

## **Zastosowanie przegubów plastycznych w strukturze nadwoziowej samochodu dla zwiększenia bezpieczeństwa jadących**

**ANDRZEJ MUSZYŃSKI, JAN WAŚCISZEWSKI**

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Przeguby plastyczne, podczas zderzenia samochodu z przeszkodą, pochłaniają w znacznym stopniu energię zderzenia, zmieniając ją w pracę deformacji struktury nadwoziowej. Odpowiednia ilość, położenie oraz charakterystyka „przegubów” pozwalają zrealizować kontrolowaną deformację, która umożliwia zachowanie przestrzeni przeżycia pasażerom. Wykorzystanie działania „przegubów” podnosi bezpieczeństwo pasażerów, co jest ich istotną rolą.

### **1. Wprowadzenie**

Miejsca przegubowopodobne występują w układach prętowołukowych, tworzących kratownicę przestrzenną nadwozia samochodowego. Mogą one mieć różny kształt konstrukcyjny, a ich cechą charakterystyczną jest występujące w tych miejscach znaczne wyężenie materiałowe, powodujące zmianę stanu sprężystego w stan elastoplastyczny lub całkowicie plastyczny. W terminologii angielskiej używane jest określenie „hinge-like-joint”, a w polskiej „przegub plastyczny”.

Zastosowanie „przegubów plastycznych” w konstrukcji struktur nadwoziowych ma duże znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa ludzi jadących samochodem. Podczas zderzenia samochodu z przeszkodą, np. w postaci drugiego samochodu lub w postaci muru, drzewa itp., następuje na ogół znaczna deformacja struktury nadwoziowej. Im większa podatność struktury na odkształcenia, tym większa możliwość pochłonięcia energii uderzenia, a tym samym zmniejszenie sił obciążających organizm ludzki. Istotnym jest, aby łatwo odkształcająca się struktura nie zagrażała ludziom bezpośrednimi uderzeniami deformujących się elementów. Możliwość rozwiązania tego problemu stwarza zastosowanie przy projektowaniu struktury nadwozia samochodu tzw. „kontrolowanej deformacji”. Polega ona na wskazaniu określonych miejsc, w których winna nastąpić deformacja, przy czym warunkiem wyboru tych miejsc jest uzyskanie takiej formy odkształcenia struktury nadwozia, która pozwala na uzyskanie „przestrzeni przeżycia” dla jadących samochodem. Zadanie to nastęrcza szereg trudności, jest jednak wykonalne przez zastosowanie w projekcie struktury nadwoziowej „przegubów plastycznych”.

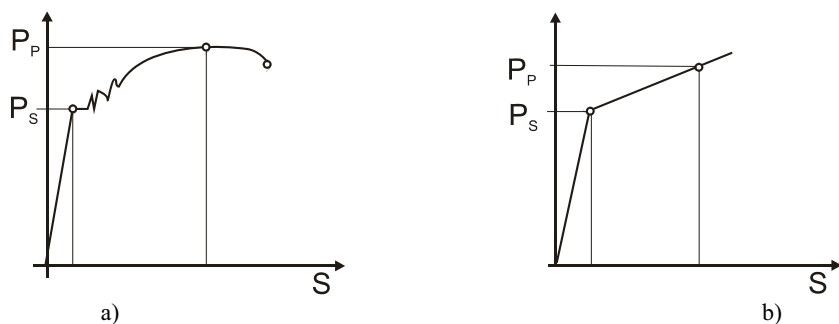
Rola „przegubów” jest niezwykle istotna dla realizacji podstawowego celu, jakim jest podniesienie bezpieczeństwa podczas zderzenia. Spełniają one dwa podstawowe zadania: stwarzają możliwość zamiany znacznej wartości energii zderzenia na pracę odkształcenia struktury nadwozia; struktura odkształca się w z góry zaplanowanych miejscach, a zatem realizowana jest „kontrolowana deformacja”.

## 2. Charakterystyka „przegubu plastycznego”

Przedmiotem niniejszego artykułu będzie omówienie roli „przegubów plastycznych” w realizacji wyżej wymienionych zadań.

Przeguby plastyczne powstają w miejscach znacznego wyężenia materiału elementów struktury nadwoziowej. Wyężenie wywołuje deformacje postaciowe, a jeśli występują odkształcenia trwałe, to uzyskany w ten sposób stan materiału nazywa się stanem „elastoplastycznym”. Opór stawiany przez „przegub” przy odkształceniu plastycznym decyduje o wielkości wykonanej pracy deformacji. Przy dużych prędkościach zmiany postaciowej „przegubu” (ma to miejsce podczas zderzenia samochodów) następuje dodatkowo „wzmocnienie” charakteryzujące się silną nieliniowością (siła jako funkcja deformacji). Wzmocnienie wartości siły deformacji przegubu, niezależnie od rodzaju zderzenia (czołowe, tylne, boczne), może osiągnąć 10 ÷ 15 % - zważywszy na duże prędkości odkształceń podczas zderzeń.

Charakterystyki przegubów są zróżnicowane ze względu na różnorodność możliwych rozwiązań konstrukcyjnych oraz na różnorodność warunków zderzenia w zakresie dynamicznych sił. Z tego względu, dla poszczególnych rozwiązań konstrukcyjno – technologicznych winny być wykonane badania laboratoryjne, określające charakterystykę przegubu – siła, deformacja [ $P = f(s)$ ], na podstawie której można ocenić pracę przegubu. Poglądowo ilustracyjną charakterystykę pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Poglądowe schematy charakterystyk w wersji: a) zbliżona do rzeczywistej, b) uproszczona.

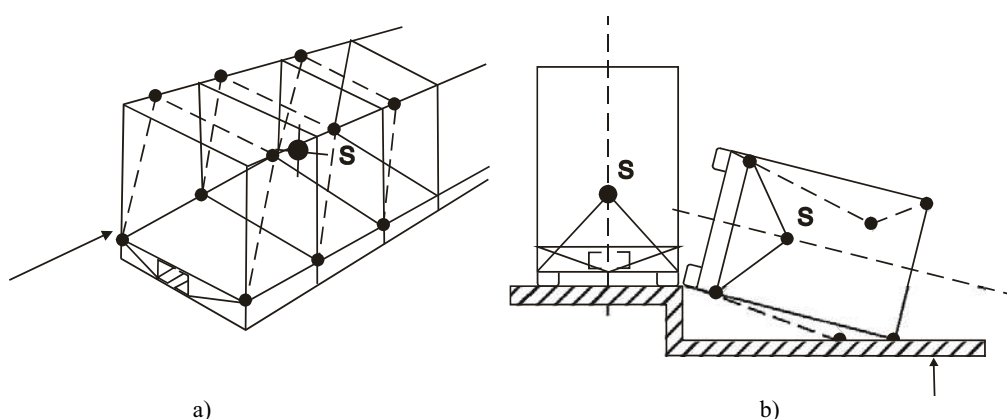
Fig. 1. Diagrams of characteristics in versions: a) close to real, b) simplified.

Na schematach widoczne są istotne różnice pracy deformacji w zakresie sprężystego i elastoplastycznego stanu pracy przegubu. Szacuje się, że stan elastoplastyczny może pochłonąć 5-krotnie więcej energii od stanu sprężystego. Cecha powyższa jest niezwykle istotna dla możliwości pochłonięcia energii zderzeniowej i zamianę jej na

pracę odkształcenia przez przegub plastyczny. Różnorodność rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych przegubów plastycznych zależy od wielu czynników, które związane są z przewidywaniem warunków zderzenia, jak również z rodzajem konstrukcji zderzających się pojazdów.

Zasadę i celowość stosowania przegubów plastycznych wyjaśnić można posługując się przykładem struktur nadwoziowych autobusów. Struktura nadwozia autobusu jest stosunkowo prosta, stanowi kratownicę przestrzenną w przybliżeniu prostopadłościenną, złożoną z prętów, słupów i powłok. Tego rodzaju rozwiązanie struktury pozwala na przykładowe wskazanie roli przegubów plastycznych w sposób stosunkowo łatwy i przejrzysty.

Na rysunku 2 przedstawione zostały uproszczone schematy deformacji struktury nadwoziowej na skutek zderzenia czołowego autobusu z innym pojazdem oraz zderzenia bocznego z podłożem podczas przewrotu autobusu.



Rys. 2. Uproszczone schematy deformacji struktury przy zderzeniu czołowym (a) i zderzeniu bocznym (b).

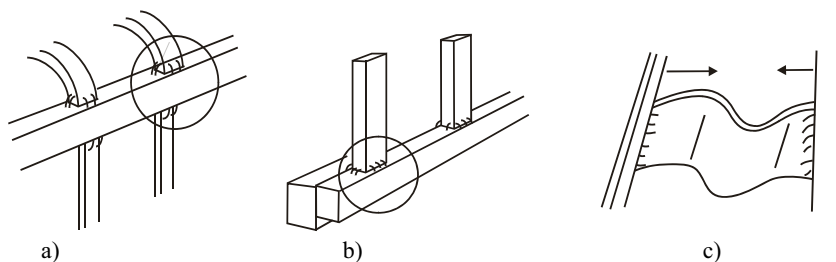
Fig. 2. Simplified schemes of structure deformation at frontal impact (a) and side impact (b).

Na schematach globalnej deformacji struktury nadwoziowej zaznaczono czarnymi punktami miejsca, w których podczas zderzenia następuje deformacja. Ulegają deformacji belki i pręty oraz złącza, przechodząc przez stan naprężeń sprężystych w stan elastoplastyczny. Wielkość i rodzaj odkształcenia zależne są, w sposób oczywisty, od siły zderzeniowej wynikającej z impulsu uderzeniowego (charakter przebiegu siły w czasie uderzenia) oraz określonych rozwiązań konstrukcyjno – technologicznych węzłów kratownicy. Stąd postać globalnej deformacji może mieć charakter bardzo zróżnicowany. Jednak, zwłaszcza przy obciążeniu struktury zgodnie z istniejącymi normatywami, cechą wspólną odkształceń jest fakt, że zmiana postaciowa występuje w określonych punktach ramownic poprzecznych (wręgi).

Zaznaczone punkty wskazują na miejsca, w których najczęściej następuje zgięcie lub załamanie elementów kratownicy na skutek znacznego wyężenia materiału poza granicę sprężystości. Można je uznać jako przegubowopodobne „przeguby plastyczne”.

ne”. Jak już wyżej stwierdzono, cechą charakterystyczną „przegubów” jest możliwość wykonania pracy deformacji struktury o znaczącej wielkości w porównaniu z lokalnymi deformacjami prętów lub belek kratownicy.

Można sformułować stwierdzenie, że przeguby plastyczne absorbują energię zderzenia w przeważającym stopniu w stosunku do innych elementów deformującej się struktury. Najczęściej występującymi miejscami „przegubów” są węzły łączenia elementów kratownicy. Typowymi są złącza ramownicy poprzecznej z ramownicą poziomą, złącza prętów dachowych z ramownicami poprzecznymi, pionowymi. Ponadto przegub może się utworzyć przez załamanie lub wgniecenie poszycia zewnętrznego struktury. Na rysunku 3 pokazano niektóre przykłady przegubów w formie pogładowej.



Rys. 3. Pogładowe schematy „przegubów”: a) przegub dachowy, b) ramownica pionowa łączona z poziomą, c) trwała deformacja poszycia dachowego.

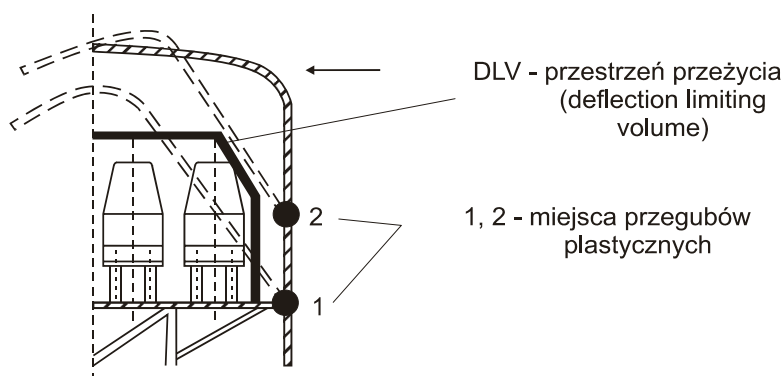
Fig. 3. Simplified schemes of hinge-like-joints: a) roof hinge-like-joint, b) vertical and horizontal frame joint c) permanent deformation of the roof.

### 3. Deformacja kontrolowana

Deformujące się elementy struktury nadwoziowej mogą być bezpośrednią przyczyną urazów i obrażeń jadących pasażerów. W związku z tym zagrożeniem podstawowym zadaniem jest takie projektowanie struktury, które może zapewnić oczekiwane warunki deformacji. Jako podstawowy warunek przyjęto możliwość zapewnienia „przestrzeni przeżycia”.

Prowadzone badania w tym zakresie doprowadziły do ustalenia międzynarodowego normatywu określającego „przestrzeń przeżycia”. Na rysunku 4 przedstawiono umowną przestrzeń przeżycia według wymagań Regulaminu nr 66 EKG ONZ dla przypadku uderzenia bocznego (przewrót).

Dla uzyskania przestrzeni przeżycia rola przegubów plastycznych jest niezwykle cenna. Po pierwsze – ze względu na zdolność pochłonięcia dużej ilości energii i zamianę jej na pracę odkształcenia można ich liczbę ograniczyć do koniecznego minimum. Po drugie – można zaplanować ich położenie takie, które zapewnią deformację struktury nie naruszającą przestrzeni przeżycia. Na rysunku 4 pokazano, że przegub plastyczny umieszczony w punkcie „1” przenika przestrzeń przeżycia po zdeformowaniu struktury. Natomiast dla położenia przegubu w punkcie „2” - przestrzeń przeżycia jest nienaruszona.



Rys. 4. Poglądowy schemat przestrzeni przeżycia (DLV) oraz różnica w deformacji, w zależności od położenia przegubów.

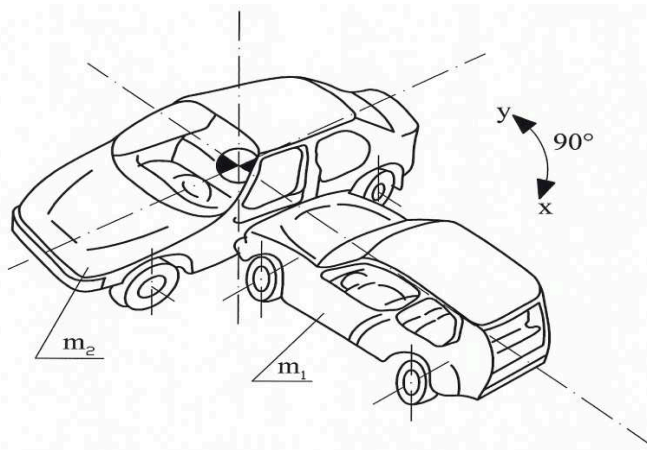
Fig. 4. Simplified scheme of Deflection Limiting Volume (DLV) and a difference in its deformation depending on the hinge-likes-joints positions.

Jest to oczywiście jeden z możliwych przykładów zastosowania przegubów plastycznych. Jak widać „deformacja kontrolowana” może być zapewniona przez zastosowanie przegubów plastycznych. Należy jednak jeszcze raz podkreślić różnorodność przegubów (ich charakterystyk), jak również możliwość stosowania ich różnej liczby i położenia. Ten fakt powoduje, że w literaturze dotyczącej tematu „kontrolowanej deformacji” pojawiają się opisy nowych koncepcji wykorzystania „przegubów plastycznych”. Dotyczą one możliwości zastosowania układów dźwigniowych, przenoszących impuls uderzenia na przeguby plastyczne tworzące się na poszyciu zewnętrznym kratownicy. Przeguby takie charakteryzują się dużą zdolnością pochłaniania energii.

#### 4. Przykład innowacyjnego wykorzystania „przegubów plastycznych” dla zwiększenia bezpieczeństwa jadących w czasie zderzenia bocznego

Ciekawą propozycję tego typu rozwiązania zaproponowano i przeanalizowano teoretycznie i eksperymentalnie w projekcie naukowo badawczym realizowanym w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji PIMOT. Celem projektu było wykorzystanie zjawiska kontrolowanej deformacji dla podniesienia bezpieczeństwa podczas uderzenia w bok samochodu.

Na rysunku 5 pokazano poglądowy schemat modelu fizycznego zderzenia bocznego dwóch samochodów.



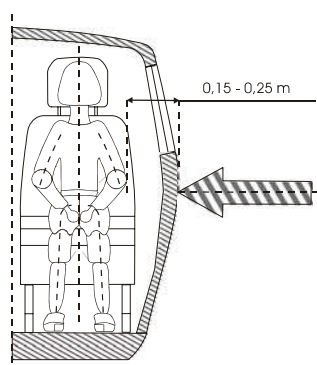
Rys. 5. Poglądowy schemat zderzenia bocznego dwóch samochodów.

Fig. 5. Simplified scheme of side car to car crash.

Dla „uderzenia bocznego” poszukiwanie skutecznych rozwiązań urządzeń ochronnych jest znacznie trudniejsze, w porównaniu z zagadnieniami występującymi w zderzeniu czołowym i tylnym. Strefa dopuszczalna deformacji uderzonego w bok samochodu jest nieporównywalnie mniejsza od strefy przy uderzeniu czołowym lub tylnym. „Głębokość” wgniecenia struktury nadwozia w środku uderzenia wynosi średnio około 15 cm, a może dochodzić do 25 cm. Wynika stąd, że również praca deformacji struktury nadwozia jest stosunkowo niewielka, a zatem i niewielka ilość energii kinetycznej uderzającego pojazdu może być zamieniona na pracę odkształcenia.

Na rysunku 6 przedstawiono fragment przekroju poprzecznego samochodu. Widoczny jest fotel z pasażerem usytuowany blisko ściany bocznej, która na skutek uderzenia bocznego ulega deformacji. W wyniku takiej sytuacji istnieje możliwość bezpośredniego zetknięcia się głowy i boku pasażera (kierowcy) z odkształcanymi elementami ściany bocznej, co z kolei może być przyczyną poważnych, niebezpiecznych urazów. Kierunek uderzenia zaznaczono strzałką.

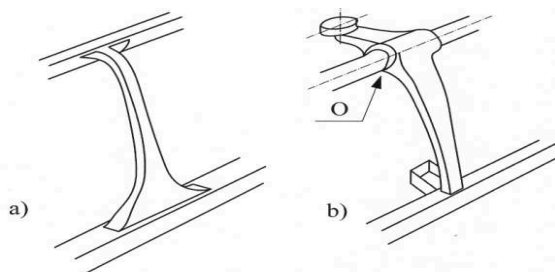
Aktualnie podejmowane przez producentów samochodów próby poprawienia bezpieczeństwa osób uczestniczących w zderzeniu bocznym pojazdów polegają przede wszystkim na wprowadzaniu wzmocnień w strukturze bocznej nadwozia pojazdu. Dotyczą one słupka międzydrzwiowego oraz drzwi. Słupek ma powiększony wskaźnik wytrzymałości na zginanie, a w drzwiach mocowany jest poprzeczny ceownik. Zmiany te powodują większą sztywność ściany bocznej nadwozia. Wzmocnienia w tych elementach wywołują w czasie zderzenia załamanie belki górnej i progowej otworu drzwiowego. W efekcie końcowym uzyskuje się niewielkie oddalenie zniekształconego słupka od głowy i ramienia pasażera. W wyposażeniu wnętrza proponuje się urządzenie ochronne w postaci poduszek gazowych, specjalnych pasów bezpieczeństwa, foteli przesuwanych poprzecznie, grubych szyb. Elementy powyższe są przedmiotem prac badawczo-rozwojowych.



Rys. 6. Fragment przekroju poprzecznego samochodu (schemat).

Fig. 6. Car cross-section scheme.

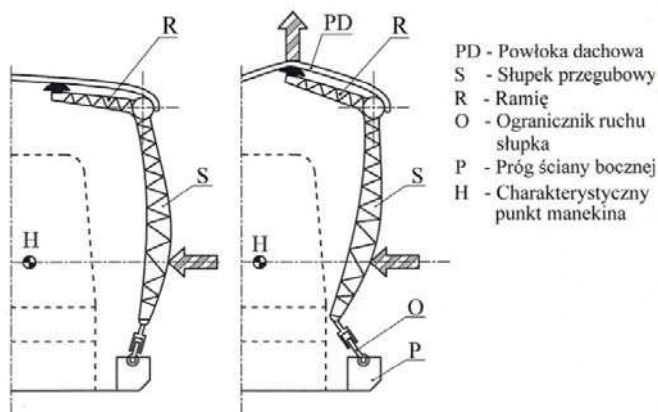
W projekcie PIMOT zaproponowano opracowanie zmian w konstrukcji struktury nadwoziowej samochodu osobowego w części podlegającej uderzeniu bocznemu. Podstawą dla wprowadzenia właściwych zmian w istniejącej strukturze wybranego samochodu była możliwość wykorzystania zasady kontrolowanej deformacji, aby zamienić znaczną część energii uderzenia w pracę deformacji struktury nadwozia. Deformacja powinna być z góry zaplanowana, aby odkształcane elementy nie zagrażały bezpieczeństwu kierowcy czy pasażera. Ponadto praca deformacji powinna być możliwie duża, aby w istotnym stopniu zmniejszyć przyspieszenia i siły działające na ciała ludzi w czasie zderzenia. W pracy zaproponowano oryginalną koncepcję zmian w strukturze bocznej nadwozia uwzględniającą ww. założenia, polegającą na zastosowaniu tzw. wahliwego słupka międzydrzwiowego (rys. 7).



Rys. 7. Porównawcze schematy: a) słupka tradycyjnego; b) słupka wahliwego.

Fig. 7. Comparison of schemes a) traditional door post b) swinging door post.

Słupek w wersji „b” charakteryzuje się dwoma ramionami pionowymi i ramieniem poziomym, tworzącymi dźwignię dwuramienną z „osią obrotu” „O”. Słupek charakteryzuje się „słabym” połączeniem z belką dolną oraz rosnącym wskaźnikiem wytrzymałości na zginanie w kierunku osi jego obrotu. Zakłada się, że deformacja struktury bocznej, w tym głównie słupka międzydrzwiowego (którego górny koniec jest zakończony ramieniem deformującym powłokę dachu) będzie przeniesiona i zamieniona na deformację powłoki dachowej.



Rys. 8. Schemat koncepcji funkcjonalnej słupka przegubowego.

Fig. 8. Swinging door post functional idea.

Na rysunku 8 przedstawiono schemat opisanej koncepcji. Kierunki działania sił zderzenia i deformacji oznaczono strzałkami. Możliwy kątowny ruch ramienia R, jego długość dla założonego, dopuszczalnego ruchu dolnej części słupka były punktem wyjścia dla obliczeń deformacji powłoki. Obliczenia miały charakter optymalizacji przy przyjęciu za funkcję celu maksimum pracy deformacji struktury nadwozia możliwej do uzyskania przy jednoczesnym spełnieniu założonych kryteriów bezpieczeństwa dla znajdujących się w pojeździe ludzi.

Główna część pracy związana była z poszukiwaniem korzystnych rozwiązań konstrukcyjnych i wariantowaniem konstrukcji. Przeanalizowano między innymi wpływ długości ramienia słupka wahliwego, grubości powłoki dachu, zastosowania dodatkowych pasów wzmacniających, średnicy kul odkształcających dach i ich liczby.

Jako kryterium oceny właściwości ochronnych i skuteczności proponowanego rozwiązania w zakresie możliwości podniesienia poziomu bezpieczeństwa osób jadących pojazdem przyjęto wpływ rozwiązania na wartości tzw. wskaźników biomechanicznych dotyczących głowy, kręgosłupa szyjnego, tułowia oraz rąk i nóg człowieka znajdującego się w chwili zderzenia bocznego w uderzonym pojeździe. Zależą one bezpośrednio od wartości przyspieszeń i sił oddziaływujących na człowieka w tym czasie.



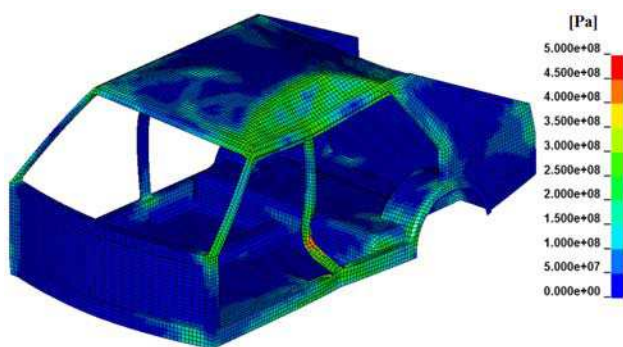
W ramach pracy przeprowadzono badania wykorzystując symulację komputerową i eksperymentalną, pozwalające na odtworzenie rzeczywistych warunków zderzenia bocznego.

Badane były elementy struktury nadwoziowej samochodu osobowego, w szczególności kratownicy ściany bocznej oraz poszycia dachowego ze słupkami międzydrzwiowymi w dwóch wersjach:

- a) wersja słupka, dotychczas stosowanego w rozwiązaniach konstrukcyjnych, określonego nazwą „słupek sztywny”,
- b) wersja słupka modyfikowanego (wg koncepcji opisanej poprzednio), określonego nazwą „słupek wahlivy”.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do porównania dwóch rozwiązań konstrukcyjnych struktury bocznej nadwozia. Prowadzone badania porównawcze miały warunki początkowe takie same lub zbliżone jak w badaniach homologacyjnych. W trakcie obliczeń rejestrowano przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia wybranych węzłów, a także naprężenia i odkształcenia w elementach struktury nadwoziowej (tj. belka górna, słupek, belka dolna).

Na rysunku 9 przedstawiono warstwicę naprężeń zredukowanych na zdeformowanych elementach nadwozia ze sztywnym słupkiem w chwili odpowiadającej wystąpieniu maksymalnych deformacji.

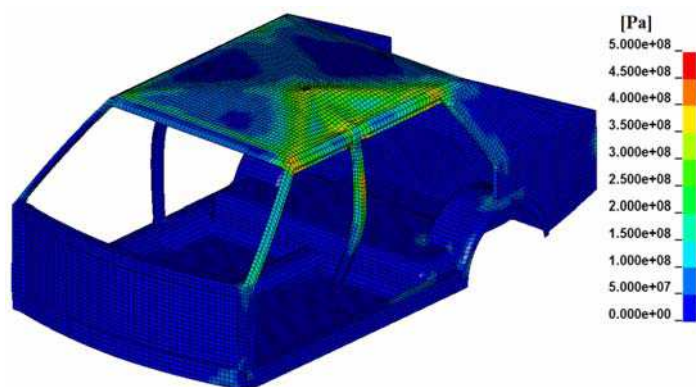


Rys. 9. Naprężenia zredukowane w chwili wystąpienia maksymalnych deformacji, słupek sztywny.

Fig. 9. Reference stresses while maximum deformation, stiff door post.

Największe deformacje występują w strefie bezpośredniego styku słupka z uderzającą bryłą. Słupek wygina się, deformując jednocześnie próg nadwozia oraz lewą krawędź dachu wraz z częścią jego powłoki.

Na rysunku 10 przedstawiono naprężenia zredukowane w konstrukcji nadwozia ze słupkiem wahlivym w chwili, w której uderzany punkt słupka nadwozia przemieścił się o 250 mm w głąb nadwozia.

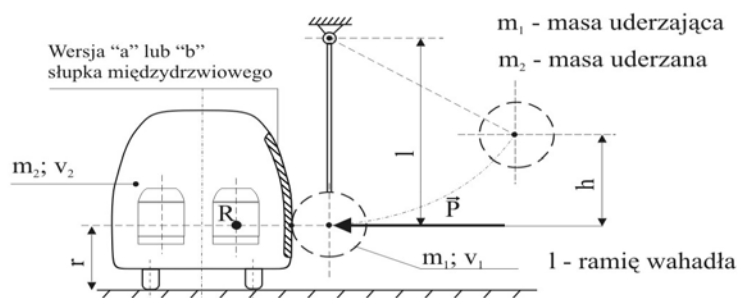


Rys. 10. Naprężenia zredukowane w chwili wystąpienia maksymalnych deformacji, słupek wahliwy.

Fig. 10. Reference stresses while maximum deformation, swinging door post.

W odróżnieniu od poprzedniego przypadku, najbardziej zdeformowanym fragmentem jest dach nadwozia. Zastosowanie dźwigni dwuramiennej przenosi obciążenie na powłokę dachu, powodując jej deformację. W analizowanym przypadku słupki boczne odkształcają się w niewielkim stopniu. W obydwóch przypadkach symulacji numerycznej analizowano jedynie uderzenie w sam słupki. Należy pamiętać, że w celu dokładniejszego odwzorowania zachowania konstrukcji należy uwzględnić również drzwi pojazdu, których konstrukcja ma duży wpływ na pochłanianie energii uderzenia.

W omawianym projekcie przeprowadzono symulację eksperymentalną na specjalnym stanowisku badawczym z ruchomą masą zawieszoną wahadłowo. Uproszczony schemat uderzenia przedstawiono na rysunku 11.



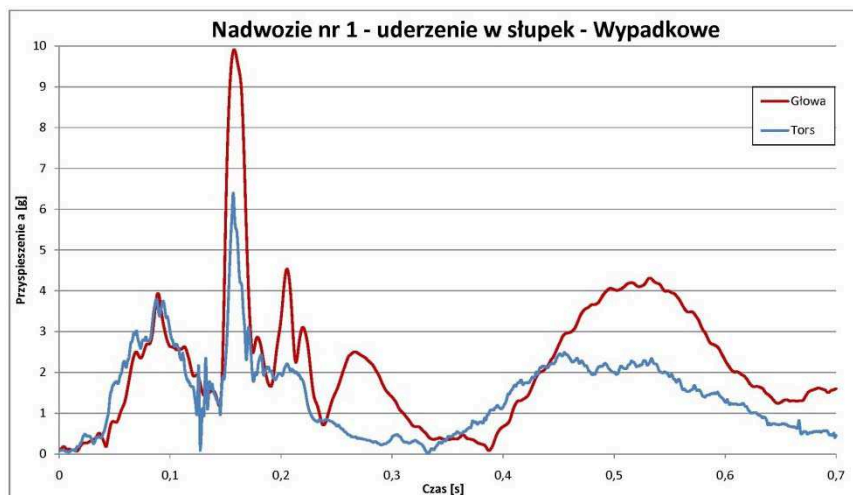
Rys. 11. Schemat uderzenia.

Fig. 11. Scheme of impact.

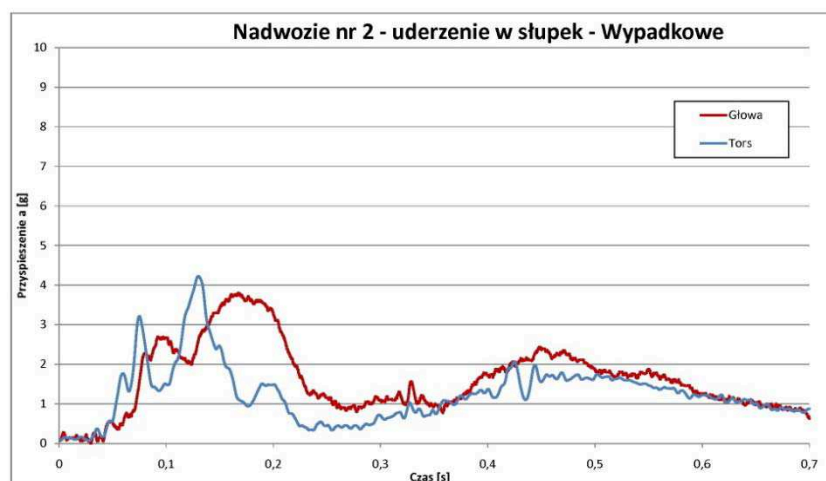
W czasie eksperymentów obydwie wersje nadwozia uderzono w słupki na wysokości poziomej płaszczyzny, przechodzącej przez punkt R, charakteryzujący położenie manekina, posadowionego na siedzisku samochodu. Manekin został zamocowany na siedzisku pasami bezpieczeństwa typu 4 punktowego. Czujniki przyspieszeń charakte-

ryzujące się możliwością pomiaru w trzech kierunkach, wzajemnie prostopadłych (x, y, z), umieszczono w głowie i torsie manekina.

Uzyskane wyniki wypadkowych wartości przyspieszeń w głowie i torsie manekina dla obydwu nadwozi przedstawiają rysunki 12 i 13.

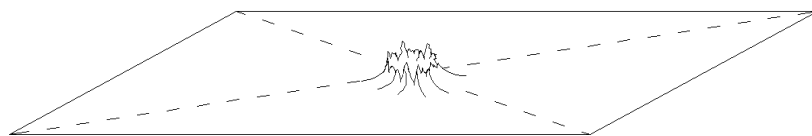


Rys. 12. Wypadkowe wartości przyspieszeń, nadwozie nr 1 – ze sztywnym słupkiem.  
Fig. 12. Resultant accelerations, car body no 1 with stiff door post.



Rys. 13. Wypadkowe wartości przyspieszeń, nadwozie nr 1 – z wahliwym słupkiem.  
Fig. 13. Resultant accelerations, car body no 1 with swinging door post.

Analiza skutków zderzenia wskazuje, że wahliwy słupek, uderzony skupioną masą uderzającą, powoduje deformację dachu i jego perforację. Deformacja występuje w sposób przewidziany teoretycznie. Poszycie dachu odkształca się po przekątnych, a w miejscu zetknięcia się ramienia poziomego słupka występuje silne nieregularne wybrzuszenie oraz otwór perforacyjny o obrzeżach poszarpanych. Ten typ odkształcenia określony „deformacją kontrolowaną” wykonuje pracę równoważną energii straconej podczas uderzenia. Powłoka ma charakter „przegubu plastycznego” o znacznej zdolności pochłonięcia energii zderzeniowej. Schemat odkształcenia pokazano na rysunku 14.



Rys. 14 Schemat odkształcenia powłoki.

Fig. 14 Roof sheet deformation scheme.

Maksymalny wymiar liniowego odkształcenia w kierunku działania siły wynosi około 12 cm. Dalsza obserwacja skutków uderzenia wskazuje, że słupek wahliwy w żadnym miejscu swojej konstrukcji nie uległ odkształceniu. Słupek zachował swój kształt pierwotny przed zderzeniem, a podczas zderzenia wykonał ruch kątowy, skręcając nieco belkę poziomą górną otworu drzwiowego. Zgodnie z założeniem słupek wahliwy okazał się dwuramienną dźwignią kątową, która siłę poziomą uderzenia przenosi na poziome ramię słupka, wywołując deformację poszycia dachowego.

## 5. Podsumowanie

Uderzenie w pionowy, wahliwy słupek nie stwarza zagrożenia bezpośredniego styku słupka z manekinem posadowionym na siedzisku fotela, oraz nie wywołuje znacznego bezwładnego ruchu głowy i torsu manekina w kierunku ściany bocznej nadwozia. Ruchy manekina są stosunkowo niewielkie, hamowane bocznymi występami siedziska i oparcia fotela.

Analiza wartości parametrów charakteryzujących przebieg zderzenia wskazuje, że wypadkowe siły dynamiczne działające na tors manekina są około 35% mniejsze dla wersji „b” w stosunku do wersji „a”. Jeszcze bardziej znacząca różnica występuje dla sił działających na głowę manekina. Dla nadwozia w wersji „b” siły te są około 60% mniejsze w porównaniu z wersją „a”. Składowa pionowa przyspieszenia charakteryzuje się mniejszą wartością dla wersji „a”. Potwierdza to tezę, że odpowiedź dynamiczna od uderzenia przejmowana jest przez powłokę dachową oraz przez deformację poziomej belki górnej otworu drzwiowego. Zdjęcia fotograficzne z przebiegu testu wskazują, że w czasie narastania maksymalnych obciążeń dynamicznych nie występują żadne ruchy boczne manekina, w tym zarówno torsu, jak i głowy (na wykresie wypadkowym krzywe dla głowy i torsu prawie się pokrywają).

W podsumowaniu pracy pozytywnie oceniono efekt zastosowania słupka wahliwego, potwierdzając tym samym założoną tezę pracy. Wahliwy słupek z deformowalną powłoką dachu nadwozia pozwala na przejście znacznej części energii uderzenia. Jednak, aby znacząco poprawić bezpieczeństwo jadących konieczne będzie zwiększenie pracy deformacyjnej poprzez włączenie odkształceń skrętnych belki górnej i płótek drzwiowych w proces deformacji struktury nadwozia.

### Literatura

- [1] GRYBOŚ R.: *Teoria uderzenia w dyskretnych układach mechanicznych*. PWN, Warszawa 1969.
- [2] OSIECKI J.W.: *Dynamika maszyn*. Skrypt. WPW, Warszawa 1985.
- [3] PIEKARA A.W.: *Mechanika ogólna*. PWN, Warszawa 1973.
- [4] SINGH J., PERRY J.: *Comparative analysis of FMVSS-208 sled and dynamic deceleration pulse characteristic*. Materiały ESV-2003, paper 05-0028.
- [5] ZINI E.G.: *Introduction to feasible invocation in side impact*. Materiały ESV-2003, paper 05-0066.

### The use of hinge-like-joints in car body structures to improve side impact safety

#### Summary

This work is a scientific consideration on the possible use of hinge-like structures in car body to improve passengers passive safety during a side impact of a car by another car. During the side impact the deformation of a central door post is the most dangerous for passengers because there is a possibility to be hit by deformed post. In this work a proposition of replacing of "rigid central door post" by "swinging post" is presented. The swinging door post is a double-arm lever mounted to the upper beam of a door hole. A stroke into vertical arm of the post produces its turn and simultaneously horizontal arm turns and hits the car roof. Deformed car roof shell acts as "hinge-like" element and absorbs significant part of crash energy. Thanks to it during collision a passenger is not exposed to a risk of direct contact with a post and dynamic forces acting on a human body are diminished.