

Marek DUDEK, Dariusz PROSTAŃSKI
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice

ANALIZA MASZYN CHODNIKOWYCH Z ZASTOSOWANIEM MODELOWANIA PRZESTRZENNEGO

Streszczenie. Dotychczasowa analiza pracy maszyn górniczych prowadzona była w wyniku badań doświadczalnych i w warunkach eksploatacyjnych. Programy symulacyjne opracowane i wdrożone w CMG KOMAG umożliwiają przestrzenną symulację pracy maszyn chodnikowych, badanie ich stateczności, zasięgu pracy manipulatorów oraz stref kolizji ze środowiskiem pracy, z samą maszyną lub też z maszynami współpracującymi. Referat prezentuje wybrane zagadnienia badawcze rozwiązywane poprzez symulację komputerowych modeli maszyn chodnikowych.

ASSESSMENT OF ROADWAY MACHINES USING THREE-DIMENSIONAL MODELING

Summary. Previous analysis of mining machines operation was carried out on the base of experimental tests and in operational conditions. Simulation software developed and implemented in the KOMAG Centre enables the 3D simulation of roadway machinery operation, testing its stability, reach of manipulators and zones of their collision with the work environment, with a machine itself or with the cooperating machines. The paper presents chosen research questions resolved by the computer simulation of roadway machinery models.

1. Wprowadzenie

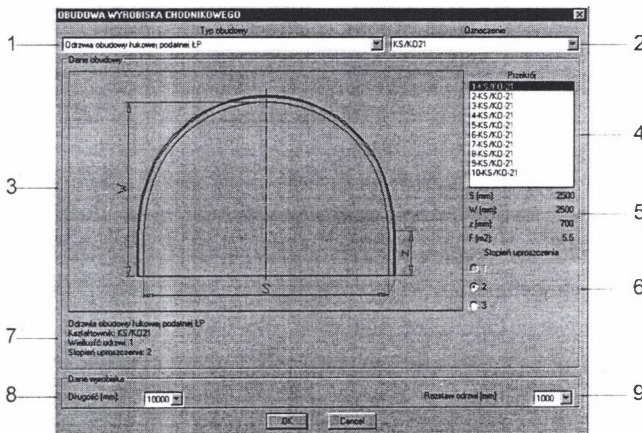
Wysoki stopień wypadkowości w górnictwie oraz ciągle pogarszające się warunki pracy (związane między innymi z koniecznością eksploatacji na dużych głębokościach oraz wybieraniem coraz cieńszych pokładów) stwarzają potrzebę opracowania metod oceny ryzyka pracy poszczególnych grup maszyn dołowych. Na taką ocenę składa się między innymi zagrożenie, jakie stwarza pracująca maszyna dla człowieka, oraz dla środowiska pracy. Ogromne znaczenie w procesie mechanizacji robót przygotowawczych i wybierkowych ma drażnienie wyrobisk chodnikowych i stawianie obudowy. Zastosowanie wielofunkcyjnych maszyn zwiększa koncentrację wydobycia w chodnikach, automatyzuje czynności związane z drażnieniem wyrobiska i stawiania obudowy oraz ogranicza do minimum liczbę pracowników

przebywających w przodku. Zastosowanie maszyn wielofunkcyjnych wymusza jednak bardziej rygorystyczne podejście do badania stateczności maszyny, sprawdzania możliwości kolizji maszyny ze środowiskiem pracy i przebywającą tam załogą. Badania stanowiskowe w warunkach ww. zagadnień są kosztowne i czasochłonne, czasem wręcz niemożliwe. Wymagają również wykonania prototypu maszyny oraz umieszczenia jej w środowisku pracy. Badania te są kosztowne i na ogół są realizowane jednowariantowo.

Wielowariantowość badań ma szczególne znaczenie przy zastosowaniu maszyn chodnikowych, gdyż działają one często przy znacznych nachyleniach spągu, a także przy bardzo zróżnicowanych obciążeniach. Problem ten można w sposób zadowalający rozwiązać jedynie poprzez komputerowe badania symulacyjne. Podstawową zaletą badań modelowych jest możliwość szybkiego powtórzenia i uzyskania wyników dla wielu wariantów, z których można wybrać rozwiązanie optymalne z punktu widzenia określonego kryterium. Dołączenie środków wizualizacji i symulacji do procesów modelowania obniża koszty treningu i szkolenia operatorów maszyn, poszerza obszary zastosowania modelowanego środowiska pracy, skraca czas cyklu procesu projektowego oraz obniża koszty prac badawczo-rozwojowych. Badania symulacyjne przeprowadzone na komputerowym modelu maszyny można zrealizować przed wykonaniem prototypu maszyny, a tym samym uchronić się przed kosztami wprowadzania ewentualnych zmian w prototypie, które są wielokrotnie większe od kosztów wprowadzanych zmian w fazie projektowania.

2. Budowa komputerowego modelu wyrobiska chodnikowego

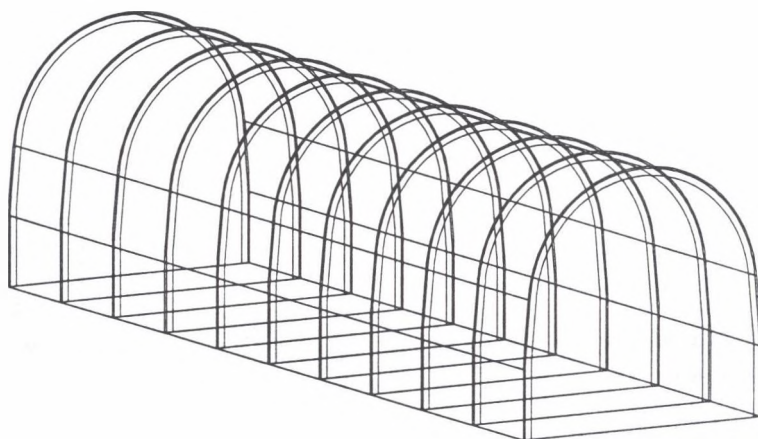
Komputerowy model maszyny chodnikowej umieszczany jest w przestrzennym modelu środowiska pracy. Środowisko składa się z odrzwi obudowy chodnikowej, rurociągów, urządzeń dostawy oraz odstawy materiałów i urobku jak również urządzeń odpylających. Na rys. 1 pokazano przykładowe okno dialogowe wyboru obudowy chodnikowej.



Rys.1. Okno dialogowe wyboru obudowy chodnikowej
Fig.1. Dialogical window for road support choice

Poszczególne części składowe okna dialogowego oznaczają: typ obudowy (1), typ kształtownika (2), widok odrzwi obudowy w wybranym stopniu uproszczenia (3), oznaczenie wielkości przekroju (4), wymiary gabarytowe odrzwi (5), stopień uproszczenia rysunku odrzwi (6), opis odrzwi (7), długość wyrobiska (8), rozstaw odrzwi (9).

Po zatwierdzeniu wprowadzonych danych tworzony jest przestrzenny model wyrobiska chodnikowego (rys. 2).



Rys.2. Model przestrzenny wyrobiska chodnikowego
Fig.2. Three-dimensional model of a roadway

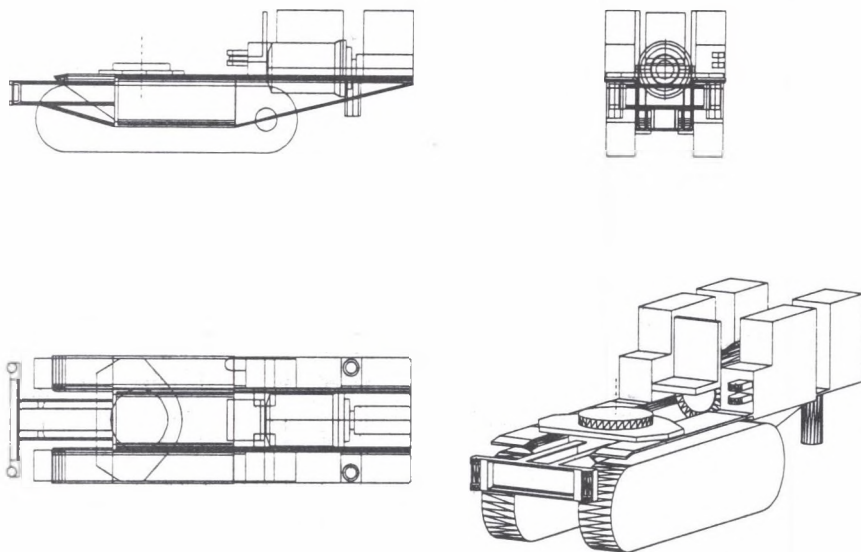
3. Budowa komputerowych geometrycznych modeli wybranych maszyn chodnikowych

Budowę komputerowego modelu maszyny podzielono na cztery etapy:

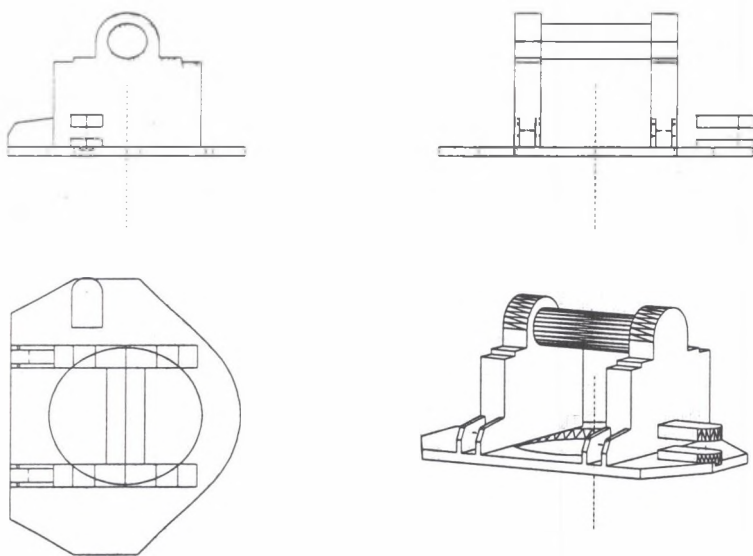
- modelowanie poszczególnych podzespołów maszyny (rys. 3 i 4),
- złożenie podzespołów - otrzymanie modelu całości maszyny (rys. 5),
- umieszczenie w modelu maszyny danych dotyczących wybranych części (lokalne układy współrzędnych poszczególnych podzespołów, masy poszczególnych części i ich rozmieszczenie w przynależnym podzespole),
- umieszczenie w modelu danych dotyczących reakcji od urabianej calizny (wiercenie, kotwienie, urabianie czerpakiem lub głowicą).

Komputerowe modele poszczególnych podzespołów maszyn chodnikowych wykonano w systemie AutoCAD jako modele powierzchniowe (SM-1, AM-50) lub bryłowe (ŁBT 1200EH/LS, wóz wierząco-kotwiący). Wykonano bloki poszczególnych podzespołów oraz określono współrzędne punktu wstawienia bloku. Bloki zawierają osie, względem których następuje obrót bądź przesunięcie podzespołu względem innych podzespołów. Są to również osie montażu siłowników przesunięcia lub obrotu. Na końcach osi umieszczono atrybuty. Ich współrzędne są wykorzystane podczas lokalizacji poszczególnych podzespołów względem

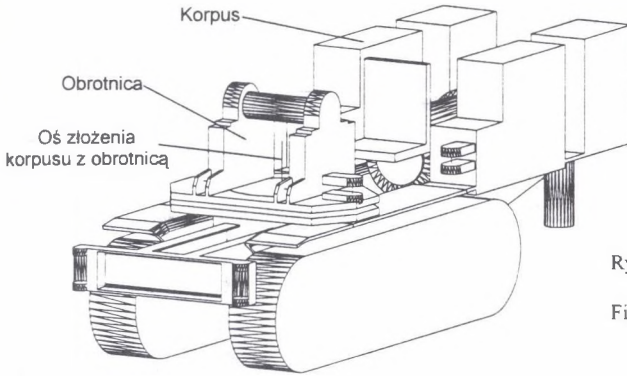
siebie. Każdy z głównych podzespołów maszyny posiada lokalny układ współrzędnych (rys. 6), względem którego umieszcza się środki mas części do niego przynależnych (rys. 7), jak również dokonuje obrotów bądź przesunięć podzespołu.



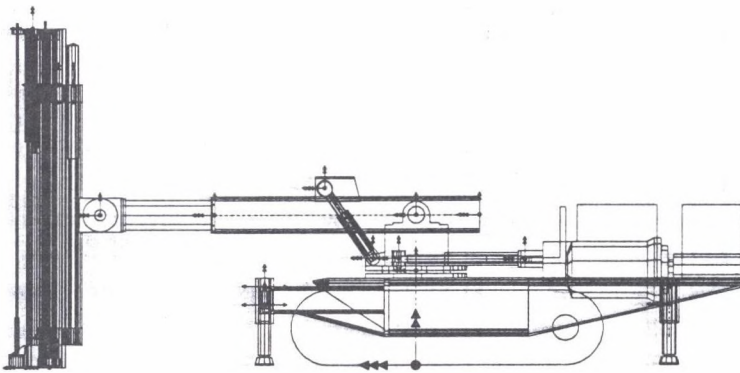
Rys.3. Model bryłowy korpusu wozu wierząco-kotwiącego
Fig.3. Solid model of drilling-and-bolting car body



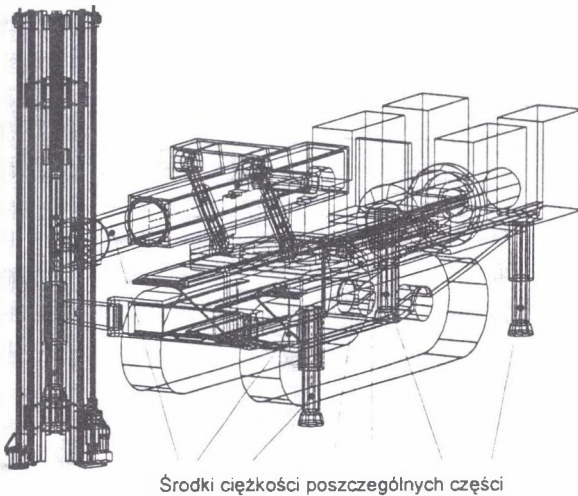
Rys.4. Model bryłowy obrotnicy wozu wierząco-kotwiącego
Fig.4. Solid model of drilling-and-bolting car turntable



Rys.5. Przykład złożenia podzespołów: korpus – obrotnica
 Fig.5. Example of the subassembly arrangement: body – turntable



Rys.6. Rzut boczny modelu wozu wierząco-kotwiącego z zaznaczeniem lokalnych układów współrzędnych poszczególnych podzespołów
 Fig.6. Side projection of drilling-and-bolting car model with marking local coordinate systems of each subassembly



Rys.7. Model bryłowy wozu wierząco-kotwiącego z wyznaczeniem środków ciężkości poszczególnych części
 Fig.7. Solid model of drilling-and-bolting car with calculation of gravity centers of each element

4. Możliwości programu symulacyjnego

Danymi wejściowymi do programu są:

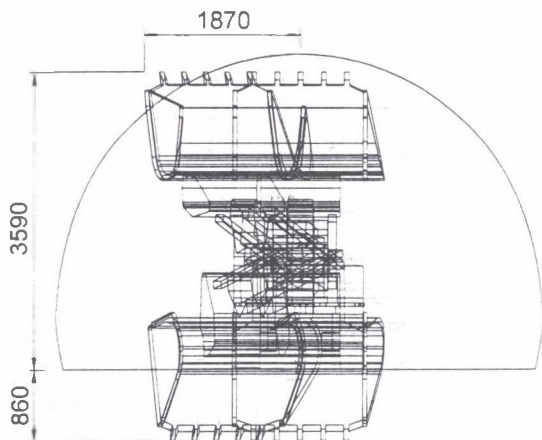
- typ i wielkość odrzwi obudowy chodnikowej,
- cechy geometryczne poszczególnych podzespołów maszyny,
- masa oraz rozmieszczenie składowych sił ciężkości poszczególnych podzespołów,
- wielkości i zwroty reakcji od urabianej calizny (urabianie, wiercenie, kotwienie),
- kąty wychylenia i wartości wysuwów poszczególnych podzespołów maszyny,
- kąty nachylenia poprzecznego i podłużnego wyrobiska.

Program symulacyjny umożliwia:

- zmianę nachylenia poprzecznego lub podłużnego wyrobiska,
- obrót lub przesunięcie wybranego podzespołu o zadaną wielkość,
- wariantowanie konstrukcji maszyny – zmianę wybranych wymiarów poszczególnych podzespołów, zmianę wartości granicznych kątów obrotu oraz wysuwów poszczególnych podzespołów,
- badanie wpływu rozmieszczenia poszczególnych podzespołów maszyny na położenie jej środka ciężkości,
- wprowadzenie dowolnych (także hipotetycznych) warunków pracy i obciążenia maszyny,
- definiowanie kryterialnych stanów pracy maszyny,
- sprawdzenie kolizji maszyny z obudową chodnikową, samą maszyną lub z maszyną współpracującą przy drażeniu i zabudowie chodnika,
- opisanie trajektorii ruchu manipulatorów maszyn (głowica urabiająca, czerpak ładowarki, wiertarka, kotwiarka) oraz wyznaczenie zasięgów ich pracy,
- obliczanie normowych współczynników stateczności poprzecznej i podłużnej,
- analizę możliwości współpracy dwóch maszyn roboczych w wybranym przekroju wyrobiska.

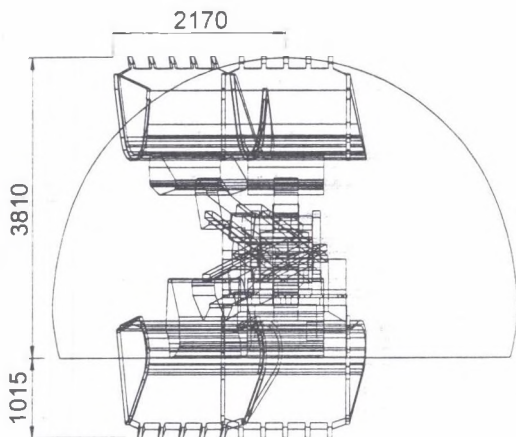
5. Badania modelowe

Na rysunkach 8–11 przedstawiono wybrane zagadnienia analizy pracy rozwiązane poprzez symulację komputerowych modeli maszyn chodnikowych. Poniższe rysunki przedstawiają przykłady wyznaczania zasięgów pracy czerpaka ładowarki bocznie wysypującej ŁBT 1200 EH/LS na tle odrzwi obudowy chodnikowej ŁP10; na rys. 12 przedstawiono analizę współpracy kombajnu chodnikowego AM-50 i wozu wierząco-kotwiącego.



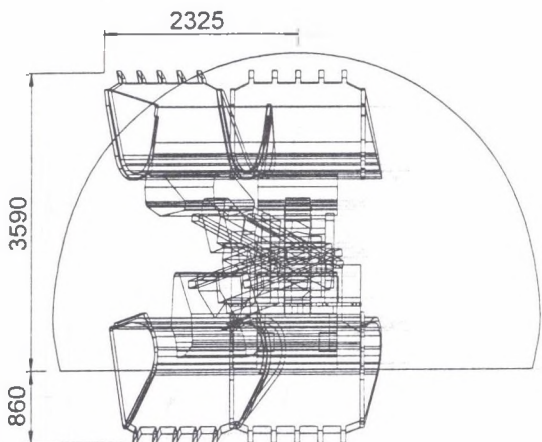
Rys.8. Zasięg pracy czerpaka dla wysuwu wysięgnika $H1 = 0$ mm oraz kąta wychylenia bocznego obrotnicy $K1 = 20^\circ$

Fig.8. Range of bucket operation for boom advance $H1 = 0$ mm and for declination angle of a turntable $K1 = 20^\circ$



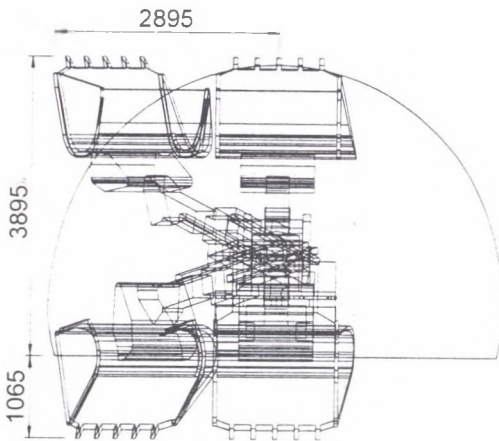
Rys.9. Zasięg pracy czerpaka dla wysuwu wysięgnika $H1 = 900$ mm oraz kąta wychylenia bocznego obrotnicy $K1 = 20^\circ$

Fig.9. Range of bucket operation for boom advance $H1 = 900$ mm and for declination angle of a turntable $K1 = 20^\circ$



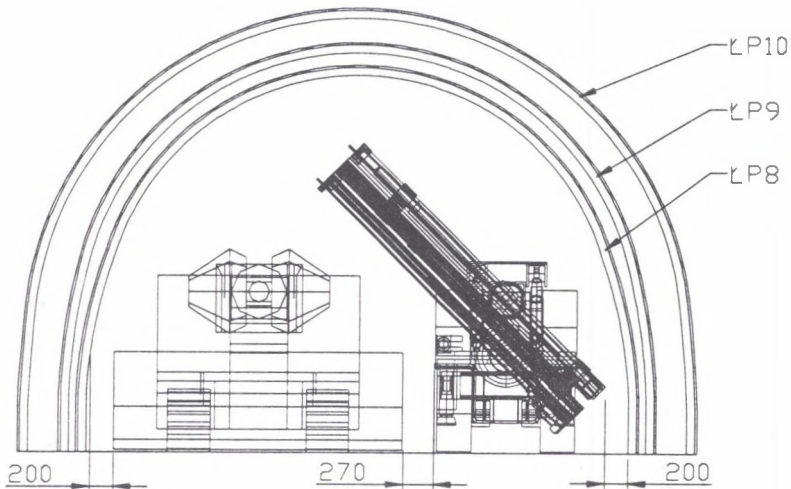
Rys.10. Zasięg pracy czerpaka dla wysuwu wysięgnika $H1 = 0$ mm oraz kąta wychylenia bocznego obrotnicy $K1 = 30^\circ$

Fig.10. Range of bucket operation for boom advance $H1 = 0$ mm and for declination angle of a turntable $K1 = 30^\circ$



Rys.11. Zasięg pracy czerpaka dla wysuwu wysięgnika $H1 = 1200$ mm oraz kąta wychylenia bocznej obrotnicy $K1 = 30^\circ$

Fig.11. Range of bucket operation for boom advance $H1 = 900$ mm and for declination angle of a turntable $K1 = 30^\circ$



Rys.12. Analiza współpracy kombajnu chodnikowego AM-50 i wozu wierząco-kotwiącego na tle odrzwi obudowy chodnikowej LP8 – LP10

Fig.12. Analysis of AM-50 roadheader operation with drilling-and-bolting car on the background of LP8 – LP10 road support door

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

1. Zastosowanie parametrycznego modelu maszyny chodnikowej pozwala na odtworzenie jej cech geometrycznych i masowych, co umożliwia modelowanie dowolnej konstrukcji z wybranej grupy maszyn, jak również badanie modeli o różnym stopniu uproszczenia tego samego obiektu rzeczywistego.

2. Funkcje umożliwiające zmianę granicznych wartości kątów obrotu oraz wysuwu poszczególnych podzespołów maszyny umożliwiają dokonanie korekty ich zasięgów pracy już na etapie projektu wstępnego (przed budową prototypu). Pozwala to na dostosowanie konstrukcji maszyny do wymagań użytkowników.
3. Proces symulacji numerycznej, bazujący na opracowanych modelach, umożliwia:
 - opisanie trajektorii ruchu wysięgnika kombajnu, czerpaka ładowarki oraz manipulatorów wiertniczego i kotwiącego,
 - sprawdzenie zasięgów pracy maszyn oraz kolizyjności ich wysięgników z wybranym typem i przekrojem obudowy chodnikowej, samą maszyną bądź też z maszyną współpracującą przy drążeniu chodnika i stawianiu obudowy,
 - określenie normowych współczynników stateczności badanej postaci geometrycznej maszyny w różnych warunkach pracy i obciążeń.
4. Wprowadzenie powyższej metody na etapie tworzenia nowej generacji maszyn do drążenia, utrzymania i przebudowy wyrobisk chodnikowych umożliwia przeprowadzenie szeregu analiz w fazie opracowywania konstrukcji, co pozwala na jej racjonalne kształtowanie. Przy zachowaniu poprawności reguł modelowania można uzyskać wysoką zgodność badań symulacyjnych i eksploatacyjnych.
5. Opracowane programy symulacyjne mogą być zastosowane do weryfikacji nowych koncepcji i kierunków rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych podzespołów maszyny, przed fazą budowy prototypu, jak również do weryfikacji istniejących rozwiązań konstrukcyjnych oraz jako uzupełnienie badań atestacyjnych, certyfikacyjnych i stanowiskowych. Pozwoli to skrócić czas oraz przewidzieć skutki wynikające z zastosowania danego typu maszyny lub zmian dokonywanych w jej konstrukcji (geometrii). Systemy programów pozwalają na dostosowanie maszyny do specyficznych wymagań użytkownika. Opracowana metoda badań modelowych może być przeniesiona również na inne typy ciężkich maszyn roboczych.

LITERATURA

1. Dudek M.: Opracowanie metodyki badań modelowych stateczności kombajnu chodnikowego. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny-Technologiczny. Gliwice 1999
2. Dudek M.: Analiza kinematyczna maszyny wierząco-kotwiąco-ładującej MWŁ-55EH/LS z zamontowanym manipulatorem wiertniczym. Opracowanie wewnętrzne niepublikowane. CMG KOMAG. Gliwice, wrzesień 1999

3. Dudek M.: Opracowanie bazy danych wybranych obudów chodnikowych stosowanych w krajowym górnictwie węglowym. Opracowanie wewnętrzne niepublikowane. CMG KOMAG. Gliwice, marzec 2000
4. Dudek M., Prostański D.: Wykonanie przestrzennego komputerowego modelu wozu kotwiącego. Opracowanie wewnętrzne niepublikowane. CMG KOMAG. Gliwice, maj 2000
5. Dudek M., Prostański D.: Badanie stateczności oraz pól pracy wozu wierząco-kotwiącego. Opracowanie wewnętrzne niepublikowane. CMG KOMAG. Gliwice, lipiec 2000
6. PN-79/G-06010. Wyróbiska korytarzowe poziome i pochyłe w kopalniach. Przekroje poprzeczne symetryczne

Recenzent: Prof.dr inż. Włodzimierz Sikora

Abstract

Mining machines are checked mainly by experimental tests in laboratory and operational conditions. Simulation software developed and implemented in the KOMAG Centre (computer simulation of roadway machinery operation: SM-1 module bottom loader, AM-50 roadheader, MWŁ-55 EH/LS drilling-and-bolting machine, ŁBT 1200 EH/LS side discharge loader, drilling-and-bolting car) enables 3D analysis of the above machines operation, testing their stability, reach of manipulators and zones of collision with the work environment (support, conveyer, pipelines) with a machine itself or with the machines cooperating in roadways driving and supports setting (e.g. a roadheader and drilling-and-bolting car). The computer model of a roadway, stages of developing the computer and geometrical models of chosen roadway machines, the possibilities of the simulation software, were given in this paper, and chosen research questions resolved by the computer simulation of roadway machinery models, were also presented.