

Agnieszka KUŁAKOWSKA, Radosław PATYK

## OBLICZENIA ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIĘ ZMĘCZENIOWE SPRĘŻYN STOSOWANYCH W KOLUMNACH TYPU MCPHERSON

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono numeryczne obliczenia odporności na zmęczenie sprężyny zawieszenia typu McPherson. Omówiono również podstawowe zagadnienia związane ze zmęczeniem materiału i metodą elementów skończonych. Opracowano model geometryczny 3D sprężyny. Przeprowadzono analizy statyczne a następnie odporności na zmęczenie. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci rysunków i wykresów. Pracę zakończono wnioskami.*

### WSTĘP

Zawieszeniem nazywa się układ elementów łączących konstrukcję nośną (ramę lub nadwozie samonośne) z kołami pojazdu. Zadaniem zawieszenia jest łagodzenie przenoszonych na nadwozie samochodu wstrząsów, które są wzbudzane toczeniem się kół po nierównościach drogi. Zawieszenie oddziela koła od nadwozia pojazdu wprowadzając wiele elementów pośredniczących, które sprawiają, że poprawia się komfort i bezpieczeństwo ruchu samochodu [8].

Ze względu na sposób prowadzenia kół zawieszenia podzielić można na zawieszenia zależne i niezależne. Zależnym nazywane jest zawieszenie, w którym oba koła danej osi związane są jednym układem elementów prowadzących, niezależnym natomiast zawieszenie, w którym każde koło z osobna ma własny układ elementów prowadzących. Stosowane są również zawieszenie półniezależne z wahaczami sprzężonymi, w takim układzie istnieje ograniczone, niezależne przemieszczanie koła lewego i prawego w zakresie sprężystych odkształceń belki łączącej wahacze [1].

Ze względu na stosowany element sprężysty można wyróżnić zawieszenia:

- ze stalowym elementem sprężystym (resory, sprężyny i wałki skrętne),
- z elementem sprężystym z tworzywa sztucznego (resory z włókien węglowych),
- z gumowym elementem sprężystym (pracującym na ścinanie),
- pneumatyczne i hydropneumatyczne,
- z komórkowego elastomeru poliuretanowego (pracującym na ścinanie) [1].

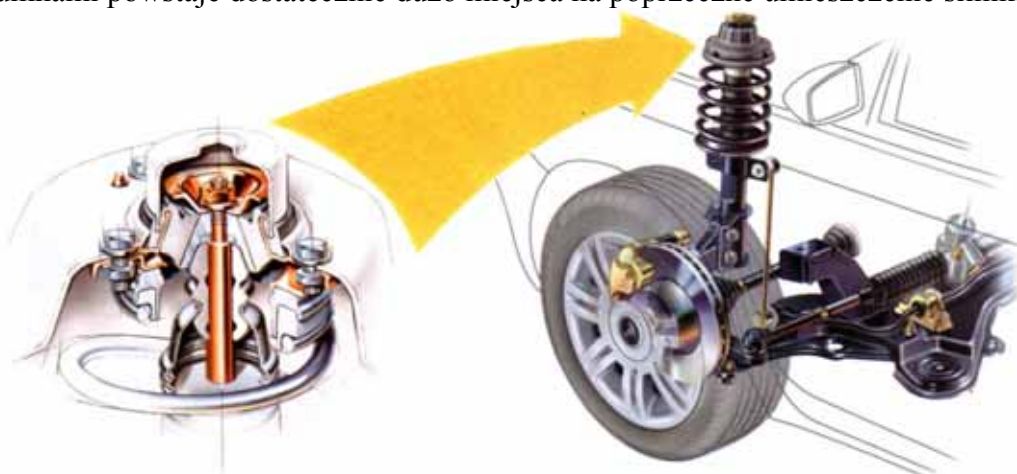
Przykładem zawieszenia ze stalowym elementem sprężystym jest zawieszenie z kolumnami prowadzącymi (rys. 1). Stanowi ono pewne rozwinięcie konstrukcyjne zawieszenia z podwójnymi wahaczami poprzecznymi. Główny wahacz został tu zastąpiony punktem podparcia w nadkolu. W punkcie tym umieszczone są zakończenia tłoka amortyzatora i sprężyny. Wprowadzane są tam wszystkie siły we wszystkich trzech kierunkach, które obciążają tłok momentem zginającym [2].



**Rys. 1.** Zawieszenie z kolumnami prowadzącymi samochodu VW Golf IV

Źródło: [10].

Zawieszenie z kolumnami prowadzącymi, zwane jest też zawieszeniem McPhersona (rys. 2). Cechą charakterystyczną tego rozwiązania jest to, że przy przechyleniach bocznych, koła przechylają się w tą samą stronę co nadwozie. Zmniejsza się tym sposobem odporność opon kół przednich na boczne znoszenie, co z kolei wpływa korzystnie na kierowność oraz stateczność ruchu. Elementami prowadzącymi są tu: kolumna z wbudowanym amortyzatorem i najczęściej sprężyna oraz dolny trójkątny wahacz poprzeczny. Zawieszenia tego typu znalazły szerokie zastosowanie w samochodach osobowych z napędem na przednią oś, gdyż między kolumnami powstaje dostatecznie dużo miejsca na poprzeczne umieszczenie silnika [3].



**Rys. 2.** Zawieszenie przednich kół napędzanych na kolumnach McPhersona

Źródło: [7, s. 81].

Główną korzyścią wynikającą z zastosowania zawieszenia z kolumnami prowadzącymi jest to, że wszystkie poszczególne elementy biorące udział w resorowaniu i prowadzeniu kół można zintegrować w jednym zespole montażowym. Zwrotnica może być na trwałe połączona z obudową kolumny poprzez spawanie lub twarde lutowanie, lub może być przykręcona [2].

Zalety zawieszenia:

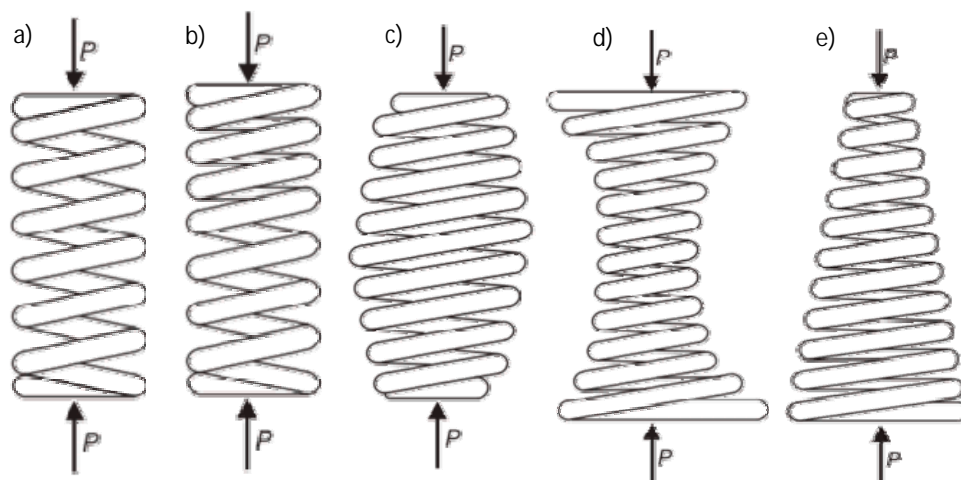
- idealnie pasuje do nadwozia samonośnego,
- ma zwartą i prostą budowę, nie zajmuje wiele miejsca (mniejsze wymiary geometryczne),
- ma mniejszą masę w stosunku do zawiesznień dwuwahaczowych (ok. 30%),
- tańsze w produkcji i nieskomplikowane kinematycznie,
- zapewnia równoległe prowadzenie kół mimo dużego skoku zawieszenia,
- ujemny promień zataczania jest korzystny z punktu widzenia stateczności i kierowności pojazdu.

Wady zawieszenia:

- kolumny McPhersona przenoszą na karoserię drgania i hałas, pochodzące od układu kierowniczego (np. spowodowane niewyważeniem kół),
- w gnieździe tłoczyska amortyzatora występuje niekorzystne tarcie,
- ograniczona możliwość montażu szerszych opon oraz łańcuchów śnieżnych,
- konieczność stosowania tłoczyska amortyzatora o stosunkowo dużej średnicy (ok. 20 mm) [8].

## 1. SPRĘŻYNA ZAWIESZENIA TYPU MCPHERSON

W konstrukcji zawieszenia kolumnowego typu McPherson stosuje się różnego typu sprężyny śrubowe, naciskowe (walcowe, stożkowe, baryłkowe, itp.). Jednak nie wszystkie rodzaje sprężyn interesują producentów samochodów osobowych. Do najważniejszych czynników decydujących o zastosowaniu poszczególnych rodzajów sprężyn zaliczyć można: rodzaj materiału, przekrój pręta, sztywność, możliwość tłumienia drgań, wytrzymałość itd. Na rysunku 3 przedstawiono rodzaje sprężyn naciskowych.



**Rys. 3.** Rodzaje sprężyn naciskowych

Źródło: [8].

Materiałom wykorzystywanym do produkcji sprężyn stawia się wysokie wymagania. Materiały te powinny charakteryzować się nie tylko wysokimi cechami sprężystości, lecz także trwałością i to przy działaniu zmiennych obciążeń, wysoką udarnością oraz zdolnością do znacznych odkształceń bez powstawania pęknięć [4]. Stale do wyrobu sprężyn, resorów, drążków skrętnych i innych elementów sprężystych odznaczają się dużym stosunkiem granicy plastyczności do wytrzymałości doraźnej. Stosowane w stanie ulepszonym cieplnie pozwalają na powstawanie znacznych odkształceń sprężystych w wykonywanych z nich elementach, bez wywoływania odkształceń plastycznych. Na właściwości sprężyste stali największy wpływ wywierają węgiel oraz krzem. Ponadto, jako pierwiastki stopowe w stalach sprężynowych, używane są chrom, mangan i wanad [5].

Do wyrobu sprężyn i resorów dla mechanicznych pojazdów pracujących w warunkach wysokich obciążeń zarówno stałych jak i zmiennych, nadają się szczególnie stale sprężynowe chromowo-krzemowe [4]. W stalach tych zawartość węgla waha się w granicach 0,45-0,55%, krzemu i chromu – około 1,0%, a wanadu poniżej 0,2%. Po ulepszeniu cieplnym wytrzymałość  $R_m = 1350 \div 1550$  MPa. Ze stali sprężynowych wykonywane są nie tylko elementy typowo sprężyste, lecz także inne funkcjonalne części samochodów, np. półosie.

W elementach wykonanych ze stali sprężynowej bardzo ważne znaczenie dla wytrzymałości zmęczeniowej ma stan powierzchni i warstwy przypowierzchniowej. Wszelkiego rodzaju wady powierzchni, jak zawalcowania, zakucia oraz odwęglenie, w znacznym stopniu obniżają wytrzymałość zmęczeniową. Aby częściowo skompensować szkodliwe działanie tych

wad stosuje się powierzchniową obróbkę plastyczną na zimno umacniającą powierzchnię poprzez wprowadzenie korzystnych naprężeń ściskających w warstwie powierzchniowej oraz „zaklepywaniu” niektórych wad [5].

## 2. ZJAWISKO ZMĘCZENIA MATERIAŁU

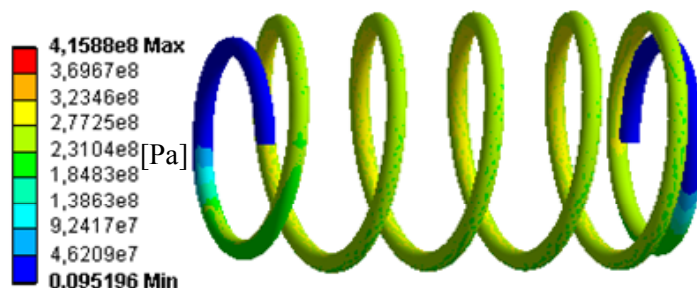
Konstrukcje poddane wielokrotnym obciążeniom dynamicznym często ulegają zniszczeniu przejawiającemu się w postaci niespodziewanego pęknięcia, następującego po określonej liczbie zmian obciążenia. Takiego rodzaju wyczerpywanie się nośności materiału obciążonego siłami okresowo zmiennymi nazywa się zmęczeniem materiału. Jedną z charakterystycznych cech pęknięcia zmęczeniowego jest to, że nawet w przypadku metali mających przy obciążeniach statycznych dobre właściwości plastyczne przełom zmęczeniowy nie wykazuje wyraźnej deformacji plastycznej w skali mikroskopowej [6]. Ze względu na rosnącą konkurencyjność w przemyśle mechanicznym, analizy zmęczeniowe są koniecznością. Dzięki poprawnemu oszacowaniu trwałości konstrukcji można zaoszczędzić znaczne koszty związane z remontami, zaplanować przeglądy a przede wszystkim podnieść renomę firmy [9]. Dotychczas trwałość konstrukcji najczęściej określano eksperymentalnie, co wymagało dużego zaangażowania finansowego i czasowego zleceniodawcy. Aktualnie dużą popularność w analizach konstrukcji maszyn zyskują metody komputerowe symulacji zjawisk fizycznych. Takie podejście znacznie skraca czas projektowania oraz zmniejsza koszty maszyn i urządzeń. Aktualnie najpopularniejszą metodą obliczeń konstrukcji jest Metoda Elementów Skończonych (MES).

## 3. OBLICZENIA NUMERYCZNE

Obliczenia przeprowadzono w programie Ansys/LS-DYNA, który przeprowadza obliczenia w oparciu o MES oraz uaktualniony opis Lagrange’a. Pierwszym etapem analiz konstrukcji jest analiza statyczna, która daje odpowiedź, czy odpowiednie przekroje są w stanie przemieścić statyczne obciążenia. Jeśli odpowiedź jest pozytywna a konstrukcja jest poddawana obciążeniom dynamicznym to należy przeprowadzić obliczenia odporności na zużycie zmęczeniowe oraz jeśli jest to potrzebne przeprowadzić dodatkowe obliczenia wartości częstotliwości drgań własnych oraz ich postaci a następnie dodatkowo wyznaczyć wartości i rozkład naprężeń i odkształceń przy obciążeniach zmieniających się w czasie z częstotliwością równą częstotliwości pracy danego urządzenia.

### Analiza statyczna

Analizie poddano sprężynę zawieszenia przedniego typu McPherson stosowaną między innymi w samochodach marki Opel. W symulacjach komputerowych założono, że materiał sprężyny jest idealnie sprężysty. Przyjęto, że moduł Younga wynosi  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  [Pa] oraz współczynnik Poissona wynosi  $\nu = 0,3$ . Pominięto wpływ zjawisk cieplnych. Model geometryczny zdyskretyzowano na 80 648 elementów skończonych (312 135 węzłów). W wyniku przeprowadzonych symulacji uzyskano wyniki rozkładu naprężeń zredukowanych, co przedstawiono na rysunku 4.



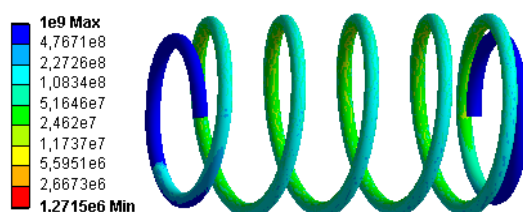
**Rys. 4.** Rozkład naprężeń zredukowanych

Źródło: Opracowanie własne.

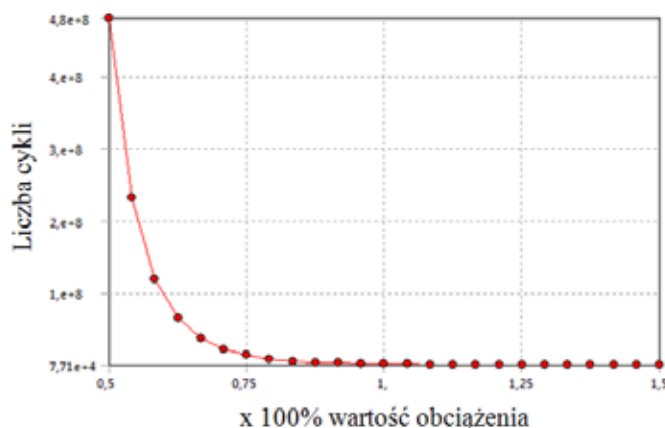
Przyjęto, że dopuszczalne naprężenia zredukowane nie powinny przekroczyć wartości  $\sigma_{dop} = 750$  [MPa]. Po przeanalizowaniu wyników analiz statycznych stwierdzono, że badana sprężyna przenosi obciążenia statyczne. Uzupełnieniem analiz statycznych są obliczenia odporności na zużycie zmęczeniowe.

### Analiza zmęczeniowa sprężyny

W związku z tym, że typowe uszkodzenia sprężyny wynikają ze zużycia zmęczeniowego przeprowadzono dodatkowo analizy numeryczne jej trwałości. Założono, że na sprężynę oddziałują obciążenia jednostronnie zmienne, czyli jest to przypadek, w którym sprężyna jest ściskana. W analizie przyjęto, że obciążenie zmienia się sinusoidalnie w czasie. Wyniki trwałości (ilości cykli) sprężyny uzyskane na podstawie symulacji komputerowych przedstawiono na rysunku 5. Najmniejszą liczbę cykli zmian obciążenia jaką wytrzyma sprężyna wynosi  $n_{min} = 1,2715 \cdot 10^6$ . Na podstawie przeprowadzonych analiz opracowano również funkcję trwałości sprężyny zawieszenia w zależności od jej obciążania w procesie eksploatacji (rys. 6).



**Rys. 5.** Rozkład trwałości sprężyny zawieszenia (liczba cykli zmian obciążenia)  
Źródło: Opracowanie własne.



**Rys. 6.** Krzywa zużycia zmęczeniowego sprężyny zawieszenia  
Źródło: Opracowanie własne

## PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych analiz numerycznych procesu wynika, że badana sprężyna zawieszenia typu McPherson wytrzymuje obciążenia statyczne, gdyż maksymalne naprężenia zredukowane wywołane oddziaływaniami zewnętrznymi wynoszą  $\sigma_{zmax} \approx 416$  [MPa]  $< \sigma_{zdop}$ . Przeprowadzono również obliczenia odporności na zużycie zmęczeniowe. Opracowano krzywą zużycia zmęczeniowego, na podstawie której można prognozować trwałość części w zależności od wartości jej obciążania.



## BIBLIOGRAFIA

1. Hebda M.: *Eksploatacja Samochodów*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, PIB, Radom 2005.
2. Reimpell J., Betzler J.: *Podwozia samochodów podstawy konstrukcji*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.
3. Reński A.: *Budowa Samochodów. Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszenia*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
4. Żukowski S.: *Resor*, Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1958.
5. Praca zbiorowa pod red. Jaśkiewicz Z.: *Poradnik Inżyniera Samochodowego*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
6. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z.: *Wytrzymałość materiałów*, t. 2, WNT, Warszawa 1980.
7. Łęgiewicz J.: *Poznajemy samochód*, WKiŁ, Warszawa 2006, s. 81.
8. [www.mechanika.zafriko.pl](http://www.mechanika.zafriko.pl)
9. [www.mesco.com.pl](http://www.mesco.com.pl)
10. [www.volkswagengolf.pl/](http://www.volkswagengolf.pl/) 8.03.2010r.

## CALCULATIONS OF SPRINGS FATIGUE WEAR RESISTANCE USING IN MCPHERSON'S COLUMN

### *Abstract*

*In the paper calculations of fatigue wear resistance of the McPherson springs are presented. The basic definition conducted with material fatigue and Finite Element Method were discussed. Geometrical model 3D of the spring was elaborated. Numerical, static analysis were conducted and the next fatigue resistance analysis. Received results as graphs and figures are presented. The paper finishes with conclusions.*

### *Autorzy:*

dr inż. **Agnieszka Kulakowska** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Radosław Patyk** – Politechnika Koszalińska