

**Tomasz HINZ, Ryszard LEWKOWICZ, Piotr PIĄTKOWSKI, Łukasz RYPINA,  
Tomasz KRÓLIKOWSKI**

## **WIRTUALNE MODELOWANIE WYBRANYCH ELEMENTÓW NADWOZI SAMOCHODOWYCH**

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono metody modelowania elementów nadwozi samochodowych oraz sposób analizy wytrzymałościowej wybranej konstrukcji. Na przykładzie podłużnic samochodowych zaprezentowano współczesny proces projektowania nadwozia samochodowego.*

### **WSTĘP**

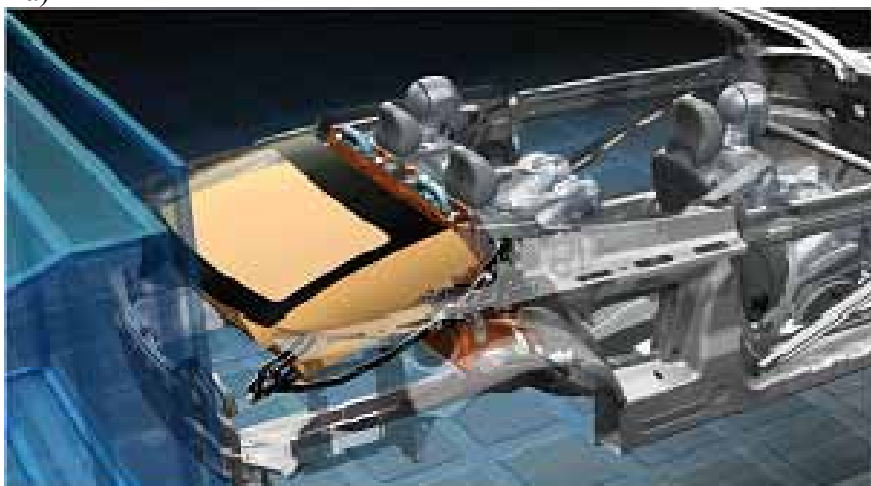
Ostatnie kilkadziesiąt lat wniosło wiele zmian w zakresie budowy pojazdów samochodowych. Do najbardziej istotnych przyczyn tych zmian należałoby zaliczyć: postęp w technologii wykonania nadwozi samochodowych, bezpieczeństwo pasażerów oraz innych uczestników ruchu, oczekiwania klientów oraz trwałość eksploatacyjną pojazdów. Gospodarka rynkowa i związana z nią konkurencja wśród producentów pojazdów wymaga wciąż nowych koncepcji, które zaspokoiłyby potrzeby klientów. W wielu przypadkach atrakcyjność oferty producenta wiąże się z krótkim okresem powstawania pojazdu. Podczas prac projektowych bardzo ważne jest posiadanie oprogramowania. Przyspiesza ono przebieg procesu projektowania nadwozia samochodowego, umożliwia przewidywanie jego właściwości eksploatacyjnych, skraca czas projektu i minimalizuje koszty. Z punktu widzenia konstrukcyjnego, nadwozie samochodowe to wyzwanie dla kilkuset projektantów, którzy zmierzyć muszą się z opracowaniem co najmniej kilkuset ściśle współpracujących ze sobą podzespołów. Każdy z nich musi przejść m.in. testy: wytrzymałościowe, zmęczeniowe, wytłaczania (jeśli element jest tłoczony), antykorozyjne (w przypadku elementów stalowych), itp. Ponadto nadwozie jako całość musi odpowiadać standardom regulacji prawnych obowiązujących w kraju przeznaczenia pojazdu.

Niniejszy artykuł zawiera prezentację procesu modelowania podłużnic samochodowych w programie Catia V5 oraz ich analizę wraz z oceną zaprojektowanych stref zgniotu. Analiza wytrzymałościowa została przygotowana na podstawie symulacji przeprowadzonych w programie Ansys.

## 1. CHARAKTERYSTYKA ORAZ ROLA PODŁUŻNIC SAMOCHODOWYCH

Podłużnice samochodów osobowych oraz dostawczych są istotnym elementem konstrukcyjnym, przejmującym znaczną część energii powstałej na wskutek poważnych wypadków drogowych. Oczywiście jest, iż część energii wypadku pochłonięta zostanie również przez inne elementy nadwozia – co zależy od konkretnego modelu samochodu i przebiegu wypadku. W przypadku kolizji z małymi prędkościami, elementami odpowiedzialnymi za odbiór energii wypadku są elementy tłumiące, zainstalowane na podłużnicy samochodu, takie jak belka energochłonna, tłumiki uderzeń przednich oraz różnego rodzaju wkładki energochłonne. Konstrukcje nadwozi optymalizowane są w taki sposób, by podczas kolizji w jak najmniejszym stopniu uszkodzić podłużnicę samochodu, która z konstrukcyjnego punktu widzenia jest elementem trudnym do późniejszego zastąpienia. Wiąże się z tym określenie „kontrolowanej strefy zgniotu”. Przez pojęcie to należy rozumieć taką część pojazdu, która w przypadku kolizji ulega znacznej i kontrolowanej (możliwej do przewidzenia) deformacji. W konsekwencji następuje proces pochłaniania części energii zderzenia. Stopień jej absorpcji stanowi o bezpieczeństwie konstrukcji nadwozia pojazdu.

a)



b)



**Rys. 1.** Podłużnica tylna samochodu Volvo C70: a) przed kolizją, b) po kolizji (ilustracja nie obejmuje zainstalowanych w pojeździe dodatkowych elementów energochłonnych)

Źródło: Volvo.

Istotną wielkością fizyczną z punktu widzenia kolizji samochodowych jest energia wypadku  $E_w$  pochłaniana przez elementy nadwozia samochodowego, określona według wzoru [1]:

$$E_w = \int_0^l PdD = \left( \frac{\sigma^2}{2E} \right) Fl \quad [\text{Nm}] \quad (1)$$

gdzie:

- P – siła,
- dD – różniczka drogi,
- $\sigma$  – naprężenie,
- E – moduł sprężystości,
- F – powierzchnia przekroju,
- l – droga odkształcenia.

Z przedstawionego równania wynika, że energia wypadku może być większa w przypadku stosowania materiałów odznaczających się niskim modułem sprężystości oraz wysokimi naprężeniami dopuszczalnymi. Energia wypadku wzrasta przy zastosowaniu konstrukcji o dużym przekroju poprzecznym oraz o dużych zdolnościach odkształcania [1].

## 2. MODELOWANIE PODŁUŻNIC SAMOCHODOWYCH

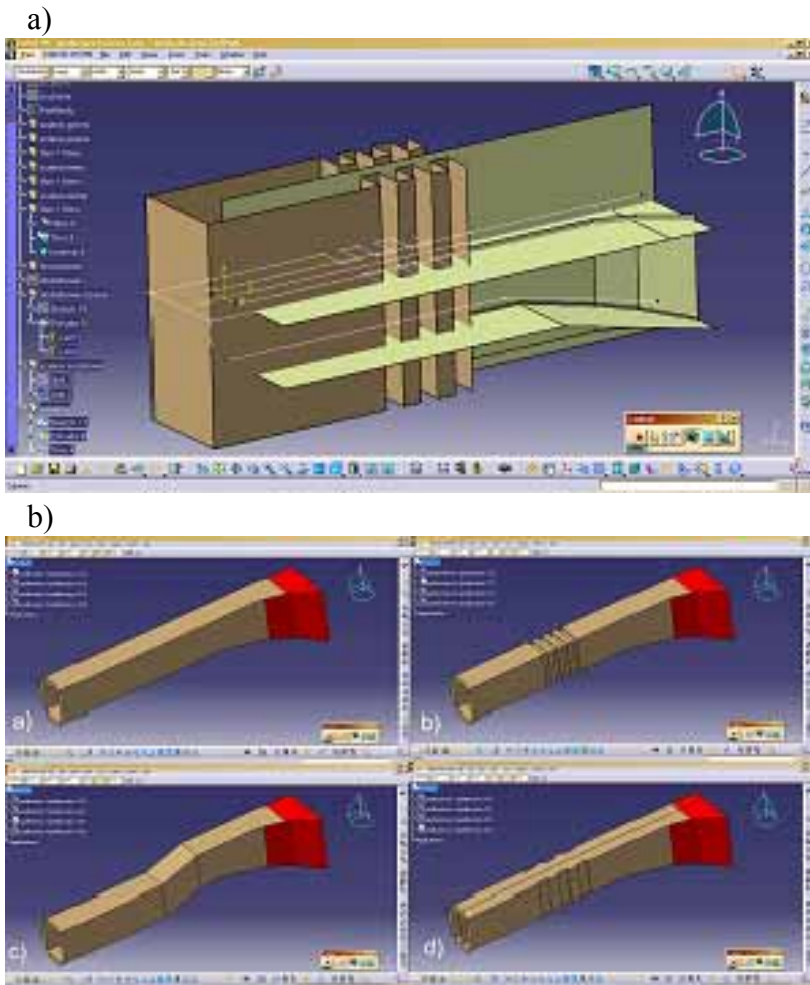
Zagadnienie modelowania podłużnic samochodowych zostanie przedstawione na przykładzie analiz realizowanych w środowisku oprogramowania CATIA V5R17. Program ten wykorzystywany jest obecnie przez około 80% rynku motoryzacyjnego na świecie (m.in. przez firmy Mercedes, VW, Ford i Volvo).

Modele podłużnic samochodowych rozważane są, jako typowe modele powierzchniowe. Podczas ich konstrukcji posłużono się modułem „Generative Shape Design” (rys. 2). Zaprezentowane w niniejszym artykule modele zostały pozbawione wszelkich zaokrągleń (ostre krawędzie) oraz mniej istotnych szczegółów konstrukcyjnych (małe przetłoczenia, niewielkie otwory). Nie miały one bowiem istotnego wpływu na wyniki symulacji, ułatwiając tym samym poprawne wykonanie analizy metodą elementów skończonych. Grubość ścianek modeli powierzchniowych zaprojektowanych elementów konstrukcyjnych w programie *Catia* jest nieskończenie mała. Dla potrzeb symulacji wytrzymałościowych grubość ścianek modeli została określona na poziomie 2 mm, co odpowiada grubości podłużnicy samochodów osobowych wyższej klasy, dostawczych oraz typu SUV. Podczas symulacji uwzględniono także jednolity obszar utwierdzenia powierzchni podłużnicy dla wszystkich rozpatrywanych przypadków.

Obliczenia symulacyjne zostaną przedstawione dla czterech przypadków podłużnic, odznaczających się tą samą długością początkową równą 1000 mm oraz tym samym stałym przekrojem poprzecznym w niemal całej długości konstrukcji 100 × 130 mm (za wyjątkiem kontrolowanych stref zgniotu).

Cechy i oznaczenia analizowanych przypadków konstrukcji podłużnic przedstawiono na rysunku 2b i określono jako:

- podłużnica nr 1 – pozbawiona szczególnych cech konstrukcyjnych określających kontrolowaną strefę zgniotu,
- podłużnica nr 2 – posiadająca w części środkowej cztery równoległe przetłoczenia na głębokość 8 mm,
- podłużnica nr 3 – odznaczająca się zmienną wysokością części górnej, różnica poziomu wyniosła 50 mm,
- podłużnica nr 4 – której cechą charakterystyczną jest zastosowanie dodatkowej ściany wewnętrznej, biegnącej wzdłuż całej podłużnicy oraz trzech bocznych przetłoczeń wykonanych na głębokość 10 mm.



**Rys. 2.** a) Przykład modelowania podłużnic samochodowych w module „Generative Shape Design” (podstawowe szkice oraz widok powierzchni tworzących opartych na lokalnych układach współrzędnych jako podstawowa część etapu tworzenia modelu CAD) [2], b) modele CAD podłużnic samochodowych, które poddane zostały analizie.

Źródło: Opracowanie własne

### 3. OPIS ANALIZY

Zamodelowane podłużnice samochodowe poddane zostały symulacjom dynamicznym w programie Ansys. Celem symulacji było zobrazowanie właściwości kontrolowanych stref zgniotu badanych podłużnic wykonanych ze stali DOCOL 800 DP.9. (gęstość  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ; moduł sprężystości  $E = 210 \text{ GPa}$ ; współczynnik Poissona  $\nu = 0,31$ ). Obciążenie podłużnicy stanowił impuls siły wynikającej z uderzenia w stalową płytę, której materiał przyjęto jako idealnie sztywny (nieodkształcalny). Parametry geometryczne płyty wynosiły odpowiednio (szer.  $\times$  wys.  $\times$  gr.)  $530 \times 500 \times 40 \text{ mm}$ .

Modele MES podłużnic liczyły odpowiednio:

- podłużnica nr 1 – o powierzchni  $0,514 \text{ m}^2$ ; 19788 elementów skończonych,
- podłużnica nr 2 – o powierzchni  $0,537 \text{ m}^2$ ; 20636 elementów skończonych,
- podłużnica nr 3 – o powierzchni  $0,516 \text{ m}^2$ ; 20609 elementów skończonych,
- podłużnica nr 4 – o powierzchni  $0,668 \text{ m}^2$ ; 20636 elementów skończonych.

W rozważanej analizie numerycznej wprowadzono uproszczenia kształtu rozważanego obszaru, pominięto mało istotne oddziaływania zewnętrzne, przyjęto jednorodność (tzn. materiał jest jednorodny i nie obejmuje dyslokacji czy zmian w strukturze stali), oraz założono, że właściwości fizyczne są stałe w czasie.

#### 4. WYNIKI SYMUACJI

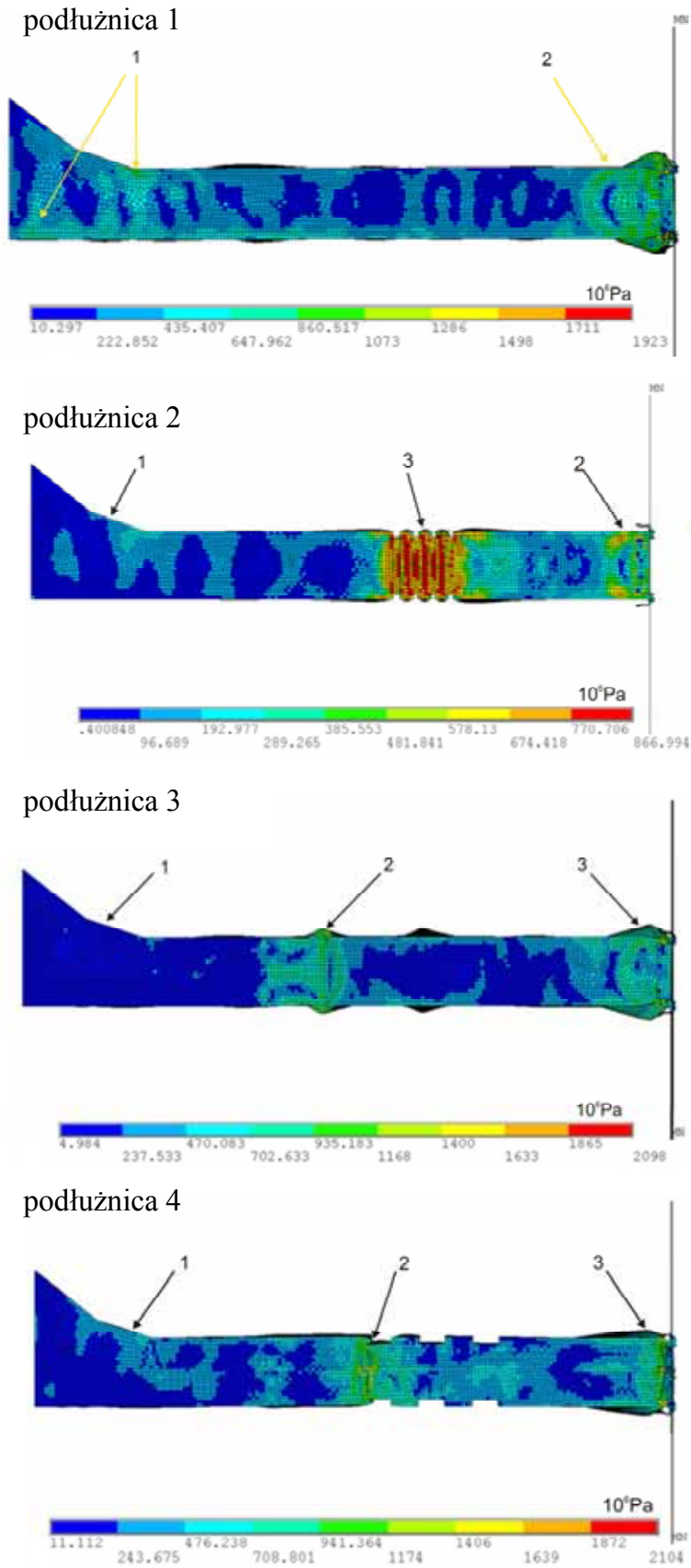
Dla poprawnego zilustrowania uzyskanych przez nas wyników, przedstawione zostały w formie obrazów prezentujących rozkład naprężeń (rys. 3). W trakcie badań istotny był czas od momentu uderzenia, po którym rejestrowano wartości naprężeń. Ze zmianą kontrolowanego czasu badania zaobserwowano znaczne różnice wywołanych naprężeń oraz odkształceń.

W przypadku części środkowej podłużnicy 1 zaobserwowano w miarę powtarzalny rozkład naprężeń, zawierający się w przedziale 10÷650 MPa. Zauważyć również można, znaczne wartości naprężeń i odkształceń w całym zakresie długości zamodelowanej konstrukcji. Stwierdzono także skoncentrowane, wysokie naprężenia u podstawy podłużnicy (1; podłużnica 1), co w późniejszym czasie spowoduje złamanie się podłużnicy właśnie w tych miejscach. Także w obszarze kontaktu z płytą (2; podłużnica 1) zaobserwowano pojawienia się względnie dużego odkształcenia, co wpłynie znacząco na deformację tej części nadwozia i utratę kontroli nad procesem równomiernego rozpraszania energii zderzenia. Wiąże się to bezpośrednio ze stosunkowo dużą sztywnością tej konstrukcji.

W przypadku podłużnicy 2 widać wyraźnie, iż zastosowana zmiana profilu przekroju wpłynęła znacznie na wzrost naprężeń właśnie w miejscu przetłoczenia (3; podłużnica 2). Inną specyficzną zmianą w odniesieniu do podłużnicy nr 1 jest zmniejszenie wartości naprężeń w obszarze utwierdzenia, co korzystnie wpłynie na bezpieczeństwo nadwozia i uzyskanie nieodkształcalnej strefy pasażerskiej. Ponadto, w obszarze kontaktu z płytą zaobserwowano także zmniejszenie naprężeń i odkształcenia. Jest to korzystne dla zachowania kształtu nadwozia i przebiegu procesu rozpraszania energii. Natomiast co do wartości naprężeń, to w strefie zmiany profilu przekroju i kształtu obserwuje się wartości 670÷770 MPa, w stosunku do 0,5 MPa przekazywanych na strefę utwierdzenia podłużnicy. Podłużnica taka, charakteryzuje się więc małą sztywnością z dużą skłonnością do pochłaniania energii zderzenia.

Podłużnica 3 wyróżnia się stosunkowo dużym odkształceniem i zarejestrowanym naprężeniem w strefie kontaktu podłużnicy z płytą (3; podłużnica 3). Drugie podobne co do wartości osiągniętych naprężeń miejsce na długości podłużnicy zlokalizowane jest w obszarze zmiany kształtu profilu (2; podłużnica 3). W wyniku analizy danych można stwierdzić, że podłużnica nr 3 przenosi duże naprężenia, co powoduje jej niewielką skłonność do pochłaniania energii zderzenia i dość wysoką sztywność. Przekłada się to niekorzystnie w odniesieniu do ochrony strefy pasażerskiej, ponieważ może skutkować przeniesieniem na nią zbyt dużej ilości energii wypadku, co spowoduje odkształcenie tej strefy.

Podłużnica 4 charakteryzowała się nieco inną specyfiką geometryczną obszaru przeznaczonego do pochłaniania energii zderzenia (2; podłużnica 4). Wynikiem tego jest wzrost naprężeń zarejestrowanych w obszarze utwierdzenia oraz odkształcenie w miejscu kontaktu podłużnicy z płytą. Na podstawie tego wnioskować można, że podłużnica nr 4 nie wykazuje tendencji do pochłaniania energii zderzenia co jest konsekwencją fizycznej poprawy jej sztywności.



**Rys. 3.** Widok rozkładu naprężeń Misesa dla podłużnicy nr 1, 2, 3, 4, wraz z punktami charakterystycznymi. Ujęcia zarejestrowano po czasie od uderzenia 0,8 s

Źródło: Opracowanie własne

## PODSUMOWANIE

Zaprezentowany materiał ma na celu zobrazowanie możliwości oprogramowania komputerowego, które jest dostępne na wielu krajowych uczelniach wyższych. Analiza nieskomplikowanych w swojej budowie podłużnic samochodowych pozwala na przewidywanie zachowania się elementów nadwozia podczas wypadku na podstawie symulacji, bez konieczności wykonywania kosztownych i czasochłonnych prób zderzeniowych. Podłużnice samochodowe przedstawione zastały jako wybrany przykład elementu nadwozia samochodowego.

## BIBLIOGRAFIA

1. Zieliński A.: *Konstrukcja nadwozi samochodów osobowych i pochodnych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2003.
2. Skarka W., Mazurek A.: *Catia. Podstawy modelowania i zapisu konstrukcji*, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2005.

## VIRTUAL DESIGN OF CHOSEN CAR BODY ELEMENTS

### *Abstract*

*The article represents design methods of car body elements ,and the basic calculations and possible endurance analysis for chosen structure. Based on front side rail sample presented contemporary construction process of car body.*

### *Autorzy:*

mgr inż. **Tomasz Hinz** – Politechnika Koszalińska

prof. nzw. dr hab. inż. **Ryszard Lewkowicz** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Piotr Piątkowski** – Politechnika Koszalińska

mgr inż. **Łukasz Rypina** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Tomasz Królikowski** – Politechnika Koszalińska