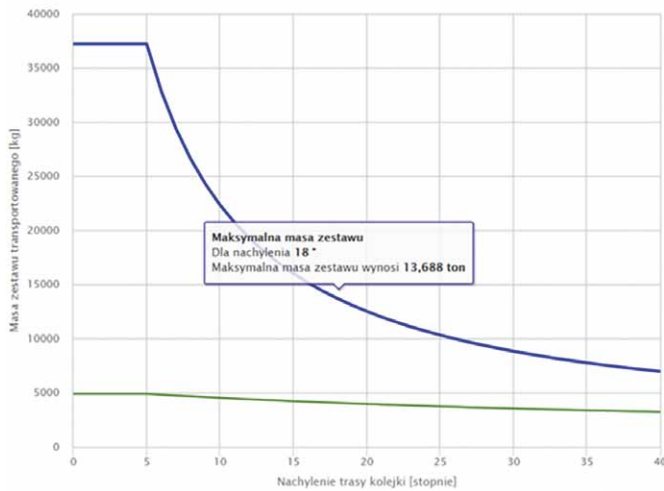
Z tabeli dostępnych ciągników wybierany jest ciągnik, który będzie zastosowany w projekcie układu transportu. Następnie wybierane jest maksymalne nachylenie trasy, maksymalna siła pociągowa oraz opcjonalnie prędkość prowadzenia transportu. Dla tak dokonanego wyboru, na podstawie charakterystyki trakcyjnej ciągnika, automatycznie odczytywana jest dopuszczalna masa całkowita zespołu transportowego ze względu na możliwości ciągnika. Dodatkowo dla wybranego ciągnika prezentowana jest jego charakterystyka trakcyjna, która może być przedstawiona w postaci graficznej lub w postaci tabelarycznej.

Po wyborze ciągnika należy dokonać jego konfiguracji, która polega na:

- doborze kabin (lewej i prawej);
- określeniu masy operatora (osobno dla kabiny lewej i prawej);
- doborze liczby i typu napędów;
- określeniu, czy część maszynowa i jednostka pomocnicza posiadają napędy.

2.1.2. Dobór wózków hamulcowych

Wprowadzane są dane dotyczące wózków hamulcowych, poprzez wybór nazwy, układu pracy i liczby wybranego typu wózka hamulcowego. Po wprowadzeniu powyższych danych generowany jest dynamiczny wykres, reprezentujący charakterystykę hamowania, rysunek 2. Na wykresie przedstawiono



Rys. 2. Charakterystyka hamowania przykładowego układu wózków hamulcowych [opracowanie własne]

dwie krzywe: krzywa górna wyznacza maksymalną masę zestawu transportowego, którą jest w stanie wyhamować wózek/układ wózków; krzywa dolna wyznacza minimalną masę, jaką powinien posiadać zestaw transportowy, w przypadku przewozu osób, ze względu na maksymalną wartość opóźnienia hamowania.

2.1.3. Dobór zestawów transportowych

Dane dotyczące zestawów transportowych (zestawów nośnych, zestawów wciągników oraz kabin osobowych/ław, wozów specjalnych), wprowadzane są poprzez interaktywne, dynamiczne tabele, które są „rozwijane” w zależności od liczby zestawów transportowych zastosowanych w danym projekcie.

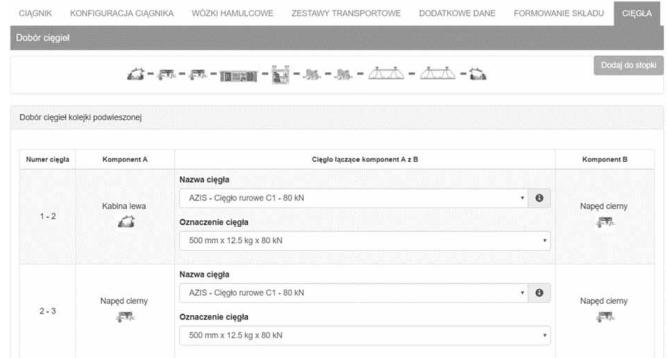
2.1.4. Wprowadzenie danych dodatkowych

Podawane są dodatkowe dane niezbędne do przeprowadzenia obliczeń trakcyjnych. Dane te są wstępnie określone dla wybranego ciągnika. Istnieje możliwość ich edycji. Do tych danych należą:

- współczynnik tarcia tocznego;
- współczynnik dynamicznej siły hamowania;
- prędkość zespołu transportowego przy wyzwoleniu przetwornika prędkości;
- prędkość zespołu transportowego przy wyzwoleniu wyzwalacza odśrodkowego;
- czas zamknięcia hamulca przez przetwornik prędkości;
- czas wyzwiania ograniczników prędkości wyzwalacza odśrodkowego.

2.1.5. Dobór cięgieł i formowanie składu

Ostatnim krokiem procesu konfiguracji jest dobór typu i oznaczenia cięgieł łączących poszczególne komponenty zespołu transportowego, które reprezentowane są poprzez ikonki (aktywne obiekty graficzne). Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy szkic zespołu transportowego.



2.2. Moduł oceny i raportowania

Moduł ten korzysta z danych wejściowych przygotowanych w konfiguratorze kolejek podwieszonych. Dla wprowadzonych danych wejściowych (nachylenie trasy, długość szyn trasy podwieszanej i nośności złącz trasy podwieszanej) oraz przeprowadzonej konfiguracji kolejki podwieszanej (dobór ciągnika, zestawów transportowych i wózków hamulcowych) moduł w sposób automatyczny przeprowadza następujące obliczenia:

- obliczenie masy kolejki podwieszanej bez ładunku (zespołu transportowego gotowego do jazdy);
- obliczenie maksymalnej masy netto ładunku transportowanego kolejką podwieszoną (zespołem transportowym) obliczoną na podstawie minimalnej wartości z:
 - maksymalnej masy netto ładunku, która może być transportowana przez ciągnik,
 - maksymalnej masy netto ładunku zabezpieczanej przez wózek hamulcowy/układ wózków hamulcowych,
 - maksymalnej masy netto ładunku, która może być transportowana przez zestawy transportowe: zestawy nośne, zestawy wciągników, kabiny osobowe/ławy;
- obliczenia trakcyjne dla hamowania przy użyciu:
 - hamulców ciągnika,
 - wózków/układu wózków hamulcowych – z uwzględnieniem masy ciągnika;
 - wózków/układu wózków hamulcowych – bez uwzględnienia masy ciągnika.

Wynikiem obliczeń trakcyjnych są następujące wartości: prędkość rozpoczęcia hamowania, energia hamowania, efektywna siła hamowania, droga hamowania oraz opóźnienie hamowania. Struktura raportu umożliwi wybór danych opisowych, które znajdą się w raporcie, oraz kolejności ich występowania. Obliczenia mogą być przeprowadzone dla rzeczywistej masy ładunku (wprowadzonej przez użytkownika) lub dla maksymalnej masy ładunku (dobrej z charakterystyki nośności).

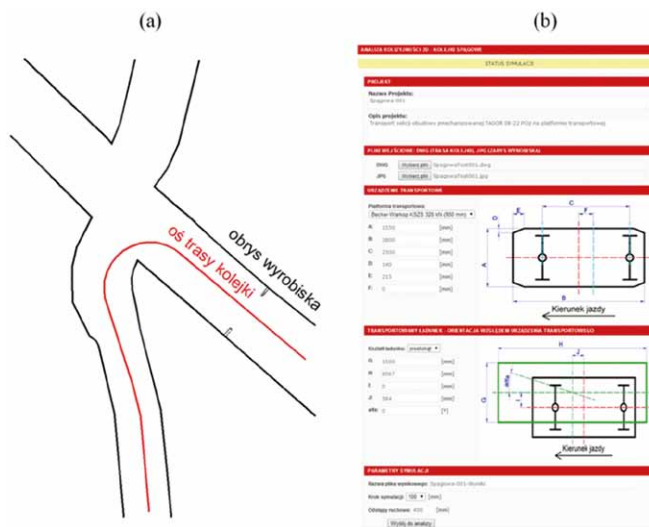
2.3. Moduł analizy kolizyjności 2D

Podczas likwidacji i zbrojenia ścian znaczący udział w całości realizowanych wtedy zadań transportowych mają przewozy ładunków wielkogabarytowych. Są to sekcje ścianowej obudowy zmechanizowanej, rynny przenośników ścianowych oraz zespoły kombajnów ścianowych. Zwiększające się gabaryty i masy transportowanych maszyn i innych urządzeń wymagają projektowania systemów transportowych w oparciu o analizy istniejących tras, w aspekcie możliwości wystąpienia kolizji z obudową oraz wyposażeniem wyrobisk korytarzowych. Ponadto wymagane jest zachowanie odpowiednich, określonych przepisami prawa, odstępów ruchowych pomiędzy elementami środków transportu, ociosem i spągkiem. Zgodnie z § 648 rozporządzenia [3] odstęp między krawędziami zestawu transportowego z transportowanym ładunkiem a obudową wyrobiska, ociosem, odrzwiami lub maszynami i urządzeniami, a także mijającymi się zestawami transportowymi wynosi nie mniej niż 0,25 m. Natomiast odstęp między krawędziami najszerszego środka transportowego kolejek podwieszonych a obudową wyrobiska, ociosem, odrzwiami lub maszynami i urządzeniami wynosi nie mniej niż 0,8 m. W układach transportu kolejkami podwieszonymi odległość od spągu do dolnej krawędzi środka transportowego lub transportowanego materiału wynosi nie mniej niż 0,3 m.

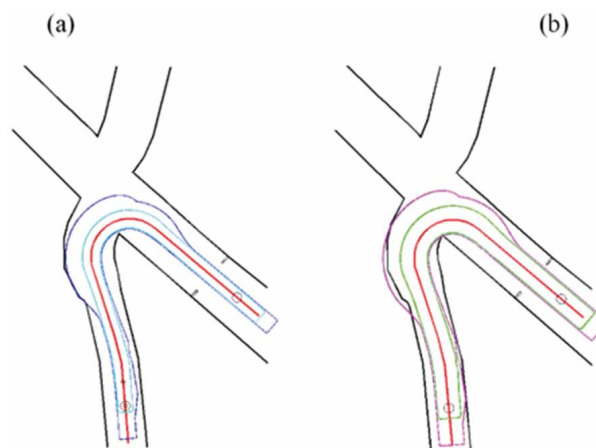
Bezkolizyjny przejazd ładunku w czasie transportu realizowanego w wyrobiskach korytarzowych kopalń uzależniony jest od odpowiedniego zaprojektowania trasy jezdnej oraz właściwego doboru zestawu transportowego. Analizy kolizyjności można wykonać bądź to na etapie tworzenia projektu wyrobisk korytarzowych o przeznaczeniu transportowym, bądź też na etapie prowadzenia prac transportowych. Na etapie tworzenia projektu wyrobisk korytarzowych analizy kolizyjności przeprowadza się w celu sprawdzenia przekrojów poprzecznych wyrobiska oraz lokalizacji trasy kolejki w wyrobisku (sprawdzenie przejazdów przez skrzyżowania wyrobisk, zakręty, rozwidlenia itp.). Na etapie prowadzenia prac transportowych analizy kolizyjności przeprowadza się w celu uwzględnienia zmniejszania się przekrojów poprzecznych wyrobisk korytarzowych na skutek oddziaływania górotworu (konwergencja wyrobiska).

Opracowany moduł analizy kolizyjności 2D wspomaga projektanta systemów transportów podwieszonych, a także spągowych w tworzeniu nowej lub weryfikacji istniejącej trasy. Usprawnia proces wykonywania analiz kolizyjności, skraca ich czas, ujednolica formę specyfikacji danych wejściowych oraz formę otrzymywanych wyników końcowych. Efektem przeprowadzonej symulacji są obwiednie, wyznaczone w przekroju podłużnym wyrobiska: transportowanego ładunku, platformy transportowej (dla transportu spągowego), trawers (dla transportu podwieszonoego) oraz obwiednia odstępów ruchowych (wynikających z przepisów). Wyniki analizy kolizyjności dokumentowane są w postaci plików graficznych CAD oraz rastrowych JPG, co umożliwia ich późniejszą analizę i dalszą obróbkę przez projektanta systemu transportowego.

Przygotowanie danych wejściowych do analizy kolizyjności składa się z dwóch etapów: przygotowania danych trasy



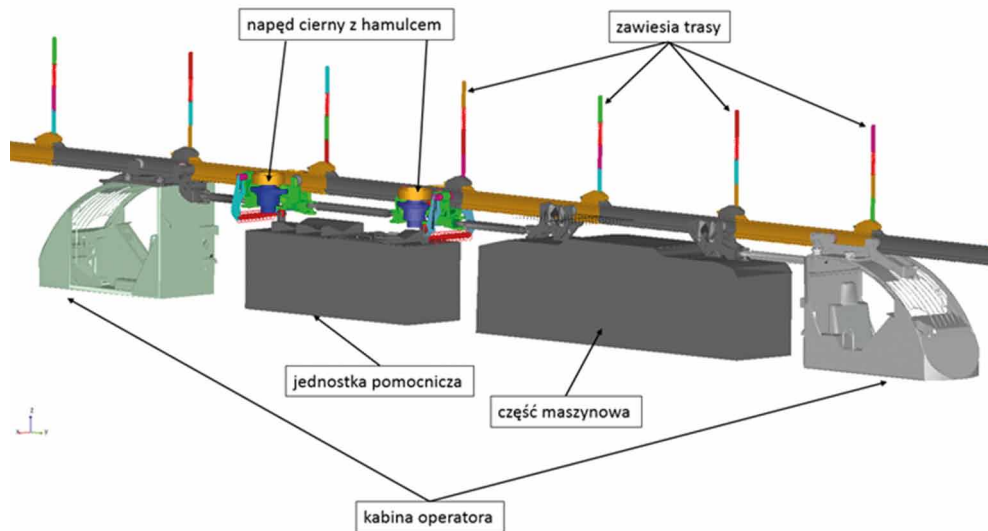
Rys. 4. Przykładowa analiza kolizyjności dla kolejek spągowych – formułowanie danych wejściowych w programie CAD (a) [6] oraz w formularzu internetowym (b) [opracowanie własne]



Rys. 5. Przykładowa analiza kolizyjności – transport szynowy spągowy – obwiednia urządzenia transportowego oraz transportowanego ładunku dla założonych odstępów (przejeźd) ruchowych: 0 m (a) oraz 0,4 m (b) [opracowanie własne]

i opcjonalnie zarysu wyrobiska w programie CAD oraz podania pozostałych danych poprzez formularz internetowy systemu STD. Na rysunku 4 a przedstawiono przykład formułowania danych wejściowych w programie CAD, na rysunku 4 b przedstawiono formularz internetowy dla kolejek spągowych, wypełniony przykładowymi danymi wejściowymi.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe pliki wynikowe analizy kolizyjności 2D dla transportu ładunku wielkogabarytowego (sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej) platformą transportową (transport szynowy spągowy).



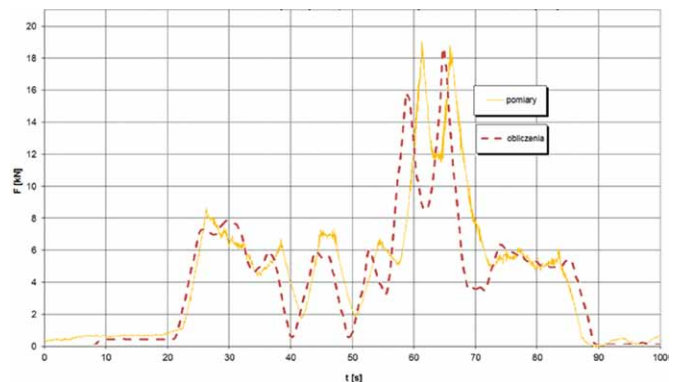
Rys. 6. Model obliczeniowy zespołu transportowego przeznaczony do analiz w oprogramowaniu klasy CAE [4]

3. Obliczenia dynamiczne

Zaawansowane systemy klasy CAE umożliwiają przeprowadzenie identyfikacji zjawisk dynamicznych związanych z prowadzeniem transportu pomocniczego w kopalniach węgla kamiennego. Przykładem zastosowania oprogramowania klasy CAE były analizy zjawisk dynamicznych podczas normalnej pracy oraz w stanach awaryjnych w odniesieniu do kolejek podwieszonych. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy model obliczeniowy zespołu transportowego złożonego z: dwóch kabin operatora, części maszynowej oraz jednostki pomocniczej wraz z dwoma napędami ciernymi i hamulcami.

Prowadzenie symulacji numerycznych pracy kolejek podwieszonych umożliwia identyfikację wpływu zmiany wybranych parametrów pracy kolejki na zjawiska dynamiczne zachodzące podczas transportu materiału i przewozu ludzi. Analizy takie pozwalają na optymalizację konstrukcji kolejek podwieszonych czy zwiększenie bezpieczeństwa.

Innym zastosowaniem symulacji numerycznych była identyfikacja obciążeń dynamicznych zawiesi trasy kolejki podwieszanej podczas przejazdu oraz awaryjnego hamowania zespołu transportowego kolejki podwieszanej. Zastosowanie zwalidowanego modelu obliczeniowego kolejki podwieszanej umożliwia przeprowadzenie symulacji przejazdu zespołu transportowego z różną prędkością, a także stanów niebezpiecznych, np. awaryjne hamowanie takiego zespołu. Podstawową zaletą symulacji jest fakt, że próby awaryjnego hamowania przy różnych prędkościach jazdy zespołu można powtarzać w sposób bezpieczny. Wyniki takich prób pozwalają na identyfikację wpływu zjawisk dynamicznych na siły w zawiesiach trasy. Kolejną zaletą przeprowadzania symulacji numerycznych jest możliwość zarejestrowania sił i momentów sił w każdym zawiesiu trasy, a także w elementach łączących poszczególne komponenty zespołu transportowego. Uzyskane wyniki obliczeń numerycznych są weryfikowane z pomiarami rzeczywistymi.

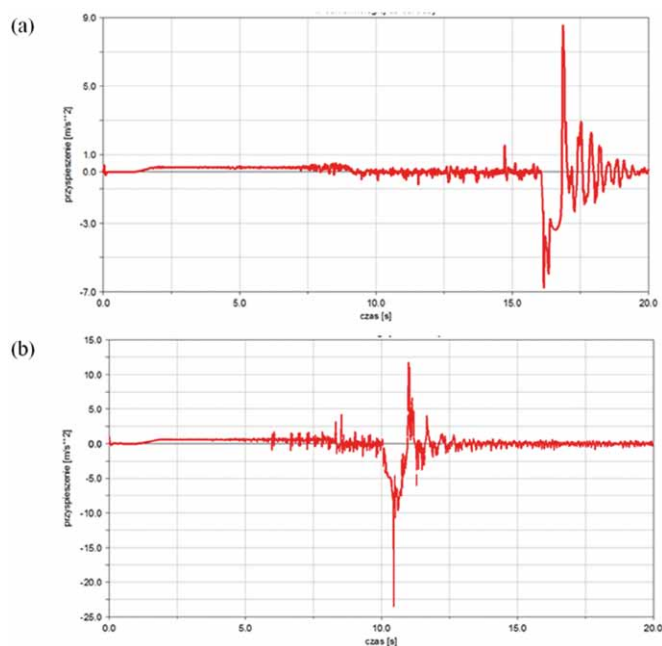


Rys. 7. Przebiegi siły w zawiesiu trasy podczas przejazdu kolejki podwieszanej [5]

Przykład porównania przebiegów siły w zawiesiu trasy podczas przejazdu zespołu transportowego przedstawiono na rysunku 7. Przebiegi te uzyskano na podstawie badań w warunkach *insitu* oraz z obliczeń numerycznych.

Ponadto podczas analiz rejestrowana jest prędkość oraz przyspieszenie ruchu wszystkich komponentów kolejki. Analiza wartości przyspieszenia podczas awaryjnego hamowania pozwala na oszacowanie ryzyka doznania urazu przez operatora kolejki lub przewożonych kolejką pracowników. Przykładowy przebieg wartości przyspieszenia, jakie działa na operatora kolejki podczas awaryjnego hamowania, przedstawiono na rysunku 8 a w odniesieniu do prędkości 2 m/s oraz na rysunku 8 b w odniesieniu do prędkości 4 m/s.

Na podstawie takich analiz wnioskować można o maksymalnych prędkościach jazdy, przy których w danych warunkach awaryjne hamowanie nie powoduje przekroczenia dopuszczalnych wartości opóźnień. Dodatkowo na podstawie analizy



Rys. 8. Przebieg wartości przyspieszenia działającego na operatora kolejki podczas awaryjnego hamowania z prędkości: 2 m/s (a) oraz 4 m/s (b) [4]

wyników poprzez zaproponowanie dodatkowych rozwiązań konstrukcyjnych istnieje możliwość poprawy bezpieczeństwa podczas transportu materiału i przewozu ludzi. Symulacje numeryczne klasy CAE znalazły zastosowanie przy opracowywaniu nowych innowacyjnych systemów hamowania w kolejkach podwieszonych, które są jednym z celów projektu o akronimie INESI, koordynowanego przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach [7].

Do sytuacji awaryjnych zalicza się także zerwanie łańcuchów w belkach nośnych podczas transportu materiałów wielkogabarytowych, takich jak sekcje obudowy zmechanizowanej. Przykładowy wynik symulacji transportu sekcji obudowy zmechanizowanej, podczas której zerwaniu uległo zawiesie w modułowym zestawie nośnym, przedstawiono na rysunku 9 [4].

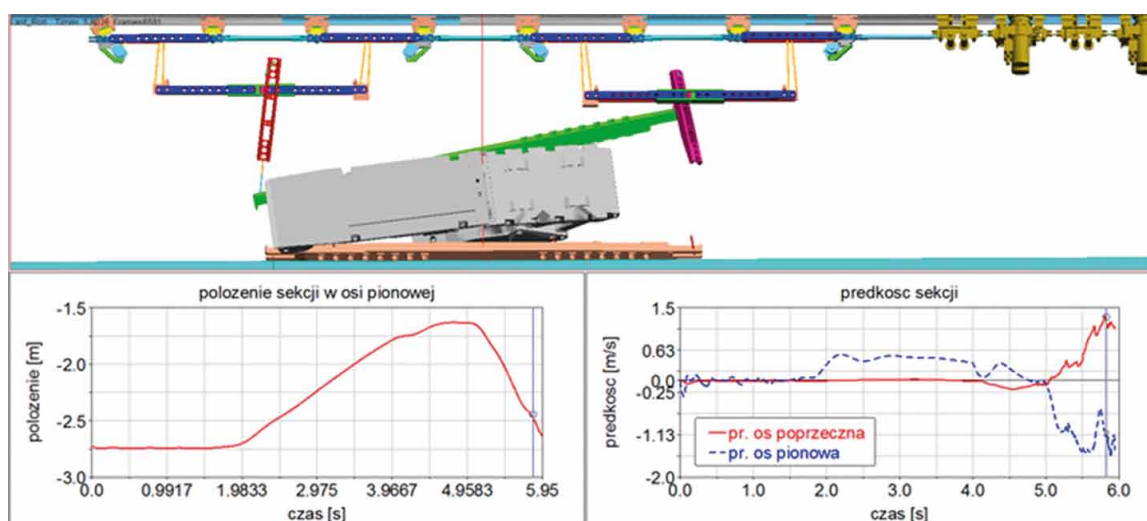
4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono modułowy system wspomaganie projektowania pomocniczego transportu kopalnianego STD, opracowany w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG oraz wdrożony w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Opracowany system stanowi wsparcie dla służb kopalnianych w zakresie tworzenia dokumentacji układu transportu z zastosowaniem kolejek podwieszonych.

System cechują następujące zalety:

- minimalizacja możliwości wystąpienia błędów podczas konfiguracji i oceny zespołów transportowych, co przekłada się na poprawę bezpieczeństwa;
- zwiększenie efektywności służb kopalnianych zajmujących się opracowywaniem dokumentacji układów transportu poprzez możliwość szybszej oceny tworzonych wariantów dla kolejek podwieszonych;
- ujednoczenie formy i automatyzacja procesu tworzenia raportów z przeprowadzonych obliczeń;
- zintegrowane gromadzenie danych dotyczących parametrów technicznych aktualnie stosowanych komponentów kolejek podwieszonych w kopalni/spółce węglowej;
- elektroniczna archiwizacja prac projektowych.


Opracowanie kolejnych wersji systemu STD (uzupełnionych o kolejne moduły obliczeniowe) jest wynikiem propozycji użytkowników końcowych oraz rozwoju narzędzi i technik tworzenia stron internetowych.



Rys. 9. Wyniki symulacji zerwania zawiesia w modułowym zestawie nośnym podczas transportu sekcji obudowy zmechanizowanej [4]

Literatura

- [1] PIECZORA E., TOKARCZYK J.: *Development of mine underground transportation with use of suspended monorails*. „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 4/2017.
- [2] Projekt MINTOS: Improving Mining Transport Reliability. RFCS Coal RTD Programme, Contract No. RCR-CT-2007-00003. Gliwice, 2007–2010 (niepublikowana).
- [3] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. z 2017 r. poz. 1118).
- [4] SZEWERDA K.: *Metoda analizy kinematyki i dynamiki układów wieloczłonowych do identyfikacji sił w modułowych zestawach nośnych*. „Maszyny Górnicze” 3/2014.
- [5] TOKARCZYK J.: *Metodyka identyfikacji wybranych zagrożeń mechanicznych w pomocniczym transporcie podziemnych zakładów górniczych*. Prace Naukowe – Monografie KOMAG, Monografia nr 52, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2017.
- [6] Projekty systemów transportu. Dokumentacja rysunkowa w wersji papierowej. KWK „Borynia–Zofiówka–Jastrzębie”. Jastrzębie-Zdrój, 2014 (niepublikowana).
- [7] Projekt INESI: Increase Efficiency and Safety Improvement in Underground Mining Transportation Routes. RFCS, Contract No. 754169, 2017–2020.

 dr inż. Jarosław Tokarczyk
mgr inż. Andrzej Turewicz
dr inż. Marek Dudek
dr inż. Kamil Szewerda
dr inż. Edward Pieczora
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

artykuł recenzowany