

Janusz GARDULSKI, Rafał GARDULSKI

CECHY ELEMENTÓW SPRĘŻYSTYCH ZAWIESZEŃ SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono elementy sprężyste zawiesznień – mechaniczne i pneumatyczne. Przedstawiono ich charakterystyki, omówiono zalety i wady.

PARAMETERS OF SPRINGY ELEMENTS OF CAR SUSPENSIONS

Summary. The springy elements of suspensions in article were have talked over was – mechanical and pneumatic. Their profiles were introduced was, advantages and defect were have talked over.

1. WPROWADZENIE

We współczesnych samochodach osobowych średniej klasy obecnie stosuje się wyłącznie zawieszzenia niezależne lub z wahaczami sprężonymi. Wynika to z zalet tego typu zawiesznień, a mianowicie:

- możliwości stosowania mniejszej sztywności sprężyn kół kierowanych i większej elastyczności ich opon,
- zmniejszenie mas nieresorowanych,
- możliwość stosowania elementów sprężystych posiadających większą jednostkową pojemność energetyczną,
- zastąpienie tarcia suchego w zawieszaniu - tarcie wiskotycznym,
- zwarta budowa,
- mała masa,
- brak wzajemnego oddziaływania przemieszczeń kół.

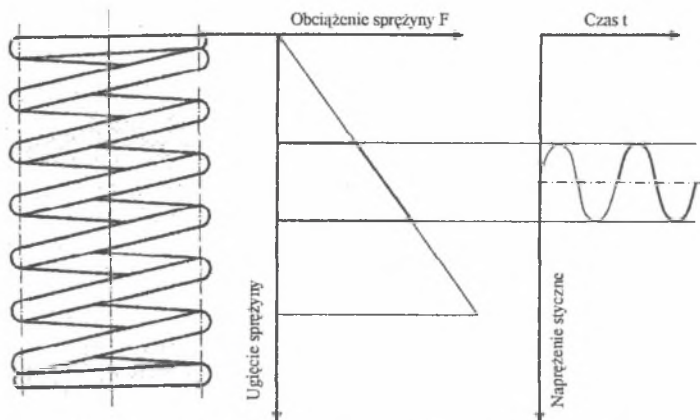
Zawieszzenia z wahaczami sprężonymi, ze względu na niskie koszty i wymagania niewielkiej przestrzeni na ruchy belki, stosowane są chętnie w zawieszzeniach kół tylnych. Elementami sprężystymi o dużej jednostkowej pojemności energetycznej w porównaniu z resorami półeliptycznymi są:

- sprężyny śrubowe,
- drążki skrętne,
- pneumatyczne elementy sprężyste.

2. MECHANICZNE ELEMENTY SPRĘŻYSTE

Obecnie w zawieszzeniach samochodów osobowych klasy A, B, C, D stosuje się prawie wyłącznie metalowe sprężyny śrubowe – naciskowe. Drążki skrętne, ze względu na koszty, stosowane są sporadycznie. Początkowo w samochodach osobowych stosowano sprężyny śrubowe o charakterystyce liniowej. Przykład takiej sprężyny o stałej średnicy i skoku przedstawia rysunek 1. W zakresie używalności warunek liniowości opisany jest stosunkiem przyrostu siły do przyrostu odkształcenia

$$c = \frac{\Delta P}{\Delta y} \quad [kN / m] \quad (1)$$



Rys.1. Sprężyna śrubowa o charakterystyce liniowej
Fig. 1. Helical spring with linear characteristic

Sztywność wyżej wymienionych sprężyn można obliczyć z zależności:

$$c = \frac{G \cdot d^4}{4 \cdot z_c \cdot D^3} \quad [kN / m] \quad (2)$$

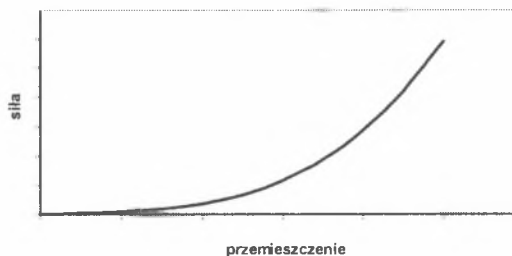
gdzie:

- G – moduł sprężystości poprzecznej [MPa],
- d – średnica drutu sprężyny [m],
- D – średnica podziałowa sprężyny [m],
- z_c – liczba zwojów czynnych sprężyny.

Wzrost mocy i prędkości jazdy zmusił konstruktorów do zastosowania we współczesnych zawieszaniach elementów sprężystych o nieliniowej charakterystyce. Uzyskać to można poprzez:

- połączenie szeregowo lub równoległe dwóch sprężyn liniowych o różnych sztywnościach i wymiarach geometrycznych,
- zmienny skok sprężyny,
- zmianę kształtu np. z walcowego na baryłkowy,
- zamianę sprężyny walcowej na stożkową,
- wprowadzenie do współpracy ze sprężyną gumowych lub polimerowych elementów sprężystych.

Zastosowanie jednej z wyżej wymienionych metod umożliwia uzyskanie nieliniowej, progresywnej charakterystyki elementów sprężystych. Przykładową charakterystykę progresywnej sprężyny stożkowej przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Charakterystyka sprężyny stożkowej
Fig. 2. Characteristic of conical spring

Sztywność takiej sprężyny można obliczyć z zależności:

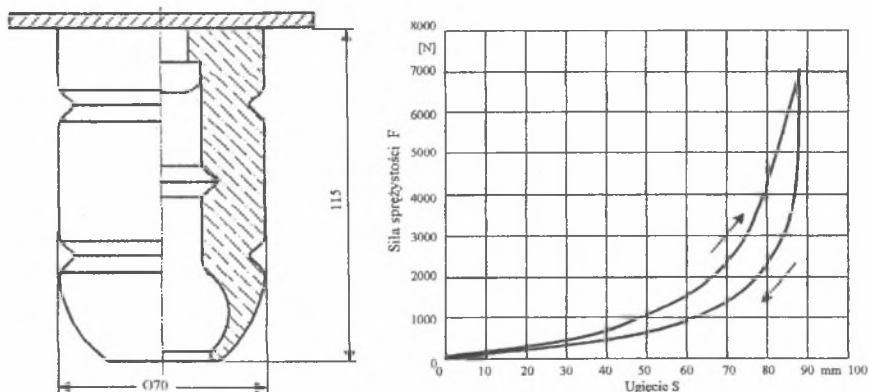
$$c = \frac{G \cdot d^4}{z_c \cdot (D + D_0) \cdot (D^2 + D_0^2)} \quad (3)$$

gdzie: D , D_0 – średnice podziałowe (duża i mała) sprężyny stożkowej.

Guma jako wspomagający element sprężysty ze względu na swoje zalety jest chętnie stosowana w zawieszeniach. Jej cechy szczególne to:

- wysoka podatność na odkształcenia i progresja przy przyroście odkształcenia,
- nieściśliwość (liczba Poissona ok. 0,5),
- różne pętle histerezy,
- dobra wibroizolacja.

Poza gumą we współczesnych samochodach osobowych stosuje się elastomery. Przykład elementu sprężystego firmy ELASTOGRAM przedstawia rysunek 3.

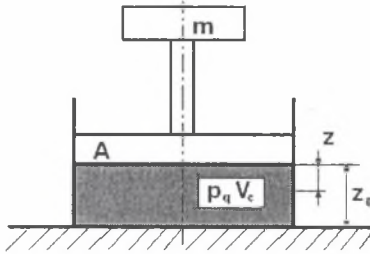


Rys. 3. Element sprężysty wykonany z poliuretanowego elastomeru komórkowego
Fig. 3. Springy made from cellular elastomer polyurethane

Stosując różne wymienione kombinacje można uzyskać wymaganą nieliniową charakterystykę zespołu sprężystego w zawieszeniu. Główną wadą takich elementów sprężystych jest brak możliwości zmiany ich charakterystyki podczas jazdy.

3. PNEUMATYCZNE ELEMENTY SPRĘŻYSTE

Pneumatyczny element sprężysty można w uproszczeniu przedstawić jako zasobnik powietrza o objętości początkowej V_0 , którym panuje ciśnienie statyczne p_0 . Zasobnik ten oddzielony jest od otoczenia powłoką o powierzchni A , na której spoczywa masa resorowana. Model ten przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Model uproszczony sprężyny pneumatycznej
Fig. 4. Simplified model of pneumatic spring

Obciążenie takiej sprężyny można wyznaczyć z zależności:

$$Q = \frac{p}{S} \quad [N] \quad (4)$$

gdzie: Q - obciążenie [N],

p - nadciśnienie wewnętrzne [N/m^2],

S - powierzchnia efektywna przepony sprężyny pneumatycznej [m^2].

Sztywność sprężyny zależy od wzrostu ciśnienia spowodowanego zmianami obciążenia. Wiąże się to ze zmianami objętości. Zmiany te opisuje równanie politropy:

$$pV^\chi = p_0V_0 = p(V_0 - \Delta V)^\chi \quad (5)$$

gdzie: p_0, V_0 - ciśnienie i objętość początkowa,

p, V - ciśnienie i objętość chwilowa,

ΔV - chwilowa zmiana objętości wywołana ugięciem „ z ”,

χ - wykładnik politropy (dla powietrza wynosi 1,41).

Z powyższej zależności wynika, że zmiana objętości sprężyny jest proporcjonalna do ugięcia sprężyny, czyli:

$$p = \frac{P_0}{1 - z/z_0} \quad (6)$$

Definiując sprężystość sprężyny

$$c = \frac{dQ}{dz} = S \frac{dp}{dz} \quad (7)$$

W otoczeniu $z = 0$ otrzyma się:

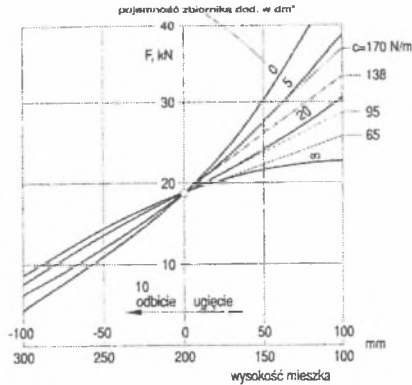
$$c = S \frac{P_0 \chi}{z} = S^2 \frac{P_0 \chi}{V_0} \quad (8)$$

Z powyższej zależności wynika, że zwiększenie objętości początkowej powoduje zmniejszenie sztywności sprężyny. Gdy objętość ta dąży do nieskończoności (przemiana izobaryczna) – przyrost ciśnienia dąży do zera.

Częstotść drgań własnych powyższego układu, zależna tylko od wysokości słupa powietrza, wynosi:

$$\omega_0 = \left(\frac{k}{m}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{mg\chi}{mz_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{g\chi}{z_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

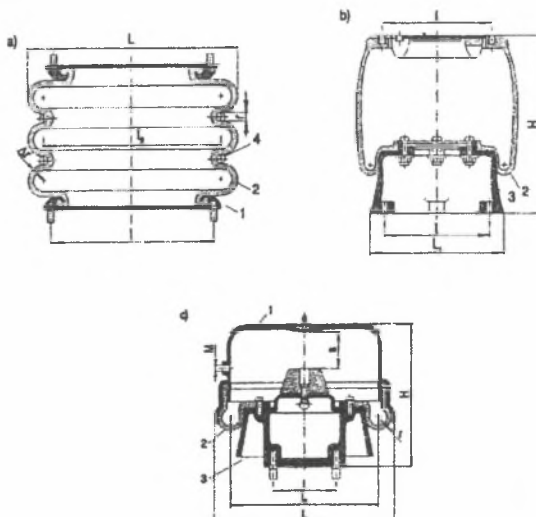
W celu zmniejszenia wysokości sprężyn pneumatycznych, stosuje się pomocnicze zbiorniki połączone z częścią roboczą. Ich wpływ na charakterystykę sprężyny przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Wpływ objętości zbiornika dodatkowego na charakterystykę sprężyny
Fig. 5. Influence of volume of additional reservoir on characteristic of spring

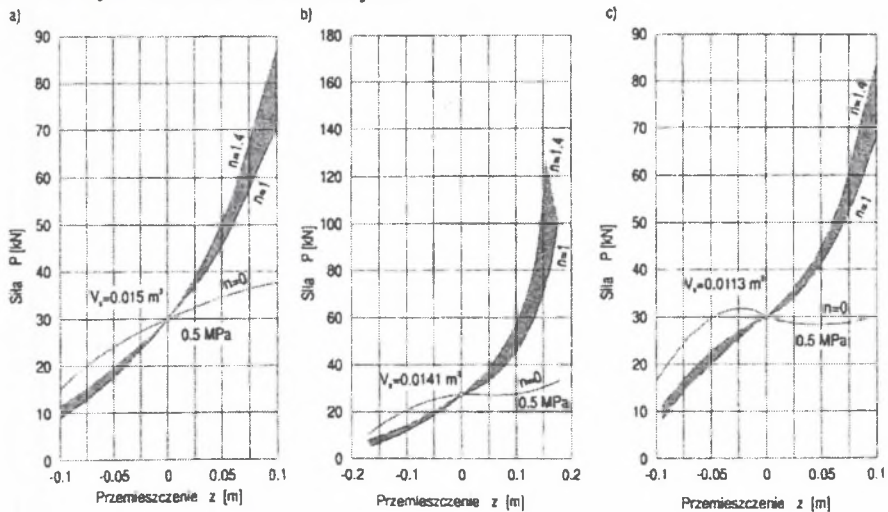
Wartość wykładnika politropy zależy od prędkości zmian objętości. Przy obciążeniu statycznym i małych prędkościach następuje stabilizacja temperatury wewnętrznej do temperatury zewnętrznej. Ciśnienie gazu określa wówczas równanie izotermi ($\chi = 1$). Przy dużych prędkościach zachodzi proces adiabatyczny (dla powietrza $\chi = 1,4$). Sprężyny pneumatyczne ze względu na kształt miecha dzieli się na (rys. 6.):

- fałdowe,
- workowe,
- membranowe.



Rys. 6. Sprężyny pneumatyczne: a) fałdowe, b) workowe, c) membranowe
Fig. 6. Pneumatic springs: a) folded, b) baggy, c) tympanic

Mają one zbliżone wymiary geometryczne i nośność, różnią się jednak charakterystykami (rys. 7.). Sprężyny fałdowe mają dodatni wykładnik powierzchni efektywnej, a workowe i membranowe – ujemny. Charakterystyki obciążeniowe sprężyn fałdowych są stabilne, membranowych niestabilne, a workowych obojętne. Ze względu na wartość współczynnika sprężystości, najkorzystniejsze charakterystyki mają sprężyny membranowe. Z tego powodu stosowane są w samochodach osobowych.



Rys. 7. Charakterystyki obciążeniowe sprężyn pneumatycznych
Fig. 7. Load characteristic of pneumatic springs

Sprężyny pneumatyczne współpracują w zawieszeniu z elementami kompensacji ugięcia i zaworami poziomującymi. Łącząc je równolegle ze stalowymi elementami sprężystymi można uzyskać wymaganą sztywność zawieszenia. W tak utworzonym zespole elementów sprężystych stosuje się napięcie wstępne sprężyny stalowej. Przenosi ona pewną siłę, natomiast nadwyżkę przenosi pneumatyczny element sprężysty. Dzięki odpowiedniej kompensacji ugięcia zapewnia to stałą wysokość nadwozia nad nawierzchnią, stałą częstotliwość drgań własnych układu oraz możliwość zmiany charakterystyki sprężystej w trakcie jazdy, czego nie można osiągnąć w sprężynach mechanicznych.

Literatura

1. Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawiesznień samochodów osobowych. Biblioteka Problemów Eksploatacji, ITE, Radom 2003.
2. Kowal J.: Sterowanie drganiami – Seria redukcja drgań. Gutenberg, Kraków 1996.
3. Kowal J.: Synteza i analiza wybranych układów wibroizolacji sterowanej. AGH, Kraków 1982.
4. Niderliński A., Mościński J., Ogonowski Z.: Regulacja adaptacyjna. PWN, Warszawa 1995.