

# Koncepcja narzędzia do modelowania połączeń mechanicznych w modelach MES foteli samochodowych

## Concept of an application for fasteners modeling in FEM models of automotive seatings

ŁUKASZ WOŹNICKI  
MARCIN DĘBNIAK  
JERZY POKOJSKI \*

Materiały z XX SKW PWiE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.214

W pracy omówiono budowę aplikacji wspomagającej proces modelowania połączeń mechanicznych stosowanych w fotelach samochodowych. Przedstawiona została koncepcja modelu UML połączenia oraz sposób jego implementacji w wybranym środowisku CAE.

**SŁOWA KLUCZOWE:** połączenia mechaniczne, MES, KBE

*The paper presents the process of an application development for modeling fasteners used in automotive seatings. The conceptual UML fastener model and its implementation in the CAE system are also shown.*

**KEYWORDS:** fasteners, FEA, KBE

Konstrukcja mechaniczna fotela wraz ze wszystkimi elementami połączeniowymi jest przedmiotem szczegółowych analiz wytrzymałościowych prowadzonych za pomocą metody elementów skończonych (MES). W pojedynczym fotelu można spotkać nawet kilkadziesiąt połączeń mechanicznych występujących w różnych konfiguracjach. Proces ich modelowania może być dość czasochłonny. Uefektywnienie tego procesu, a także podniesienie jego jakości ma zasadnicze znaczenie dla prowadzonych analiz. Rozwiązaniem, które może to zapewnić, jest budowa opartego na wiedzy narzędzia, do automatyzacji procesu modelowania połączeń mechanicznych.

W dostępnych na rynku komercyjnych systemach do budowy modeli MES występują moduły do modelowania tej klasy połączeń. Przykładowo: środowisko Altair HyperWorks [1] i system Abaqus [2] posiadają takie narzędzia.

Moduły te cechuje jednak ograniczona skuteczność – oferują najprostszy sposób modelowania, nie uwzględniają kształtu śruby, kontaktu między łączonymi elementami czy też napięcia wstępnego.

W praktyce możemy spotkać wiele zastosowań narzędzi wspomagających proces pozyskiwania wiedzy inżynierskiej i następnie budowy oprogramowania (w oparciu o tę wiedzę), które automatyzują pewne działania wykonywane przez inżynierów [3].

Narzędzia te określane są mianem *knowledge based engineering* (KBE) [3]. Aplikacje KBE mają za zadanie wspomagać proces realizacji określonych aktywności projektowych na drodze ich automatyzacji, w oparciu o pozyskaną i następnie zamodelowaną wiedzę inżynierską. Rozwiązania przyjęte w niniejszej pracy oparto na takiej właśnie koncepcji.

W latach 90. XX w. zaczęto stosować w modelowaniu wiedzy inżynierskiej formalizmy obiektowe [3, 6]. Wypracowane metody budowano na pojęciach podstawowych programowania obiektowego oraz na podejściach opartych na szablonach [3, 6]. Podejścia oparte na szablonach zostały wyposażone

w dosyć zaawansowane narzędzia pozwalające za pomocą szablonów modelować szkielet nowo tworzonego oprogramowania.

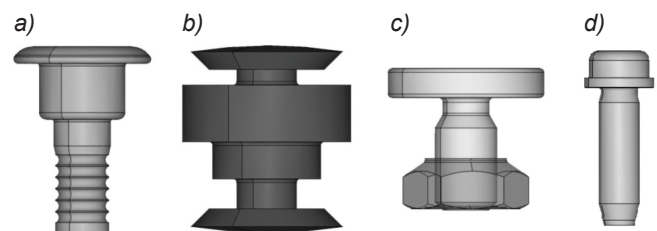
Zwykle ten typ modelowania realizowany jest za pomocą języka UML [3, 6]. Na podstawie modeli UML generowany jest szkielet kodu w określonym języku programowania.

Podstawą do tworzenia szablonów są podobieństwa w zakresie struktur wiedzy, która jest stosowana do rozwiązywania różnych klas problemów, np. do modelowania w MES różnych typów połączeń mechanicznych. Podejście to zostało również wykorzystane w niniejszej pracy.

### Typy połączeń używanych w fotelach samochodowych

W fotelach samochodowych stosuje się połączenia śrubowe i połączenia nitowo-obrotowe:

- Połączenia śrubowe wykorzystywane są do nieruchomego połączenia kilku części, np. całej konstrukcji fotela z podłogą pojazdu (jest to bardzo ważny aspekt bezpieczeństwa, rys. 1c, d).
- Połączenia nitowo-obrotowe stanowią podstawę kinematyki konstrukcji fotela. Można spotkać zarówno proste rozwiązania w postaci walcowego sworznia, jak i bardziej skomplikowane, gdzie taki element posiada kilka stopni swobody i dodatkowo może być zakończony gwintem (rys. 1a, b).



Rys. 1. Typowe połączenie mechaniczne – modele CAD (a, b – połączenie nitowo-obrotowe, c, d – połączenia śrubowe)

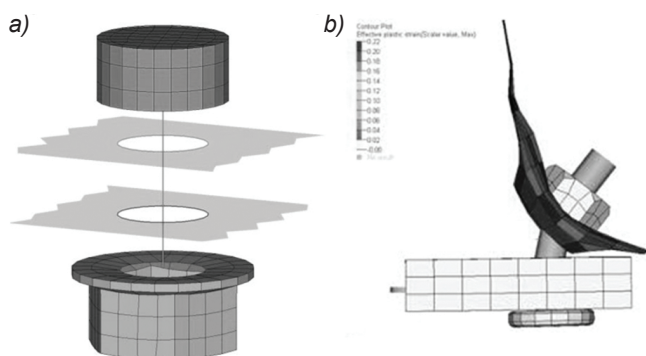
### Sposób modelowania MES

Przyjęty sposób modelowania MES połączeń mechanicznych opiera się na kontakcie między rdzeniem połączenia, łbem i łączonymi częściami. Zrezygnowano ze sztywnego łączenia węzłów odpowiednich otworów z rdzeniem połączenia, co wcześniej nie pozwalało na odwzorowanie nieliniowych warunków brzegowych.

Rdzeń jest modelowany za pomocą elementów belkowych. Dodatkowo na wszystkich krawędziach łączonych otworów, przez które przechodzi dane połączenie, tworzone są elementy belkowe, które pozwalają na odpowiednie działanie kontaktu w tej strefie. Model przykładowego połączenia przedstawiono na rys. 2a.

Poprzez zastosowanie odpowiednich właściwości stworzonych elementów belkowych oraz po uwzględnieniu napięcia

\* Mgr inż. Łukasz Woźnicki (lukasz.woznicki@faurecia.com) – Politechnika Warszawska, R & D Faurecia Automotive Seatings; prof. dr hab. inż. Jerzy Pokojski (jerzy.pokojski@simr.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska, Instytut Podstaw Budowy Maszyn; mgr inż. Marcin Dębniak (marcin.debiak@faurecia.com) – R&D Faurecia Automotive Seatings

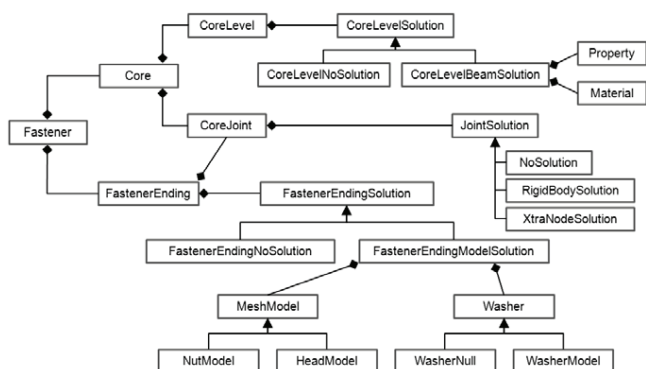


Rys. 2. Model MES połączenia mechanicznego: a) model poglądowy, b) wyniki analizy

wstępnego możliwe jest odwzorowanie/przenoszenie przez taki model wszystkich rodzajów obciążeń: zginania, skręcania, ścinania oraz rozciągania. Dodatkowo zastosowanie odpowiednich materiałów pozwala na analizowanie deformacji sprężysto-plastycznych w strefie w pobliżu połączenia (rys. 2b).

### Model UML

Na potrzeby tworzonego narzędzia przygotowany został model połączenia mechanicznego. Schemat UML tego modelu przedstawiono na rys. 3.



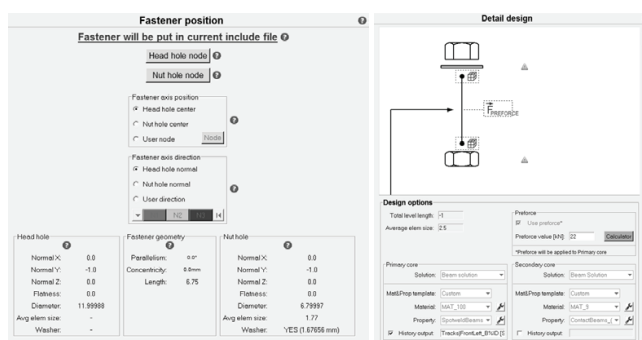
Rys. 3. Schemat UML modelu połączenia mechanicznego

W skład modelu wchodzi następujące klasy:

- Fastener – podstawowa klasa modelu reprezentująca kompletne połączenie mechaniczne.
- Core – reprezentuje rdzeń połączenia, który jest zbudowany z kolekcji obiektów klasy CoreLevel i CoreJoint.
- CoreLevel – opisuje pojedynczy stopień rdzenia. Obiekty tej klasy przechowują takie informacje, jak długość i średnica stopnia, oraz są zbudowane z dwóch obiektów klasy CoreLevelSolution.
- CoreLevelSolution – abstrakcyjna klasa opisująca sposób realizacji rdzenia w modelu MES.
- CoreJoint – reprezentuje punkt łączący dwa kolejne stopnie rdzenia oraz punkty znajdujące się na końcach rdzenia. Obiekty te zbudowane są z obiektu klasy CoreJointSolution.
- CoreJointSolution – abstrakcyjna klasa opisująca rozwiązania, jakie powinny być zastosowane w punktach opisanych przez obiekty klasy CoreJoint.
- FastenerEnding i FastenerEndingSolution – reprezentuje obiekty znajdujące się na końcach całego połączenia mechanicznego: łeb i nakrętkę wraz z ewentualną podkładką.

### Implementacja w środowisku CAE

W celu wykorzystania przedstawionego w poprzednim rozdziale modelu konieczne było zbudowanie odpowiedniego narzędzia, a następnie jego zaimplementowanie w wybranym środowisku CAE. Zdecydowano się na wykorzystanie systemu Altair HyperWorks.



Rys. 4. Interfejs użytkownika – przykładowe kroki

Zbudowany interfejs użytkownika (rys. 4) prowadzi użytkownika przez cały proces i, przechodząc przez kolejne kroki, pozwala sprecyzować szczegóły projektowanego połączenia.

### Wnioski

Narzędzie zostało zbudowane i wdrożone we wszystkich placówkach R&D Faurecia Automotive Seatings na świecie. Łatwość użycia i ogromne możliwości znacznie uprościły proces modelowania nawet najbardziej skomplikowanych połączeń mechanicznych spotykanych w fotelach samochodowych.

Ze względu na liczbę dostępnych opcji i ustawień zdecydowano się na wykorzystanie narzędzia poprzez zdefiniowane szablony, które domyślnie konfiguruje większość parametrów zgodnie z wewnętrznymi standardami i wybranym typem szablону. Zadaniem użytkownika jest określenie kluczowych parametrów tworzonego połączenia, zależnych od danego szablonu. Powoduje to znaczny wzrost wydajności, gdyż użytkownik nie musi tracić czasu na definiowanie parametrów, które są narzucone przez odpowiedni standard, a także eliminuje możliwość popełnienia błędów.

Dodatkową możliwością jest tworzenie tzw. szablonów użytkownika. Są one rozszerzeniem domyślnych szablonów o ustawienia specyficzne dla danego fotela lub projektu.

Przed powstaniem narzędzia zamodelowanie pojedynczego połączenia było procesem czasochłonnym i zajmowało nawet dwie godziny pracy jednego inżyniera. Zastosowanie zaproponowanego podejścia pozwoliło skrócić proces do zaledwie kilku minut i dodatkowo poddać te działania standaryzacji.

### Podsumowanie

W pracy przedstawiono narzędzie przeznaczone do automatyzacji procesu modelowania połączeń mechanicznych w modelach MES foteli samochodowych.

Zaproponowany model UML połączeń mechanicznych powstał w oparciu o wewnętrzne standardy i pozwala na tworzenie połączeń różnych typów i wielu konfiguracjach, przy uwzględnieniu różnych sposobów i charakterystyk modelowania.

Praca należy do cyklu prac poświęconych automatyzacji poszczególnych elementów procesu budowy/edycji dedykowanych modeli MES [4, 5].

### LITERATURA

1. Dokumentacja systemu HyperWorks, 2015.
2. Dokumentacja systemu Abaqus, 2015.
3. Gil M., Pokojski J., Skotnicki S., Szustakiewicz K. „Komputerowe wspomaganie procesu tworzenia aplikacji Knowledge Based Engineering w budowie maszyn”. Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, 2011, s. 1÷150.
4. Pokojski J., Woźnicki Ł., Dębniak M. „Budowa aplikacji wspomagającej proces generowania siatki MES”. *Mechanik*, 7, 2014, s. 615÷622.
5. Pokojski J., Woźnicki Ł., Dębniak M. „Budowa aplikacji wspomagającej wprowadzanie zmian w modelach MES”. *Mechanik*, 7, 2015, s. 701÷708.
6. Stjepandic J. et al., 2015, Concurrent Engineering in the 21st Century: Foundations, Developments and Challenges. ■