

# Wykorzystanie symulacji komputerowych w procesie projektowania robota do stref zagrożonych wybuchem w KWK

The usage of computational simulation in design process of robot for hazardous areas in coal mine

MACIEJ CADER \*

Materiały z XX SKWPPWiE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.113

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych modeli komputerowych Mobilnej Platformy Inspekcyjnej (MPI), która została zbudowana z przeznaczeniem do inspekcji stref zagrożonych wybuchem w kopalniach węgla kamiennego. Ze względu na wymagania dyrektywy ATEX konstrukcja MPI musiała zostać sprawdzona pod kątem odporności na wybuchy, optymalizacji masy oraz naruszalności tzw. powierzchni ognioszczelnych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** symulacje komputerowe, mobilna platforma kołowa, dyrektywa ATEX, kopalnia węgla kamiennego

*The article presents the results of computational simulation of models of Mobile Inspection Platform (MPI), which was built for the purpose of inspection of hazardous areas in coal mines. Due to the requirements of the ATEX MPI had to be tested for resistance to explosions, mass optimization and the inviolability of the flameproof surface.*

**KEYWORDS:** computational simulations, mobile wheel platform, ATEX directive, coal mine

Mobilna Platforma Inspekcyjna (MPI M1) jest demonstratorem technologii (rys. 1), który powstał w ramach projektu badawczego. Szczegółowe informacje techniczne o MPI znajdują się w [1, 2, 5]. Celem projektu realizowanego w konsorcjum Instytut Technik Innowacyjnych EMAG – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP było opracowanie demonstratora technologii Mobilnej Platformy Inspekcyjnej MPI z napędem elektrycznym do stref zagrożonych wybuchem w kopalniach węgla kamiennego. Projekt pt. „Badanie i studium wykonalności modelu mobilnej platformy inspekcyjnej kategorii M1 z napędami elektrycznymi do stref zagrożonych wybuchem” był finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych.

Aby MPI mogła być eksploatowana w strefach zagrożonych wybuchem, konieczne było zaprojektowanie jej według wytycznych dyrektywy ATEX 94/9/WE, dyrektywy maszynowej MD 2006/42/WE i EMC 2004/108/WE oraz norm z nimi zharmonizowanych [1].

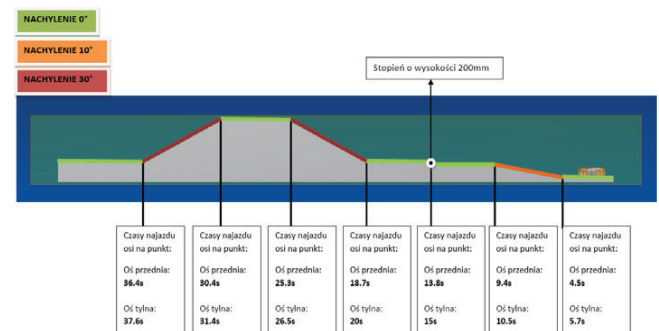
Dotychczas zostały wykonane analizy układu napędowego oraz wytrzymałościowe konstrukcji. Do tego celu wykorzystano systemy MD ADAMS i ANSYS.



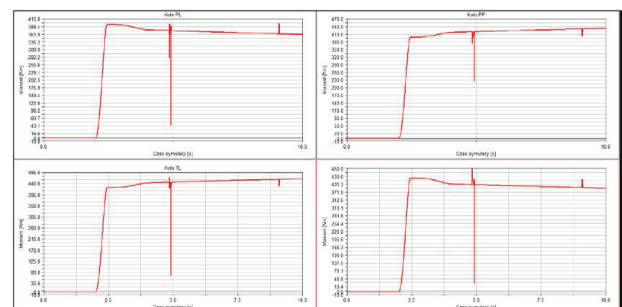
Rys. 1. Mobilna Platforma Inspekcyjna (MPI) w testowym wyrobisku górniczym Kopalni św. Łuiza w Zabrze

## Wyznaczenie momentów napędowych dla MPI

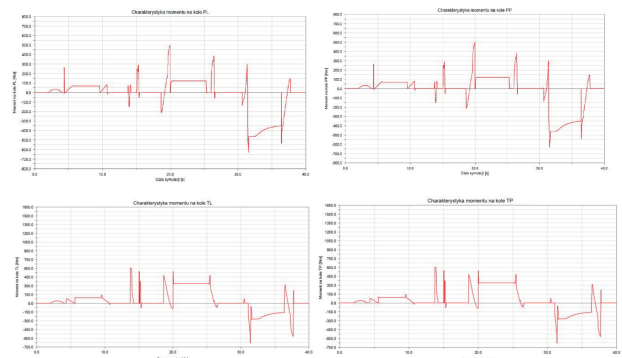
W projekcie wykonano badania symulacyjne dynamiki w środowisku MD ADAMS [3]: obrotu modelu MPI wokół własnej osi prostopadłej do płaszczyzny powierzchni, przejazdu modelu MPI po torze przeszkód skonstruowanym według wytycznych Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego.



Rys. 2. Zamodelowany w MD ADAMS tor przeszkód z zaznaczonymi charakterystycznymi punktami oraz z czasem najazdu osi modelu MPI na te punkty, w celu synchronizacji czasowej z wykresami momentów



Rys. 3. Charakterystyki momentów występujących na kołach platformy podczas obrotu wokół własnej osi: PL – koło przednie lewe, PP – koło przednie prawe, TL – koło tylne lewe, TP – koło tylne prawe



Rys. 4. Charakterystyki momentów występujących na kołach platformy podczas przejazdu przez zamodelowany tor przeszkód: PL – koło przednie lewe, PP – koło przednie prawe, TL – koło tylne lewe, TP – koło tylne prawe

\* Mgr inż. Maciej Cader (mcader@piap.pl) – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

W badaniach symulacyjnych założono, że prędkość środka masy MPI wynosiła 1 m/s. W badaniach uzyskano maksymalne momenty 458,5 Nm oraz 650 Nm podczas zjazdu MPI z równi pochyłej.

### Analiza wytrzymałości wałów i naruszalności powierzchni ognioszczelnych

Oprócz analizy wytrzymałościowej wału w ramach analiz komputerowych sprawdzano tak zwaną nienaruszalność powierzchni ognioszczelnych [4]. Powierzchnie ognioszczelne są specjalnie obrabiane, a szczeliny ognioszczelne powinny się mieścić w zadanej szerokości. Zgodnie z normami powierzchnia ognioszczelna nie może być naruszana, a jej całkowita deformacja trwała nie może być większa niż określona w normie [4]. Dlatego sprawdzono, czy całkowite ugięcie wału pod wpływem maksymalnego obciążenia konstrukcji nie narusza powierzchni ognioszczelnej.

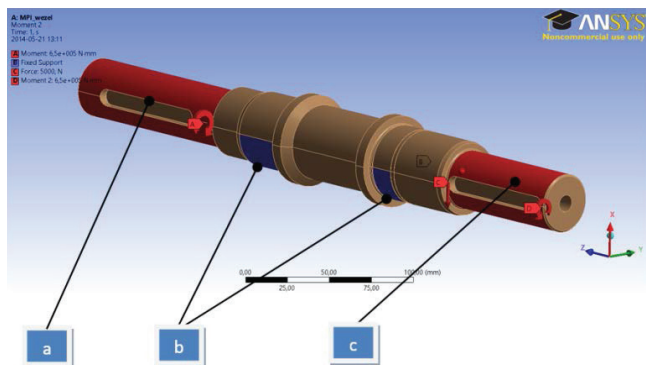
Do badań przyjęto założenie, że wał główny jest obciążony maksymalnym momentem, jaki wyznaczono w symulacji przejazdu MPI przez tor przeszkód, wynoszącym 650 Nm (skręcanie wału) oraz siłą 5000 N, co wynika z założenia, że MPI może być posadowiona na dwóch kołach – całość masy MPI przenoszą tylko dwa wały.

Celem badań wału napędowego było określenie pól naprężeń i odkształceń wynikających z założonych obciążeń i sposobu mocowania wału (rys. 5).

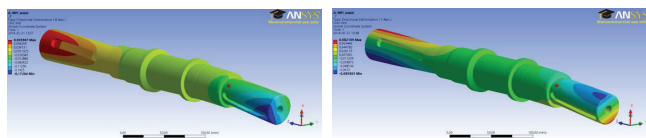
Poniżej przedstawiono maksymalne wartości z wyników symulacji (rys. 6, 7):

- wartość odkształcenia wału na kierunkach X, Y i Z wynosi odpowiednio: 0,093 mm; 0,082 mm oraz 0,015 mm. Wartość uśredniona wynosi: 0,17 mm;
- wartość naprężenia wału na kierunkach X, Y i Z wynosi odpowiednio: 256,6 MPa; 158,9 MPa oraz 177,96 MPa. Wartość uśredniona: 262 MPa.

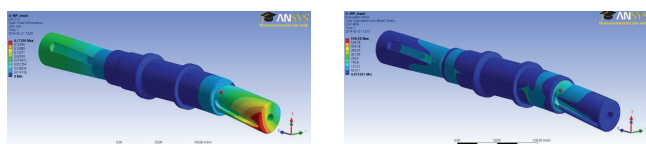
Zapas odległości od powierzchni ognioszczelnych wynosi 0,03 mm, co oznacza, że ugięcie pod wpływem maksymal-



Rys. 5. Odzworowanie warunków brzegowych: obciążenia i podparcia wału głównego: a) część wału współpracująca z przekładnią, obciążona momentem skręcającym 650 Nm; b) część wału łożyskowa, w badaniach jest to część podparta (zamocowana w korpusie); c) część wału współpracująca z kołem, obciążona momentem skręcającym 650 Nm



Rys. 6. Mapa odkształceń wału na kierunku osi głównej X (po lewej) i Y (po prawej)

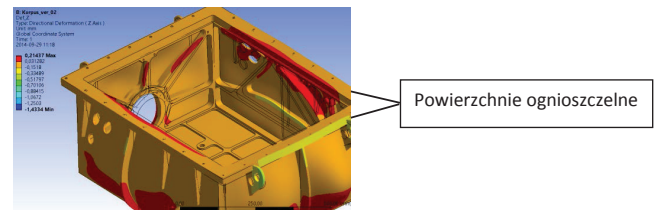


Rys. 7. Mapa uśrednionych odkształceń (po lewej) i naprężeń (po prawej)

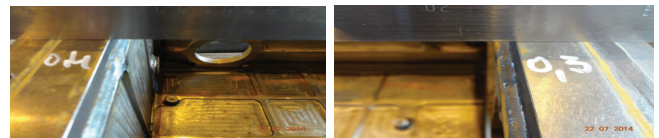
nego odkształcenia wyznaczone na podstawie badań nie narusza powierzchni ognioszczelnej wyprowadzenia wału ze skrzyni ognioszczelnej. Jest to zapas bezpieczeństwa dla maksymalnego (a nie nominalnego) obciążenia wałów MPI.

### Analiza wytrzymałości korpusów głównych; próby hydrostatyczne

W korpusach głównych MPI zgodnie z norami ATEX mierzone odkształcalność powstałą wskutek powstałego naprężenia i weryfikowano czy nie jest ona odkształcalnością trwałą (odkształceniem plastycznym – poza sprężystym zakresem opisanym prawem Hooke'a). Badania dotyczyły przede wszystkim odkształcalności powierzchni ognioszczelnych.



Rys. 8. Zmierzona wartość odkształcenia trwałego powierzchni ognioszczelnej. Badania prowadzono dla ciśnienia 1 MPa wewnątrz korpusów głównych



Rys. 9. Wartość odkształcenia trwałego powierzchni ognioszczelnych. Na obu na przedniej ścianie wynosi: 0,4 mm, a na prawej: 0,3 mm

Badania symulacyjne pokazały, że odkształcenie trwałe podczas próby ciśnieniowej mieści się w granicach dopuszczalnych i wynosi 0,2 mm. Doświadczenia na obiekcie rzeczywistym wykazały jednak różnicę pomiędzy wskazaniami z badań symulacyjnych, co może być przyczyną zbyt rzadkiej siatki MES w obszarach krytycznych modelu. Niemniej odkształcenia trwałe badanego korpusu mieszczą się w granicach dopuszczalnych (rys. 8, 9).

### Podsumowanie

Badania symulacyjne prowadzone równolegle z procesem projektowania MPI pozwoliły na optymalne zaplanowanie jej konstrukcji w kontekście wymagań docelowych i testów wymaganych przez normy szarmonizowane z dyrektywą ATEX. Najlepszym potwierdzeniem skuteczności badań symulacyjnych jest opracowany przez PIAP i EMAG działający demonstrator technologii MPI [2, 5], który bez problemów przeszedł próby trakcyjne [5] w wyrobiskach kopalni oraz funkcjonalne prowadzone przez Centralną Stację Ratownictwa Górniczego.

### LITERATURA

1. Trenczek S., Kasprzyczak L., Nowak D., Szwejkowski P., „Założenia funkcjonalne i koncepcyjne rozwiązań technicznych Mobilnej Platformy Inspekcyjnej”. *Materiały konferencyjne EMTECH 2013*, s.193÷202, Zakopane, 20÷22 maja 2013.
2. Cader M., Kasprzyczak L. „Robot inspekcyjny do prac w tunelach zagrożonych wybuchem”. *Postępy robotyki t. 1*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2014.
3. Wojtyra M., Frączek J., „Metoda układów wieloczołnowych w dynamice mechanizmów”. *Mechanik*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2007.
4. Norma PN-EN 60079-1 „Atmosfery wybuchowe, część 1: zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d””.
5. Cader M., Kasprzyczak L. „Koncepcja budowy prototypu mobilnej platformy inspekcyjnej dedykowanej do prac w kopalniach”. *Pomiary Automatyka Robotyka*, nr 1/2016.