MODELOWANIE INŻYNIERSKIE ISSN 1896-771X
34, s. 29-36, Gliwice 2007

WPŁYW ZŁOŻONOŚCI MODELU KIEROWCY NA WYNIKI SYMULACJI WYPADKÓW DROGOWYCH

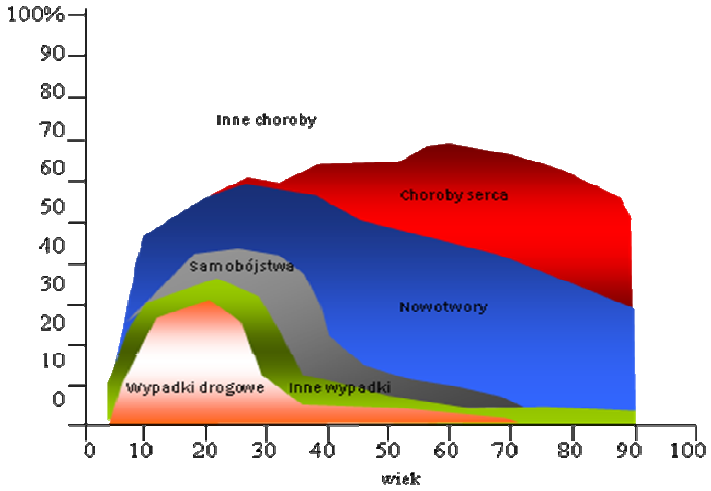
MAREK GZIK, EUGENIUSZ ŚWITOŃSKI, DAGMARA TEJSZERSKA, WOJCIECH WOLAŃSKI, PAWEŁ POTKOWA

Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska
e-mail: marek.gzik@polsl.pl, eugeniusz.switonski@polsl.pl, dagmara.tejszerska@polsl.pl, wojciech.wolanski@polsl.pl, pawel.potkowa@polsl.pl

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę porównawczą modeli kierowcy, o różnym stopniu złożoności na podstawie symulacji komputerowych wypadków drogowych. Przeprowadzone badania pozwoliły ocenić wpływ założeń upraszczających modelu na wyniki analizy wypadków samochodowych, a porównanie wyników poszczególnych symulacji umożliwiło oszacowanie różnic pomiędzy przypadkami zderzeń dla różnego stopnia złożoności modelu kierowcy.

1. WSTĘP

Na podstawie badań statystycznych opracowano zestawienie najczęstszych przyczyn zgonów osób w różnym wieku rys.1. Badania ujawniały, że w grupie od 5 do 25 lat wypadki drogowe dominują wśród przyczyn urazów i zgonów. Jest to grupa młodych osób o dużym potencjale produkcyjnym, których wypadki często eliminują z życia społecznego. Koszty wypadków, leczenia oraz rehabilitacji decydują o podejmowanych przedsięwzięciach w celu poprawy bezpieczeństwa użytkowników dróg. Modelowanie w biomechanice zderzeń jest jednym z dynamicznie rozwijających się elementów w strategii ochrony przed urazami.



Rys. 1. Najczęstsze przyczyny zgonu osób w różnym wieku [7]

Zestawienie liczby wypadków drogowych w Polsce w latach 1998-2006 przedstawia tab. 1. Liczby pokazują, że mimo ogromnego rozwoju motoryzacji w Polsce, zwiększenia liczby pojazdów poprawa bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest zauważalna we wszystkich kategoriach. Na taki stan rzeczy ma wpływ wiele czynników, jednak do najważniejszych można zaliczyć rozwiązania infrastruktury dróg, poprawa bezpieczeństwa biernego podróżujących pojazdami za sprawą między innymi takich rozwiązań jak: poduszki powietrzne, pirotechniczne napinacze pasów, strefy kontrolowanego zgniotu.

Tabela 1. Liczba wypadków drogowych w Polsce w latach 1998-2006 [4]

Rok	Liczba wypadków	Liczba zabitych	Liczba rannych
2006	45 844	5103	57930
2005	48 100	5444	61191
2004	51 069	5 712	64 661
2003	51 078	5 640	63 900
2002	53 559	5 827	67 498
2001	53 799	5 534	68 194
2000	57 331	6 294	71 638
1999	55 106	6 730	68 449
1998	61 588	7 080	77 560

2. MODELE KIEROWCY

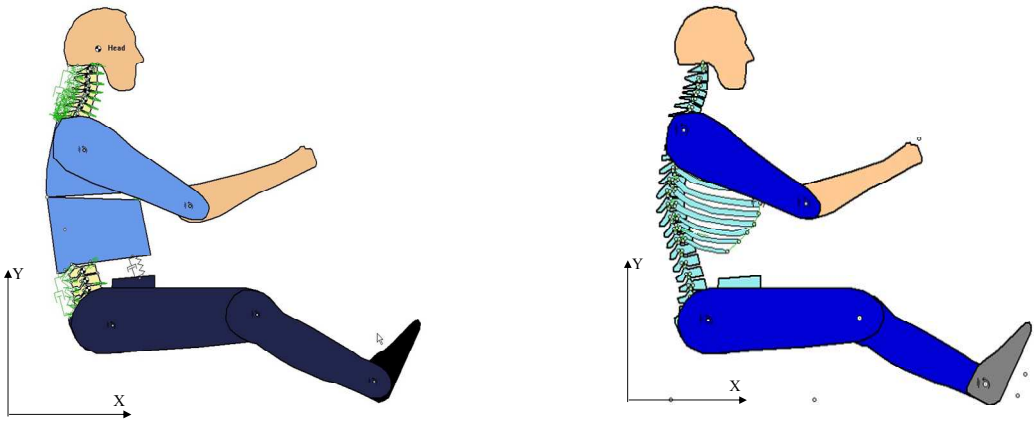
Badania modelowe wypadków komunikacyjnych są wciąż rozwijane i udoskonalane w poszukiwaniu coraz to bardziej szczegółowych modeli, na podstawie których będzie można uzyskiwać wyniki porównywalne z rzeczywistymi [6]. Modele te bazują głównie na matematycznych równaniach opisujących ruch elementów traktowanych jako sztywne bryły połączone przegubami oraz elementami sprężysto-tłumiącymi. Taką metodologię zastosowano również w prezentowanych badaniach [2]. Badania zostały przeprowadzone na podstawie modeli numerycznych sformułowanych przy użyciu aplikacji Working Model 2D. W procesie formułowania modeli kierowcy przyjęto następujące założenia upraszczające:

- Model kierowcy odpowiada cechami fizycznymi mężczyźnie o masie 75kg. Uwzględnia główne części budowy anatomicznej: głowę, kręgosłup, klatkę piersiową, kończyny górne i dolne,
- uwzględnione części budowy anatomicznej połączone zostały przegubowo oraz elementami sprężysto – tłumiącymi w otwarty łańcuch kinematyczny,
- elementy sprężysto - tłumiące reprezentują sumaryczne oddziaływanie więzadeł dysków międzykręgowych oraz mięśni, traktowane jako elementy liniowo sprężyste,
- model kierowcy został umieszczony w pojeździe w pozycji gdzie części ciała wzajemnie ustawione zostały w sposób właściwy względem samochodu, a połączenie kierowcy z samochodem zrealizowano za pośrednictwem elementów sprężysto – tłumiących reprezentujących pasy bezpieczeństwa,
- analizowano ruch w płaszczyźnie strzałkowej oraz czołowej.

2.1. Modele kierowcy w płaszczyźnie strzałkowej

Różnica w budowie modeli dotyczy uszczegółowienia w rozbudowanym modelu budowy klatki piersiowej. W przypadku modelu uproszczonego klatka piersiowa jest reprezentowana jedynie przez dwa elementy, natomiast model rozbudowany uwzględnia dwanaście kręgów piersiowych, żebra oraz mostek (rys.2).

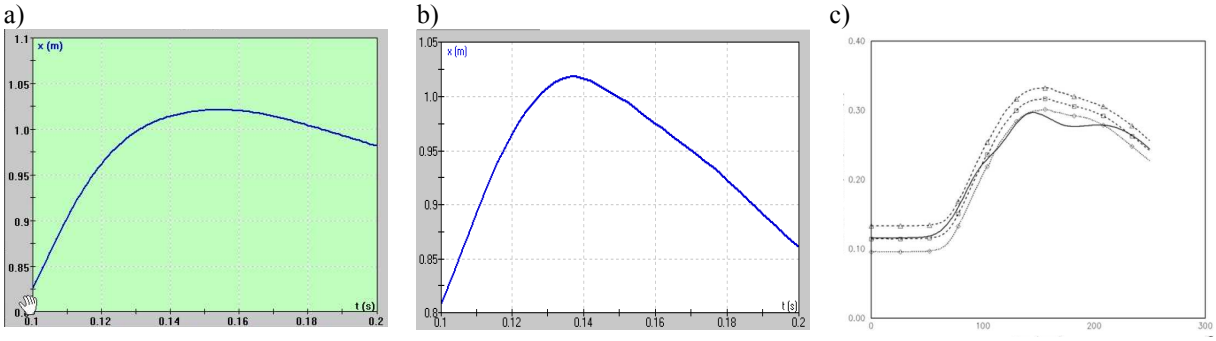
a) b)



Rys. 2. Model kierowcy w płaszczyźnie strzałkowej: a), uproszczony b) rozbudowany

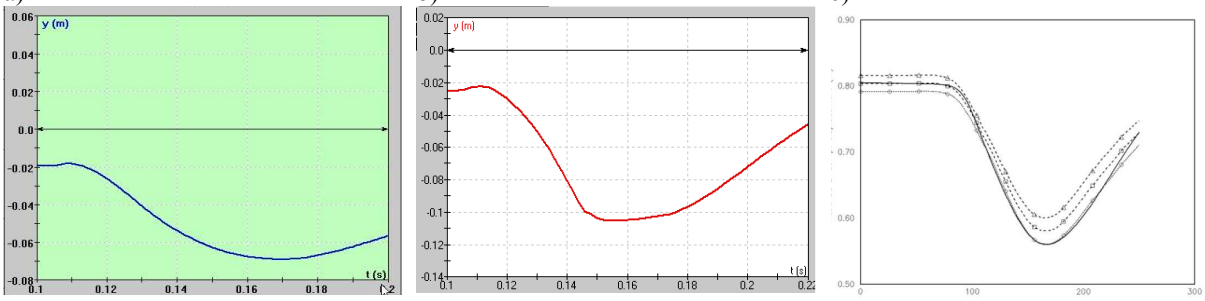
Modele zostały zweryfikowane w oparciu o dostępne dane literaturowe [4] i posłużyły do określenia miejsc najbardziej podatnych na urazy podczas przedniego zderzenia samochodu. Wynik walidacji modeli w płaszczyźnie strzałkowej pokazano na rysunku 3 i 4.

a) b) c)



Rys. 3. Poziome przemieszczenie środka ciężkości głowy w funkcji czasu podczas wypadku: a) z uproszczonego modelu, b) z rozbudowanego modelu c) z badań doświadczalnych

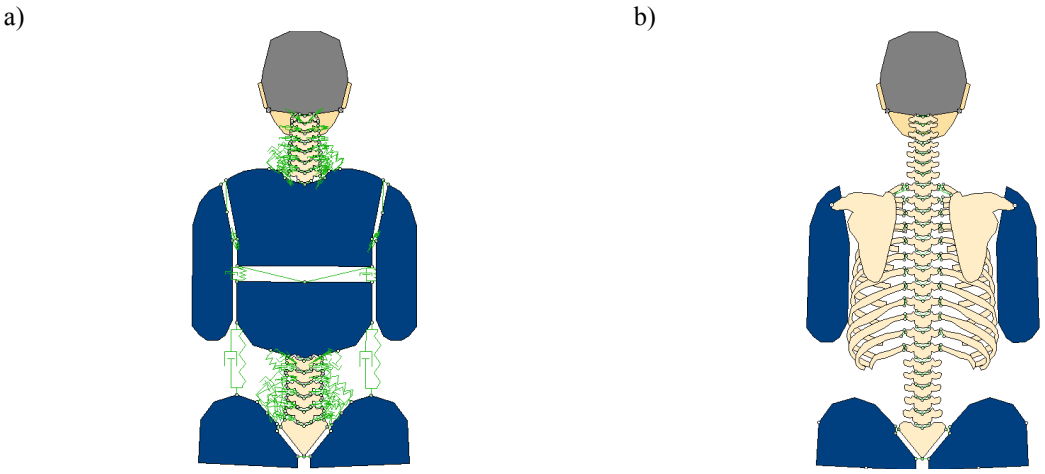
a) b) c)



Rys. 4. Pionowe przemieszczenie środka ciężkości głowy w funkcji czasu podczas wypadku: a) z uproszczonego modelu, b) z rozbudowanego modelu c) z badań doświadczalnych

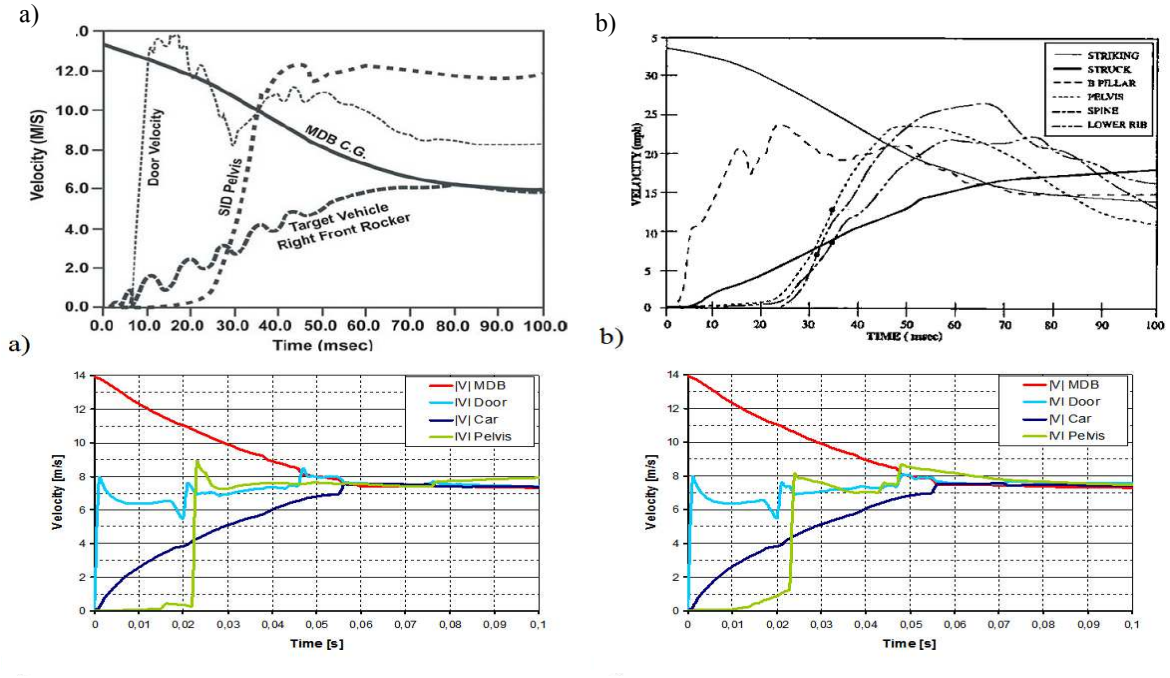
W pierwszej fazie ruchu (rys.3 a i b oraz rys.4 a i b) kierowca wykonuje jedynie ruch do przodu, w kolejnych uwidoczniony jest ruch fleksyjny głowy. Jest to związane z zadziałaniem pasów bezpieczeństwa, które zatrzymują ruch tułowia. Symulację przeprowadzono dla prędkości w chwili zderzenia 8km/h, co odpowiada warunkom eksperymentów na ochotnikach.

2.2. Modele kierowcy w płaszczyźnie czołowej



Rys. 5. Model kierowcy w płaszczyźnie czołowej:
a), uproszczony b) rozbudowany

Modele kierowcy w płaszczyźnie czołowej (rys.5) zostały zweryfikowane w oparciu o dostępne dane literaturowe [1,4] i posłużyły do określenia miejsc najbardziej podatnych na urazy podczas bocznego zderzenia samochodu. Wyniki walidacji modeli w płaszczyźnie czołowej pokazano na rysunku 6.



Rys. 6. Zderzenie boczne - przebieg prędkości w funkcji czasu [1,4]:

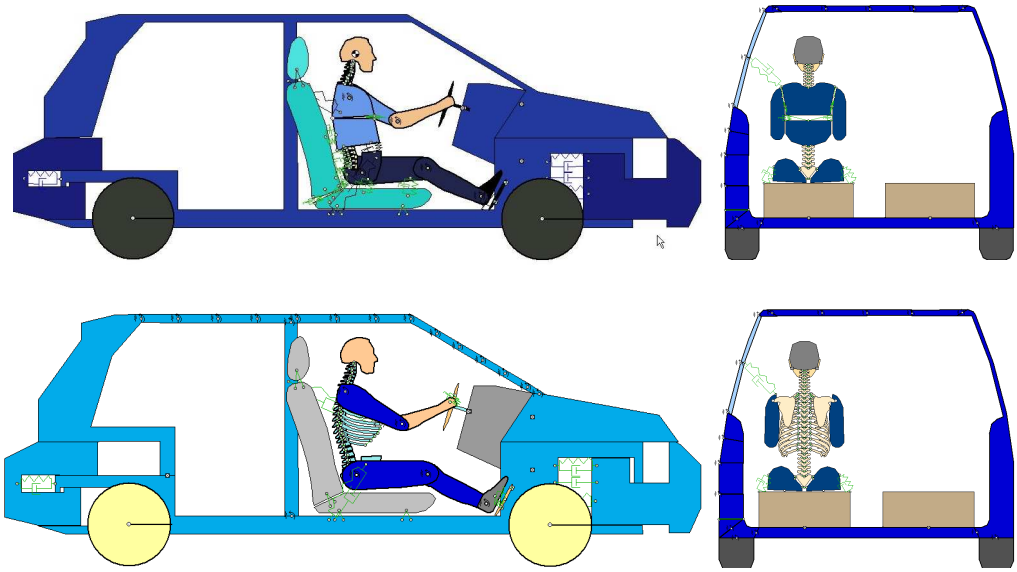
a) National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), b) test FMVSS 214,
c) wyniki symulacji numerycznych dla modelu uproszczonego,
d) wyniki symulacji numerycznych dla modelu rozbudowanego

3. WYNIKI SYMULACJI WYPADKÓW DROGOWYCH

Dla modeli samochodów przedstawionych na rys.7 wraz z uproszczonym i rozbudowanym modelem kierowcy przeprowadzono szereg symulacji wypadków samochodowych w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej przy różnych prędkościach zderzeń.

a)

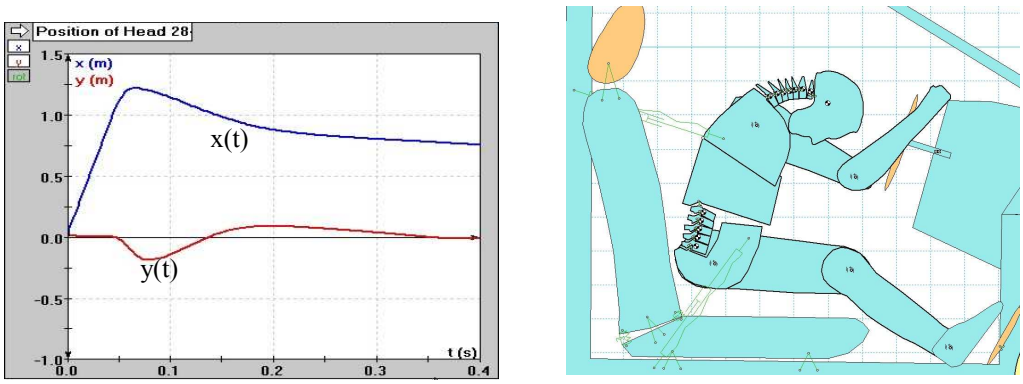
b)



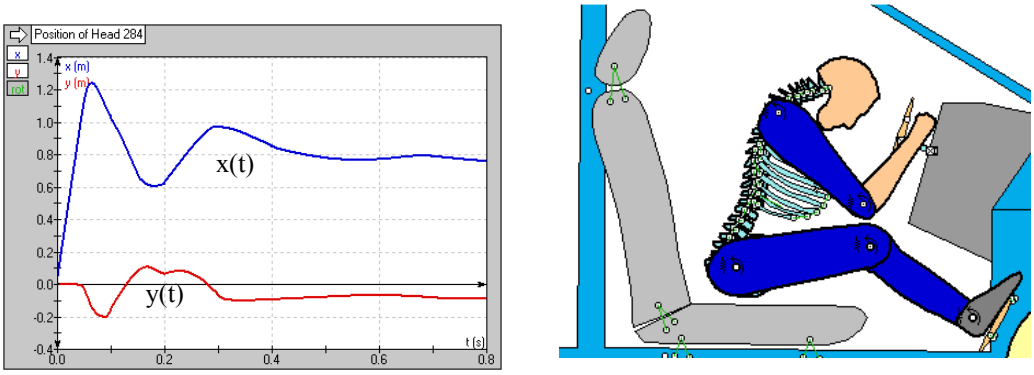
Rys. 7. Model pojazdu wraz z kierowcą: a) model uproszczony, b) model rozbudowany

3.1. Symulacja wypadków w płaszczyźnie strzałkowej

a)



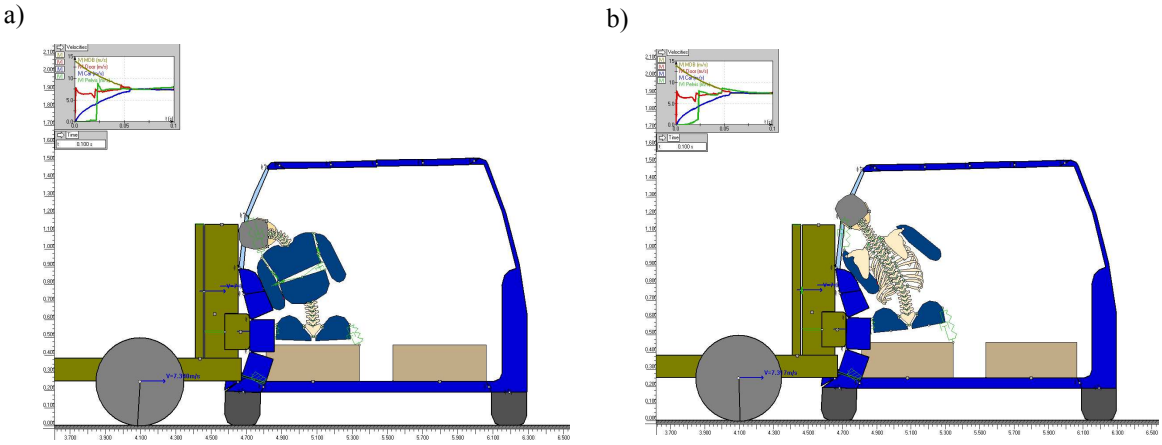
b)



Rys. 8. Zderzenie czołowe przy prędkości 80 km/h, przemieszczenie środka ciężkości głowy: a) w modelu uproszczonym, b) modelu rozbudowanym

Symulacje zachowania kierowcy podczas ruchu w płaszczyźnie strzałkowej (rys.8) oraz czołowej (rys.9) przeprowadzono przy założeniu prędkości w chwili zderzenia 80km/h.

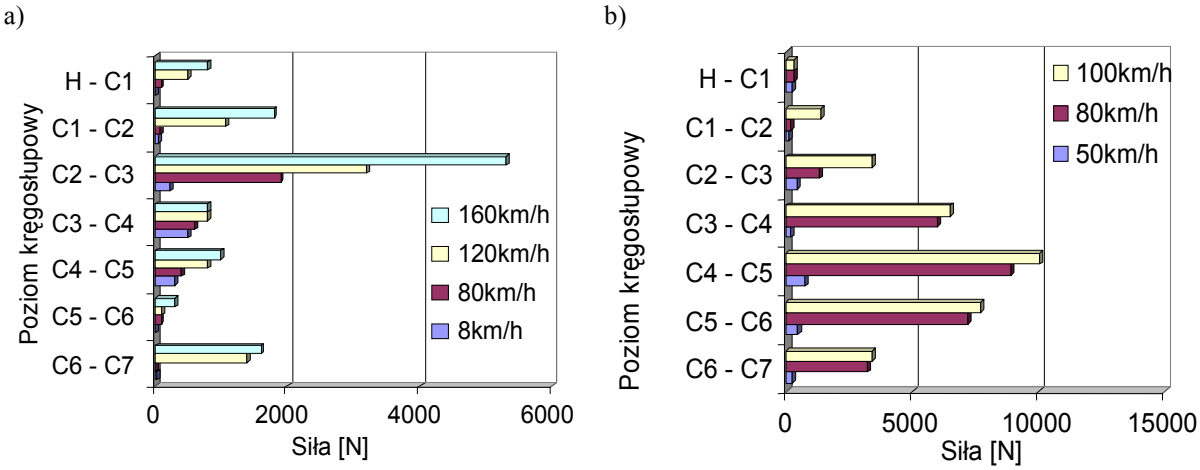
3.2. Symulacja wypadków oraz ruch kierowcy w płaszczyźnie czołowej



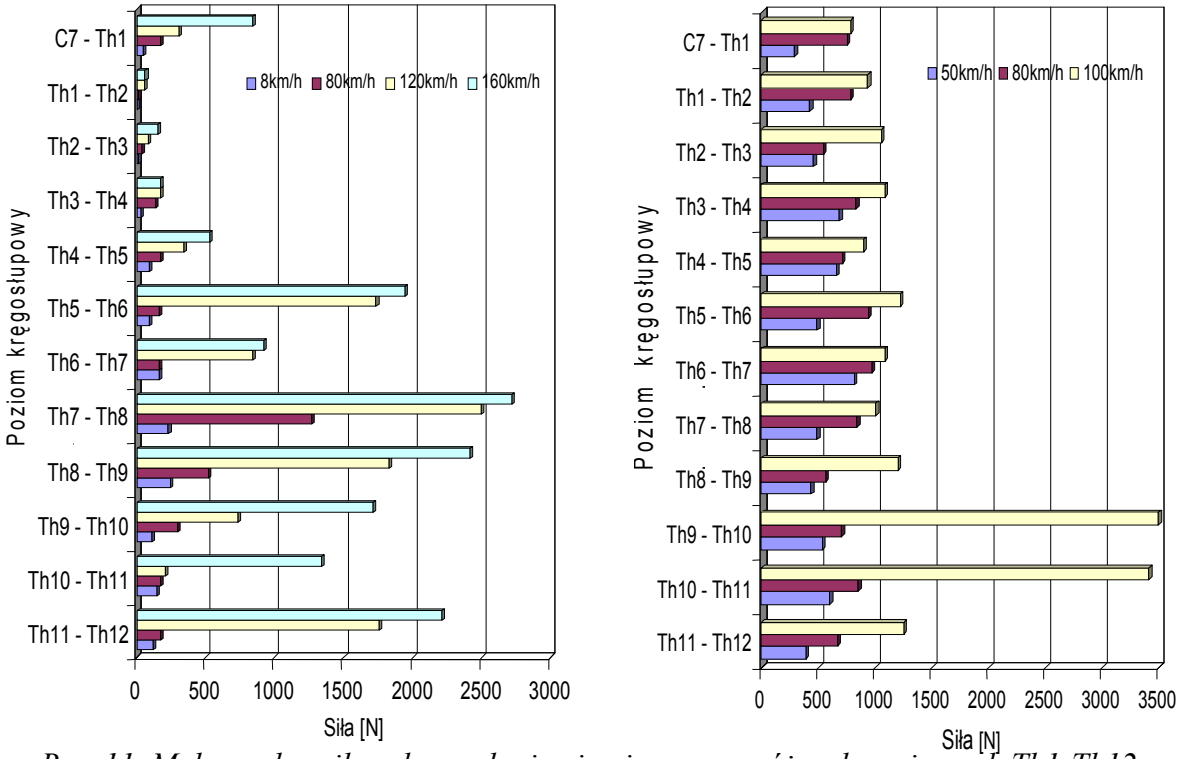
Rys. 9. Porównanie zachowania dwóch modeli w warunkach wypadku zderzenia bocznego przy prędkości 80km/h

4. ANALIZA WYNIKÓW

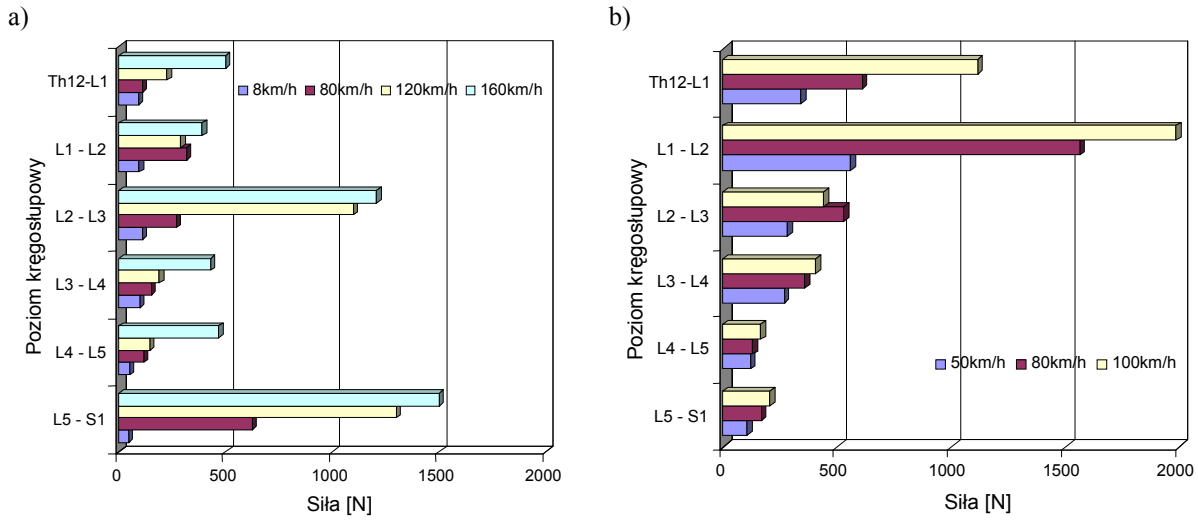
Przeprowadzona analiza pozwoliła na wyznaczenie parametrów ruchu (przemieszczeń, prędkości, przyspieszeń) użytkownika pojazdu oraz sił działających na jego struktury anatomiczne, a także ocenę możliwości odniesienia obrażeń będących efektem wypadków samochodowych. Wyniki uzyskane dla modeli rozbudowanych przedstawiają rysunki 10-12,.



Rys. 10. Maksymalne siły w kręgosłupie szyjnym na różnych poziomach C1-C7: a) podczas zderzenia czołowego przy różnych prędkościach,
b) podczas zderzenia bocznego przy różnych prędkościach



Rys. 11. Maksymalne siły w kręgosłupie piersiowym na różnych poziomach Th1-Th12:
a) podczas zderzenia czołowego przy różnych prędkościach,
b) podczas zderzenia bocznego przy różnych prędkościach



Rys. 12. Maksymalne siły w kręgosłupie lędźwiowym na różnych poziomach L1-S1:
a) podczas zderzenia czołowego przy różnych prędkościach,
b) podczas zderzenia bocznego przy różnych prędkościach

Uzyskane rezultaty dowodzą, że jedynie podczas zderzenia przy prędkości 8km/h warunki są bezpieczne dla kierowcy, dla pozostałych symulacji ryzyko odniesienia urazów kręgosłupa znacznie wzrasta. Podczas zderzeń czołowych przy prędkościach: 80 km/h, 120km/h, 160km/h wartości sił wewnętrznych znacznie przekraczają dopuszczalną wartość 3,6 KN, co odpowiada poziomowi 6 w skali AIS. Podczas zderzeń przy dużych prędkościach bardziej obciążony jest odcinek połączenia głowy z kręgosłupem. Przy zderzeniach bocznych prędkość powyżej 50 km/h wiąże się z dużym ryzykiem poważnych urazów. Uzyskane rezultaty

wskazują na znaczne przekroczenie wartości dopuszczalnych sił obciążających kręgosłup. Wartości dopuszczalnych sił ściskających wyznaczone eksperymentalnie wynoszą dla odcinka piersiowego 4,5 KN natomiast dla lędźwiowego 5KN [2].

5. WNIOSKI

W pracy sformułowano cztery dwuwymiarowe dynamiczne modele kierowcy, które następnie zostały wykorzystane do analizy zachowania człowieka oraz sił wewnętrznych jakie pojawiają się w wypadkach samochodowych zderzeniach czołowych i bocznych. Badania ujawniły, że stopień złożoności modelu ma istotny wpływ na realistyczne zachowanie kierowcy w analizowanych sytuacjach oraz na dynamiczne siły jakie pojawiają się w częściach anatomicznej budowy. Model rozbudowany, w którym dwu elementowy tułów został zastąpiony elementami reprezentującymi kręgi piersiowe, żebra oraz mostek pozwolił na uzyskanie bardziej realistycznych zachowań kierowcy. Model następnie wykorzystano do analizy sił jakie pojawiają się w kręgosłupie człowieka podczas wypadków przy różnych prędkościach zderzeń. Badania wykazały, że zderzenia boczne są bardziej niebezpieczne w aspekcie urazów kręgosłupa od zderzeń czołowych. Prędkości zderzeń powyżej 50km/h wiążą się z dużym ryzykiem poważnych urazów.

LITERATURA

1. Du Bois P., Chou C. C., Fileta B. B., Khalil T. B., King A. I., Mahmood H. F., Mertz H. J., Wismans J.: Vehicle crashworthiness and occupant protection, Automotive Applications Committee, American Iron and Steel Institute, Southfield, Michigan, 2004.
2. Gzik M.: Biomechanika kręgosłupa człowieka, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
3. Happee R., Hoofman M.,Van den Kroonenberg A. J., Morsink P., Wismans J., A mathematical human body model for frontal and rearward seated automotive impact loading, SAE 983150, Technical Paper Series 1998.
4. Insurance Institute for Highway Safety. Crashworthiness Evaluation. Side Impact Crash Test Protocol (Version IV), August 2005.
5. Raport Wydziału Profilaktyki w Ruchu Drogowym Komendy Głównej Policji: Wypadki drogowe 2006.
6. Silva M.P.T., Ambrosio J.A.C., Pereira M.S.: Biomechanical model with joint resistance for impact simulation, Multibody System Dynamics, vol.1, no.1, 1997.
7. Wismans J., Janssen E., Beusenberg M.: „Injury Biomechanics - course notes". Eindhoven University of Technology, Eindhoven 1994.

INFLUENCE OF THE DRIVER MODEL COMPLICATION ON RESULTS OF ROAD ACCIDENTS SIMULATIONS

Summary. The comparative analysis of results simulations for the various configurations of driver model was conducted in the paper. Four models were created in order to realization of research aims. Carried out researches allowed to estimate the influence of the model accuracy on the obtained results. Models of

driver were used to analysis of internal forces which are appeared in human spine during different car accidents.