

6. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE METODYKI

Do oceny przydatności zaproponowanej metodyki obliczeniowej (p. 4) oraz badań eksperymentalnych (p. 5), przeznaczonej do opracowania projektów konstrukcyjnych resorów wielopiórowych (konwencjonalnych i parabolicznych) stosowanych w zawieszeniach zależnych samochodów ciężarowych, wykorzystano zrealizowane prace naukowo-badawcze [203–210]. Inne z nich dotyczyły doskonalenia i rozszerzenia metodyki badawczej [203–207], a inne [206–210] zawierały badania modelowe i eksperymentalne konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych, które zostały wdrożone do produkcji. Poniżej przedstawiono opisy wybranych rozwiązań konstrukcyjnych resorów wielopiórowych do zawieszeń zależnych pojazdów drogowych.

6.1. Prototypowe resory paraboliczne do zawieszeń zależnych autobusów rodziny Autosan H9

W ramach prac naukowo-badawczych [205–207] obliczono i zaprojektowano zastępcze resory paraboliczne do zawieszenia autobusu rodziny Autosan H9. Głównym celem modernizacji zawieszenia było zmniejszenie masy nieresorowanej oraz poprawa płynności ruchu autobusu. Doboru i obliczeń resorów wykonano zgodnie z przedstawionymi metodykami w paragrafach 4 i 5. Ponieważ projektowane resory paraboliczne spełniały rolę resorów zastępczych, z założenia musiały również spełnić podstawowe wymagania konstrukcyjne związane z kinematyką zawieszenia, jego częstotliwościami drganiowymi, szczególnie w zakresie ugięć zawieszenia od ugięcia statycznego do maksymalnego. Mając świadomość, że w wyniku zastosowania zamiennych prototypowych resorów parabolicznych, przy zachowaniu wartości współczynnika sztywności resoru, ulegają zmniejszeniu wybrane parametry drganiowe zawieszenia, przede wszystkim masa nieresorowana oraz wartości sił niesprężystego oporu, należało przewidzieć działania związane z doбором tłumienia wiskotycznego. Powstaje bardzo ważny problem z jego optymalizacją. Tłumienie w zawieszeniu ma podstawowy wpływ na parametry płynności ruchu autobusu [47, 60, 67–69, 97], w szczególności na komfort jazdy przewożonych pasażerów. W zrealizowanej pracy [207] ta tematyka stanowiła odrębne zadanie naukowo-badawcze.

6.1.1. Wybrane wyniki badań numerycznych

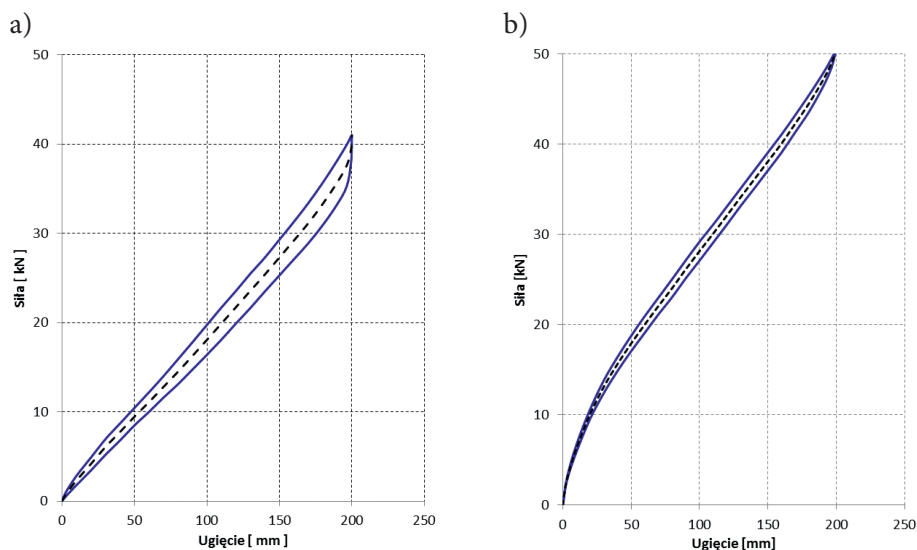
Do badań numerycznych zastosowano modele obliczeniowe dla zawieszeń zależnych przedstawionych na rys. 3.5. W ramach obliczeń wstępnych (Etap I) otrzymano wyniki opisujące podstawowe wymiary geometryczne prototypowych resorów parabolicznych spełniających wszystkie warunki ograniczające i przyjętą funkcję celu. Uzyskane wyniki obliczeń numerycznych stanowiły podstawę uaktualnienia modelu MES pokazanego na rys. 3.4 i opracowania projektów konstrukcyjnych resorów przeznaczonych do zawieszenia przedniego i tylnego. Na tym etapie obliczeń każdy z resorów składał się z trzech piór o identycznych przekrojach podłużnych (p. rys. 2.8). Dopiero przy opracowaniu dokumentacji konstrukcyjnej resorów następuje zróżnicowanie wybranych wymiarów geometrycznych piór, które wynikają z funkcji, jakie spełniają poszczególne pióra w zawieszeniu (rys. 2.2). Pióro główne musi zapewnić połączenie przegubowo-walcowe ze wspornikami resoru związanymi z podwoziem (ramą) autobusu oraz wieszakiem, pióro drugie, tzw. bezpieczeństwa, wymaga specjalnie ukształtowanego ucha przedniego i tylnego, natomiast pióro trzecie ma zwiększoną długość ze względów technologicznych. Wybrane wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Wybrane parametry konstrukcyjne zamiennych prototypowych resorów parabolicznych stosowanych w zawieszeniach rodziny autobusów Autosan H9 (ozn. wg rys.2.8)

Wyszczególnienie	Jednostka miary	Zawieszenie	
		przednie	tylne
Obciążenie pionowe ($P_{\max}$)	daN	2625	4750
Współczynnik sztywności (c_g)	daN/cm	131,25	237,5
Ugięcie: – statyczne (f_o) – maksymalne ($f_{\max}$)	mm	105 200	140 200
Długość całkowita resoru (l)	mm	1600	1750
Długość mocowania ($2 \cdot l_p$)	mm	120	120
Liczba piór (n)	szt.	3	3
Szerokość pióra (b)	mm	90	100
Grubość pióra: – w osi symetrii (h) – w uchu (h_1)	mm	16,60 9,00	21,00 11,50
Gatunek stali	–	50 HSA	50 HSA

6.1.2. Wybrane wyniki badań eksperymentalnych wielopiórowych resorów przeznaczonych do zawieszenia autobusu Autosan H9

Badaniom stanowiskowym poddano wielopiórowe resory konwencjonalne zawieszenia przedniego i tylnego autobusu oraz zamiennie prototypowe resory paraboliczne. Badania wykonano na stanowisku laboratoryjnym (rys. 5.1) dla rozstawu wsporników i długości wieszaka zgodnie z fabryczną dokumentacją konstrukcyjną. Przykładowe charakterystyki sprężyste resorów dla zawieszenia tylnego pokazano na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Eksperymentalne charakterystyki sprężyste resorów nowych przeznaczone do zawieszenia tylnego rodziny autobusu Autosan H9, wykonane dla rozstawu wsporników i długości wieszaka zgodnie z fabryczną dokumentacją konstrukcyjną: a) wielopiórowy resor konwencjonalny, b) prototypowy resor paraboliczny (tzw. zastępczy)

Jako uzupełnienie przedstawiono porównania mas resorów zastosowanych w zawieszeniu rodziny autobusów Autosan H9 (tab. 6.2).

Tabela 6.2. Porównanie mas resorów zastosowanych w zawieszeniu autobusów rodziny Autosan H9

Typ resoru	Masa [kg]			
	Resor pojedynczy		Zawieszenie	
	<i>P</i>	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>T</i>
Wielopiórowy konwencjonalny	100,5	148,1	201,0	296,2
Prototypowy paraboliczny (zamienny)	44,0	64,5	88,0	129,0

^{*)} ozn. *P* (*T*) – zawieszenie przednie (tylne)

Przy założeniu, że zawieszenie autobusu zostaje wyposażone w prototypowe resory paraboliczne, następuje zmniejszenie masy resorów o ok. 280 kg (tj. ok. 56,4%) w stosunku do zawieszenia wyposażonego w resory konwencjonalne. Otrzymany wskaźnik procentowy zmniejszenia masy resorów w większości dotyczy masy nieresorowanej pojazdu oraz potwierdza ogólny kierunek w modernizacjach zawiesznień zależnych [47, 60, 66, 68–69, 78, 107]. Na podstawie analizy charakterystyk sprężystych pokazanych na rys. 6.1 stwierdzono:

- że przebieg charakterystyki sprężystej dla prototypowego resoru parabolicznego jest prawie liniowy w dużym zakresie ugięć resoru (od 50 do 175 mm) i ma bardziej korzystny kształt niż charakterystyka dla wielopiórowego resoru konwencjonalnego;
- zmniejszenie wartości współczynnika sztywności prototypowego resoru parabolicznego o ok. 15% (dla ugięć 50–100 mm) w stosunku do założonego w projekcie;
- zmniejszenie niesprężystego oporu dla prototypowego resoru parabolicznego, w całym zakresie jego ugięć w porównaniu z wielopiórowym resorem konwencjonalnym. Dla ugięć od 50 do 170 mm jest wielkością prawie stałą i mniejszą o ok. 40–60% niż w resorach konwencjonalnych.

Podstawową przyczyną rozbieżności pomiędzy wartością współczynnika sztywności prototypowego resoru parabolicznego założoną w projekcie a wykonanym resorem są przyczyny technologiczne. W trakcie realizacji pracy [207] nie udało się przedsiębiorstwu krajowemu wyprodukować resoru parabolicznego zgodnie z założeniami projektowymi. Głównym problemem było spełnienie wymagań technologicznych związanych z wykonaniem profilu parabolicznego, z dokładnością $\pm 0,20$ mm [35, 77]. W tabeli 6.3 przedstawiono dokładność wykonania poszczególnych piór dla jednego z wyprodukowanych prototypowych resorów parabolicznych przeznaczonych do zawieszenia przedniego rodziny autobusów Autosan H9. Analizując przedstawione wyniki pomiarów, należy stwierdzić, że odchyłki grubości poszczególnych piór zawierają się w szerokich granicach od $-0,5$ do $1,15$ mm. Należy zwrócić uwagę na niesymetryczność wykonania, względem osi symetrii resoru, odpowiadających przekrojów poprzecznych dla prawej (*P*) i lewej (*L*) strony piór składowych (tab. 6.3). Powstałe niedokładności wykonania wywołują niekorzystne zmiany przebiegów charakterystyki sprężystej, w tym współczynnika sztywności oraz ugięć resoru przy zadanym obciążeniu pionowym.