

Modele numeryczne stanowiska do badań resoru podwójnego

Numerical models for the double suspension spring testing stand

KAMIL ZAJĄC
WIESŁAW KRASOŃ*

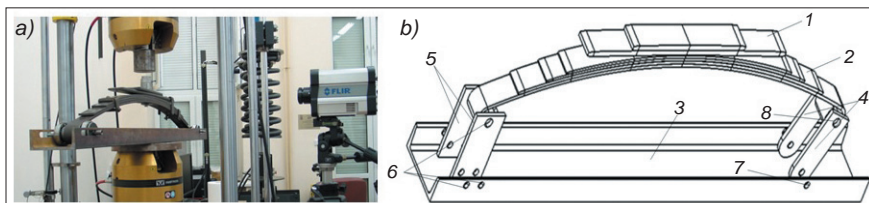
DOI: 10.17814/mechanik.2015.5-6.201

Przedmiotem pracy są wybrane modele numeryczne stanowiska do badań prototypowego resoru wielopiórowego o charakterystyce biliniowej. Rozważane modele składają się z badanego resoru, podstawy oraz dwóch łączników i dwóch wieszaków. W pracy zaprezentowano dwa typy modeli MES. W pierwszym podzespoły stanowiska odwzorowano za pomocą elementów powłokowych, a w drugim – posługując się bryłowymi elementami skończonymi. Pióra resoru w obu przypadkach modelowano elementami bryłowymi. Omówiono nieliniowe analizy z uwzględnieniem luzów w resorze o charakterystyce biliniowej i wybrane wyniki testów numerycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: resor wielopiórowy, metoda elementów skończonych, analiza nieliniowa

The paper presents several numerical models of experimental stands for testing a prototype of multi-leaf suspension spring of bilinear characteristic. The considered models consist of test spring, base of the stand, two connectors and two hangers. Two types of FE models are presented in the paper. Three-dimensional arrangement of the stand components is mapped either by means of shell elements, or by means of solid finite elements in model type one and in model type two respectively. Leafs of the spring are modeled by means of solid elements in both cases. A non-linear analysis taking into account nips in the spring of bilinear characteristics and selected results of numerical tests are discussed.
KEYWORDS: multi-leaf spring, finite elements method, non-linear analysis

Kompletne podzespoły i elementy zawieszek pojazdów kołowych są wielokrotnie badane eksperymentalnie i numerycznie pod względem wytrzymałościowym. Testy na stanowiskach badawczych są przydatne przede wszystkim na etapie projektowania. Umożliwiają one porównanie różnych materiałów i rozwiązań konstruktorskich albo ustalenie przyczyn wystąpienia stanów awaryjnych czy uszkodzeń [1]. Zastosowanie metod numerycznych wspomaga wykonywanie badań stanowiskowych i niejednokrotnie pozwala ograniczyć ich zakres (w przypadku badań wielowariantowych). Metody komputerowe i badania symulacyjne są także mniej kosztowne niż np. przygotowanie stanowiska badawczego lub zakup odpowiedniej aparatury pomiarowej. Przeprowadzenie symulacji komputerowej trwa też dużo krócej niż badania eksperymentalne.



Rys. 1. Stanowisko przygotowane do badań charakterystyki sprężystej resoru na maszynie wytrzymałościowej [3] (a); projekt stanowiska eksperymentalnego do badań resoru z wieszakiem [4]: 1 – resor pomocniczy, 2 – resor główny, 3 – podstawa, 4 – wieszaki, 5 – łączniki, 6÷8 – śruby (b)

Przedmiotem pracy są wybrane modele numeryczne stanowiska do badań elementu zawieszenia – prototypowego resoru wielopiórowego o charakterystyce biliniowej.

* Inż. Kamil Zajęc (kamilmasow@interia.pl), dr inż. Wiesław Krasoń (wieslaw.krason@wat.edu.pl) – Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny Wojskowej Akademii Technicznej

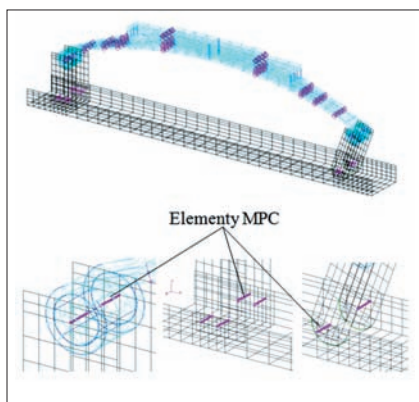
Badany resor [2, 3] składa się z czterech piór resoru głównego i dwóch piór resoru pomocniczego (rys. 1). Taka konstrukcja charakteryzuje się wzrostem sztywności w miarę zwiększania obciążenia. W początkowym zakresie obciążenia pracuje jedynie część główna resoru (2 na rys. 1b). W trakcie procesu obciążania zmniejsza się luz pomiędzy piórami resoru głównego a piórami resoru pomocniczego (1 na rys. 1b). Gdy luz zostaje wybrany i dochodzi do pełnego kontaktu pomiędzy piórami, pracuje także resor pomocniczy, co powoduje zwiększenie sztywności zawieszania pojazdu.

Rozważany resor był przedmiotem badań, w których autorzy stosowali metody numeryczne do analizy charakterystyk sprężystych i wytrzymałości resoru podwójnego [2], a także prób dynamicznych obciążeń resoru biliniowego na stanowisku wyposażonym w młot udarowy, gdzie wyniki rejestrowano za pomocą szybkiej kamery [3]. Prezentowane w niniejszym artykule model i testy numeryczne stanowiska badawczego stanowią kontynuację tamtych prac. Zostaną one wykorzystane do wielowariantowych testów numerycznych resoru prototypowego na stanowisku eksperymentalnym [4] – rys. 1a.

W pracy zastosowano dwa typy modeli MES. W pierwszym przestrzenny układ podzespołów stanowiska odwzorowano za pomocą elementów powłokowych, a w drugim – za pomocą brylowych elementów skończonych [5]. Modele numeryczne opracowano w programie Inventor i z użyciem preprocesora MSC.Patran. W modelach MES stanowiska wykorzystano odwzorowania resoru, których koncepcje omówiono w poprzednich pracach [2,3]. Modele dyskretne zbudowano na bazie elementów skończonych 2D i 3D, ponieważ uproszczenia związane z zastosowaniem w modelach dyskretnych 1D elementów belkowych powodują pewne niedogodności i ograniczenia podczas analizy; niemożliwe jest np. precyzyjne odwzorowanie wyników w pominiętych szczegółach konstrukcyjnych.

Resor połączono z podstawą stanowiska dwoma wieszakami (4 na rys. 1b) oraz dwoma łącznikami (5). Założono, że podstawa (3) wykonana będzie z ceownika C160 – zgodnie z normą PN-EN – o długości dopasowanej do wymiarów badanego resoru. Ponadto przyjęto, że podwójny wieszak łączący podporę i resor będzie wstępnie odchyłony od pionu w stanie nieobciążonym o kąt 20°. Łączniki zamocowano

do podstawy za pomocą dwóch śrub, by uniemożliwić ich przemieszczanie się i obrót względem siebie. Z drugiej strony łączniki połączono z resorem za pomocą jednej śruby, dzięki czemu resor może się swobodnie obracać względem nich. Oba wieszaki połączono jedną śrubą (dolną – 7 na rys. 1b) z podstawą i jedną śrubą (górną – 8) z resorem. Zastosowane rozwiązanie pozwala na obrót wieszaków względem podstawy podczas obciążania i deformacji resoru. Przy takim podparciu również resor może obracać się względem wieszaków. Podczas obciążania resoru górna śruba obraca się względem dolnej po promieniu, który jest równy odległości osi dolnej i górnej śruby. Dzięki temu prawy koniec resoru przemieszcza się nie tylko w kierunku poziomym, ale również w pionowym względem ustalonego położenia lewego końca.



Rys. 2. Model MES zbudowany z elementów 2D i widoki szczegółowe odwzorowania połączeń wieszaków i łączników z uchami dolnego pióra resoru

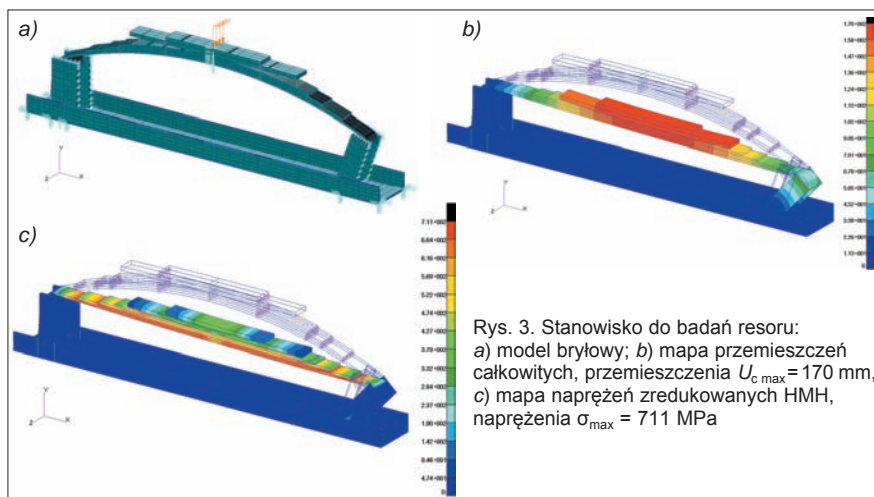
Modele 2D i 3D MES stanowiska składają się z badanego resoru, podstawy, dwóch łączników i dwóch wieszaków. W obu modelach resor odwzorowano w postaci bryły za pomocą elementów typu HEX8 (rys. 2 i 3). Kompletny model powłokowy stanowiska (rys. 2) składa się z 480 elementów typu HEX8 (model resoru), 22 elementów typu BAR2 oraz 822 elementów typu QUAD4 (łączniki – 120 elementów, wieszaki – 128, podstawa – 574). W drugim modelu MES stanowiska wszystkie podzespoły modelowano jako bryły (rys. 3). Tak samo jak w modelu powłokowym, stanowisko składa się z badanego resoru, podstawy, dwóch łączników i dwóch wieszaków. Kompletny model zbudowano z 2360 elementów typu HEX8 (pióra – 480 elementów, łączniki – 120, wieszaki – 128, podstawa – 1632) oraz 22 elementów typu BAR2.

W obu modelach przyjęto uproszczenie polegające na pominięciu otworów w elementach łączników, wieszaków i podstawy stanowiska w miejscach, gdzie w rzeczywistości znajdują się śruby. W modelach MES elementy te są jednolite i nie mają otworów. Dzięki temu uniknięto modelowania w tych obszarach kontaktu pomiędzy śrubami i elementami mocowanymi.

Na rys. 2 przedstawiono sposób połączenia wieszaków i łączników z najdłuższym piórem resoru oraz z podstawą stanowiska. Połączenia modelowano za pomocą elementów MPC i elementów belkowych o zastępczej sztywności. Odwzorowują one śruby i umożliwiają obrót połączonych elementów względem odpowiednich osi. W dolnej części wieszaków i łączników połączenia modelowano również za pomocą elementów MPC z odpowiednio powiązаныmi stopniami swobody łączonych podzespołów (modele więzów wewnętrznych), tak aby w sposób uproszczony odwzorowywały oddziaływanie śrub. Identyfikacyjnie modelowano połączenia pomiędzy ruchomymi i nieruchomymi podzespołami stanowiska do badań resoru w modelu 3D.

W celu odwzorowania rzeczywistego podparcia stanowiska w modelach 2D i 3D wprowadzono odpowiednie więzy zewnętrzne. Podstawę zamocowano przez wprowadzenie więzów na kierunkach translacyjnych stopni swobody wzdłuż osi OY w węzłach na spodzie podstawy. Podobne więzy uwzględniono w modelach wieszaków i łączników, odbierając wszystkie translacyjne stopnie swobody dolnym krawędziom tych podzespołów stanowiska.

Na podstawie tak zbudowanych modeli 2D i 3D wykonano obliczenia z wykorzystaniem programu MSC.Nastran. Obciążenie stanowił zestaw czterech sił skupionych o wartości 2,5 kN każda, przyłożonych w płaszczyźnie symetrii pionowej resoru. Siła wypadkowa zestawu obciążającego, wynosząca 10 kN, odpowiadała maksymalnej wartości obciążenia zastosowanego w testach sztywności resoru na stanowisku eksperymentalnym [3]. Wszystkie analizy wykonano w zakresie nieliniowej statyki [6]. W modelach tych występowała nieliniowość geometryczna, która polega na nieproporcjonalnej zależności przemieszczeń od sił zewnętrznych oraz obecno-



Rys. 3. Stanowisko do badań resoru: a) model bryłowy; b) mapa przemieszczeń całkowitych, przemieszczenia $U_{c,max} = 170$ mm, c) mapa naprężeń zredukowanych HMM, naprężenia $\sigma_{max} = 711$ MPa

ści luzów między piórami resorów pomocniczego i głównego. Skutkiem tego w procesie obciążenia macierz sztywności zmieniała się i była uaktualniana w każdym kroku obliczeń.

Przykładowe wyniki przemieszczeń i naprężeń zredukowanych otrzymane w modelu 3D stanowiska przedstawiono na rys. 3. Maksymalne wartości przemieszczeń wypadkowych w tym wariancie modelu stanowiska uzyskano w resorze i wynoszą one 170 mm (rys. 3b). Na podstawie porównania wartości maksymalnych przemieszczeń elementów stanowiska wyznaczonych w modelach 2D i 3D stwierdzono, że są one prawie identyczne (maksymalna różnica względna jest mniejsza niż 1%). Maksymalne naprężenia otrzymane w modelu 3D wyznaczono w piórach resoru i wynoszą one odpowiednio 711 MPa (rys. 3c, tablica). Występują one w dwóch najdłuższych piórach w obszarach styku z końcówkami sąsiednich, współpracujących piór.

TABLICA. Porównanie wyników maksymalnych naprężeń wyznaczonych w modelach 2D i 3D stanowiska do badań resoru

Elementy stanowiska	Model 2D σ_{max} MPa	Model 3D σ_{max} MPa	Różnica względna %
Resor	711	711	0
Łączniki	23,3	31	25
Wieszaki	122	192	36
Podstawa	57,4	32,8	43

W tablicy porównano maksymalne wartości naprężeń wyznaczonych w modelach stanowiska. Największe różnice względne stwierdzono w podstawie stanowiska eksperymentalnego i wynoszą one ok. 43%.

Prezentowane modele 2D i 3D, pomimo zastosowanych uproszczeń, umożliwiają dokładne odwzorowanie stanu przemieszczeń oraz wyteżenia i mogą być zastosowane w analizach wielowariantowych układu resor–stanowisko.

LITERATURA

- Gabryelewicz M. „Podwozia i nadwozia pojazdów samochodowych”. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2011, s. 274÷319.
- Krasoń W., Wysocki J., „The research on the double spring effort in braking process”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. Vol. 17, No. 4 (2010): s. 237÷244.
- Bogusz P., Krasoń W., Wysocki J. „Experimental investigations of double multi-leaf spring subjected to impact load”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. Vol. 19, No. 2 (2012): s. 45÷51.
- Krasoń W., Wysocki J. „Projekt stanowiska do badań biliniowego resoru wielopiórowego”. Wojskowa Akademia Techniczna, 2014.
- Zając K., „Numeryczne badania wytrzymałości elementu zawieszania pojazdu ciężarowego”. Projekt inżynierski. Wojskowa Akademia Techniczna, 2015.
- Rakowski G., Kacprzyk Z. „Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005, s. 11÷16.