

# STABILIZATORY SAMOCHODOWE – ŁOŻYSKOWANIE ELASTYCZNE

ADAM MARKUS WITTEK<sup>1</sup>, DAMIAN GAŚKA<sup>2</sup>, BOGUSŁAW ŁAZARZ<sup>3</sup>, TOMASZ MATYJA<sup>4</sup>

ThyssenKrupp Federn & Stabilisatoren GmbH<sup>1</sup>  
Politechnika Śląska<sup>2,3,4</sup>

## Streszczenie

Stabilizatory są montowane w samochodach przy pomocy łożysk elastycznych znajdujących się w części grzbietowej. Łożyska te mają na celu zamocowanie stabilizatora oraz powiązanie jego z nadwoziem jak i z osią samochodu. Dodatkowa sztywność łożyska ma na celu polepszenie parametrów stabilizatora a więc zwiększa efektywność działania stabilizatora podczas jazdy po łuku. W artykule przedstawiono powszechnie stosowane metody łożyskowania stabilizatorów oraz obliczenia wytrzymałościowe MES obejmują łożyska elastycznego stabilizatora L405VA. Prawidłowa konstrukcja i właściwy dobór parametrów wpływa zasadniczo na cechy wytrzymałościowe, wagę, trwałość i niezawodność, a także wybór odpowiedniej technologii produkcyjnej. Niewłaściwe przygotowanie modeli obliczeniowych z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych w konsekwencji prowadzi do błędnych wyników. Szczególnie trudna jest interpretacja wyników i poszukiwanie błędów, szczególnie jeśli nie dysponujemy porównawczą bazą obliczeniową (taką jak wyniki badań zmęczeniowych oraz wyniki analitycznych obliczeń wytrzymałościowych). Artykuł zawiera wskazówki dotyczące konstrukcji i montażu łożyskowania elastycznego stabilizatorów samochodowych.

**Słowa kluczowe:** stabilizatory samochodowe, łożyskowanie elastyczne, konstrukcja

## 1. WSTĘP

Łożyskowanie stabilizatorów w swej najprostszej formie ma miejsce poprzez połączenie ramion stabilizatora z osiami wahacza umieszczonymi w tym celu głównie w kierunku wzdłużnym pojazdu. W tym celu stosowane są co najmniej dwie gumy wyściełane obejmą lub w przypadku rozwalcowania ramion (przekrój czworokątny) normalne połączenie śrubowe. Na rysunku 1a przedstawione jest właśnie takie rozwiązanie. Ten rodzaj łożyskowania jest rzadko stosowany w współczesnych samochodach. Najczęściej stosowanym

<sup>1</sup> ThyssenKrupp Federn & Stabilisatoren GmbH, Wiener St. 35, 58135 Hagen, Germany,  
e-mail: adam.wittek@t-online.de, tel. +49 233 140 71 05

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, Faculty of Transport, Krasińskiego St. 8, 40-019 Katowice, Poland,  
e-mail: damian.gaska@polsl.pl, tel +48 326 03 43 93

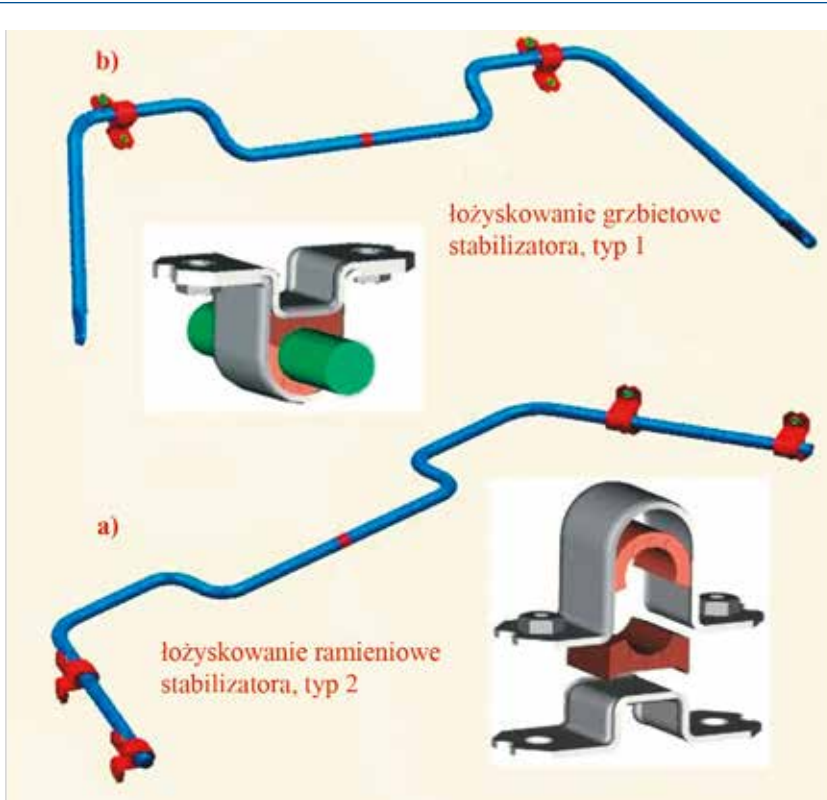
<sup>3</sup> Politechnika Śląska, Faculty of Transport, Krasińskiego St. 8, 40-019 Katowice, Poland,  
e-mail: boguslaw.lazarz@polsl.pl, tel +48 326 034 108

<sup>4</sup> Politechnika Śląska, Faculty of Transport, Krasińskiego St. 8, 40-019 Katowice, Poland,  
e-mail: tomasz.matyja@polsl.pl, tel+48 32 603 41 83

w dniu dzisiejszym rozwiązaniem łożyskowania stabilizatora jest łożyskowanie grzbietowe bazujące na absorbujących ruchy obrotowe stabilizatora, tulejach elastycznych z kauczuku lub tworzywa (rys. 1b), w których ramiona są połączone przegubowo z innymi elementami osi pojazdu. Rozwiązanie to jest na tyle uniwersalne, że znajduje zastosowanie w większości pojazdów samochodowych. Wymagania stawiane łożyskowaniu stabilizatorów są wielorakie: z jednej strony muszą przenieść znaczne siły, co powinno zachodzić możliwie bez dodatkowych elementów sprężystych, nie powinny generować dodatkowych hałasów i nie powinny prowadzić do uszkodzenia powierzchni stabilizatora. Poza tym łożyskowanie powinno absorbować siły osiowe działające wzdłuż osi grzbietu stabilizatora, tym samym zapobiegając bocznym przemieszczeniom stabilizatora [2, 3].

W konstrukcji stabilizatorów rozróżniamy zasadniczo następujące typy łożyskowania:

- łożyska zaciskowe (połączenie cierne),
- łożyskowanie przyczepne / adhezyjne (materiał wiążący, elementy z elastomeru wstępnie wulkanizowane),
- łożyska ślizgowe (tuleje),
- łożyska toczne (np. łożyska kulkowe).



Rys. 1. Sposoby łożyskowanie stabilizatorów samochodowych [2, 3, 9]

## 2. Łożyska grzbietowe

### 2.1 Łożyska grzbietowe – łożyska zaciskowe

Cechy:

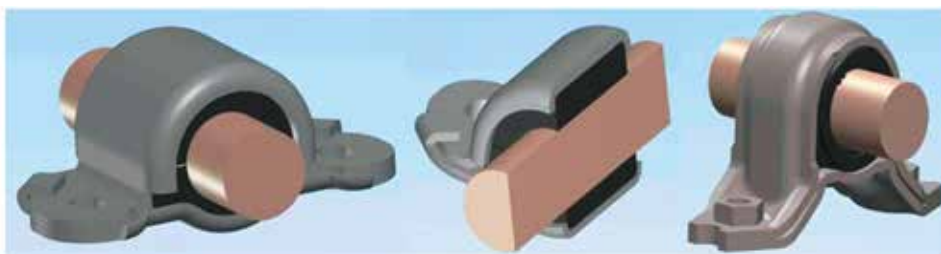
- łożyska są montowane w miejscach przewidzianych na łożyska grzbietowe pod wysokim ciśnieniem (połączenie cierne pomiędzy łożyskiem elastycznym i stabilizatorem),
- brak relatywnych przemieszczeń pomiędzy powierzchnią stabilizatora i łożyskami grzbietowymi; obrót stabilizatora absorbuje łożysko elastyczne (poprzez odkształcenie tego łożyska) (sztywność dodatkowa),
- zabezpieczenie stabilizatora przed osiowymi odkształceniami dzięki połączeniu ciernemu,
- możliwe przedostawanie się brudu i wilgoci.

Sztywność dodatkowa jest uzależniona od objętości łożyska i jego parametrów takich jak twardość Shore'a. Przy tym łożysko z określonym napięciem wstępnym, samo niweluje niewielkie ruchy obrotowe i tylko większe przemieszczenia mogą prowadzić do poślizgu. Osiowe przemieszczenie łożysk jest ograniczone strefą promieniową stabilizatora graniczącą z miejscami przewidzianymi na łożyska [2, 3, 6, 9, 10] (rys. 2).

### 2.2 Łożyska grzbietowe – łożyska przyczepne / adhezyjne

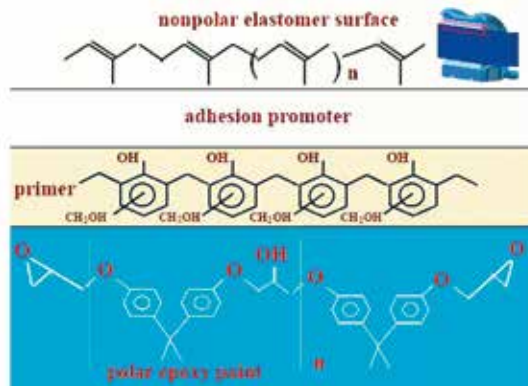
Cechy:

- taki sam proces łączenia łożyskowania elastycznego, jak w konwencjonalnym procesie wulkanizacji, tylko z zachowaniem innej kolejności; połączenie wstępnie zwulkanizowanego tworzywa z elementem stalowym w procesie odpuszczania,
- w przeciwieństwie do zaciskowego łożyskowania elastycznego (połączenie cierne) łożyska przyczepne wykorzystują połączenie elastomeru ze stabilizatorem poprzez zastosowanie materiałów wiążących (rys. 3),
- identyczny system adhezyjny, jak w konwencjonalnym procesie wulkanizacji,

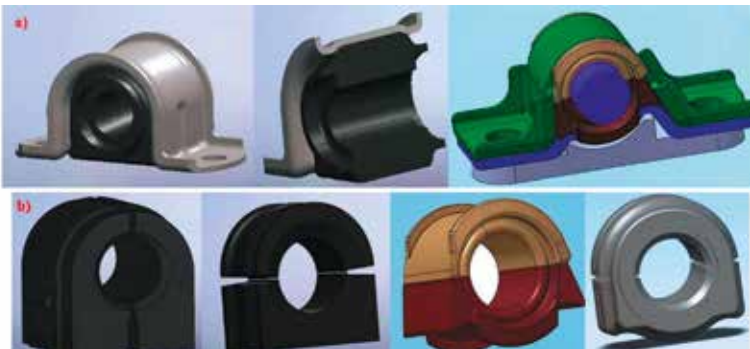


Rys. 2. Przykład łożyskowania stabilizatorów – łożyskowanie zaciskowe

- sieciowy środek wiążący / klej sieciujący wychwytuje pozostałe wolne wartości już usieciowanego elastomeru,
- jakość połączenia łożyskowanie elastyczne – stal / stabilizator – materiał wiążący odpowiada konwencjonalnym procesom technologicznym, tzn. parametry przyczepności i przełomy / pęknięcia są identyczne,
- dopuszczalne odkształcenie obrotowe  $\pm 25^\circ$ ,
- sztywność dodatkowa wywołana deformacją tworzywa [2, 3, 6, 9, 10] (rys. 4).



Rys. 3. Proces chemiczny mocowania łożyska (łożyskowanie przyczepne) [9]



Rys. 3. a) Przykład łożyskowania stabilizatorów – łożyskowanie przyczepne  
b) Przykłady łożysk elastycznych stosowanych w łożyskowaniu przyczepnym

**Zalety:**

- ograniczenie przesuwu osiowego / odkształceń osiowych bez dodatkowego zabezpieczenia,
- podwyższona trwałość, wytrzymałość zmęczeniowa (brak zużycia spowodowanego brudem ze względu na użycie odpowiednich materiałów wiążących),
- brak hałaśliwości łożysk.

**Wady:**

- dodatkowe etapy w procesie technologiczno – produkcyjnym / podwyższone koszty produkcji,
- powyższona trwałość, wytrzymałość zmęczeniowa (brak zużycia spowodowanego brudem ze względu na użycie odpowiednich materiałów wiążących),
- kosztowny proces utylizacji.

**2.2.1 Proces klejenia – podkład kleju / promotor przyczepności tworzyw sztucznych**

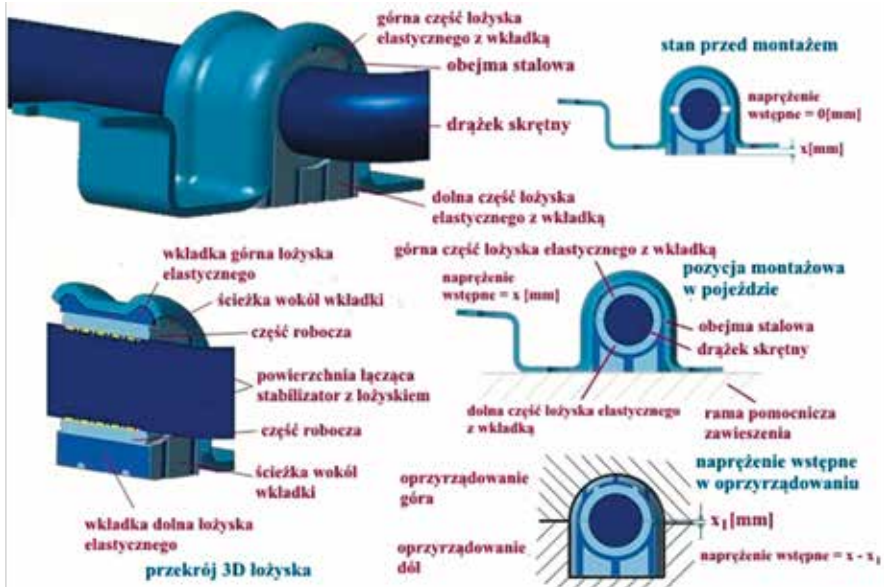
Do łączenia się chemicznie niekompatybilnych chemicznie substratów elastomeru i farby epoksydowej, są niezbędne środki sieciujące – starter i promotor adhezji [2, 3, 6, 9].

Starter zawiera: żywice fenolowe, chlorowany kauczuk naturalny, tlenek cynku, kwas krzemowy, ditlenek tytanu. Struktura żywic fenolowych wykazuje wielkie podobieństwo do struktury farby epoksydowej.

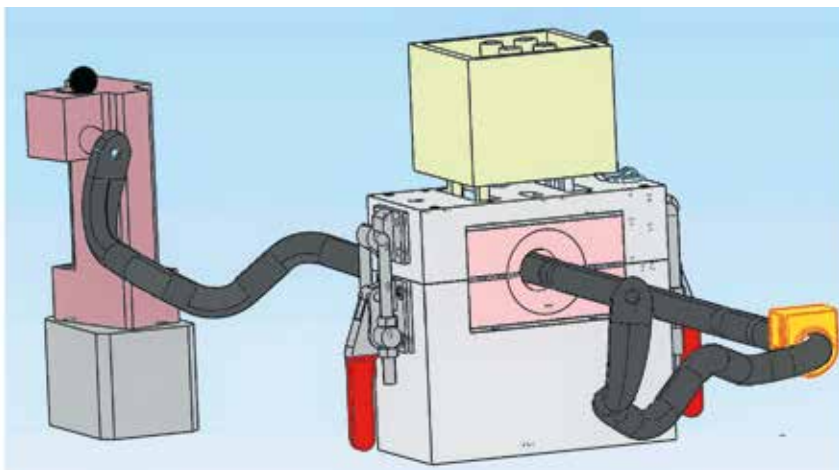
Promotor adhezji zawiera: chlorosulfonowany polietylen, chlorowany kauczuk naturalny, tlenek cynku, kwas krzemowy /kwas stearynowy, sadzę, środek sieciujący (DNB = dinitrobenzen).

Reakcje: sieciowanie chlorosulfonowanego polietylenu.

Innym wariantem, który jest coraz częściej stosowanym, jest trwałe, sztywne połączenie łożyska elastycznego ze stabilizatorem i ewentualne połączenie z obejmą mocującą. W tym przypadku rzadko jest stosowana bezpośrednia wulkanizacja łożysk elastycznych na powierzchni stabilizatora. W urządzeniach wulkanizujących musi być zamocowany cały stabilizator, co wyklucza tym samym możliwość jednoczesnej produkcji wielu stabilizatorów. Ze względu na długi, kilkuminutowy czas utwardzania, ekonomiczna produkcja jest nie do pomyślenia. Późniejsze lakierowanie stabilizatora jest również problematyczne ze względu na nieuniknione połączenie farby z tworzywem. Lepszym rozwiązaniem jest połączenie łożyska elastycznego z polakierowanym stabilizatorem i możliwie w tym samym etapie technologiczno – produkcyjnym połączenie z obejmą mocującą. W tym celu wstępnie zwulkanizowane łożysko najlepiej wraz z obejmą mocującą zostaje z określonym naciskiem w zdefiniowanych miejscach do łożyskowania zamontowane i ostatecznie zwulkanizowane (rys. 5 i 6).



Rys. 5. Metoda mocowania obejmy i łożyska elastycznego (łożyskowanie przyczepne rys. 3 i 4) [2, 3, 9]



Rys. 6. Urządzenie do wulkanizacji łożysk elastycznych (łożyskowanie przyczepne rys. 3 i 4)

### 2.3 Łożyska grzbietowe – łożyskowanie przesuwne (z tuleją z tworzywa sztucznego)

Cechy:

- tuleje z tworzywa sztucznego zostają napyłone w miejscach przewidzianych na

łożyska bezpośrednio na powłokę lakierniczą; następnie następuje montaż łożyska elastycznego wraz z obejmą,

- łożyska mające tendencje do obrotu w strefie łożyskowej stabilizatora (sztywność dodatkowa mała lub żadna),
- zabezpieczenie osiowe przy pomocy tuleji kołnierзовych,
- woda i brud mogą przenikać w obszar pomiędzy tuleją z tworzywa sztucznego i łożyskiem,
- możliwość hałasowania łożyska.

W połączenie konwencjonalnych łożysk elastycznych rolę prowadnicy bocznej / ogranicznika pełnią napyłone pierścienie z tworzywa sztucznego lub pierścienie zaciskowe ze stali (rys. 7, 8a – e). Seryjnie nie są narazie stosowane napyłane pierścienie, które są sprężone bezpośrednio z odpowiednim elementem elastycznym. Jakość i dokładność wykonania takich elementów musi być bardzo wysoka, co zwiększa znacznie koszty produkcyjne, uniemożliwiając produkcję z punktu widzenia ekonomicznego (rys. 8f i g) [2, 3, 6, 9, 10].



Rys. 7. Przykład łożyskowania stabilizatorów – łożyskowanie przesuwne

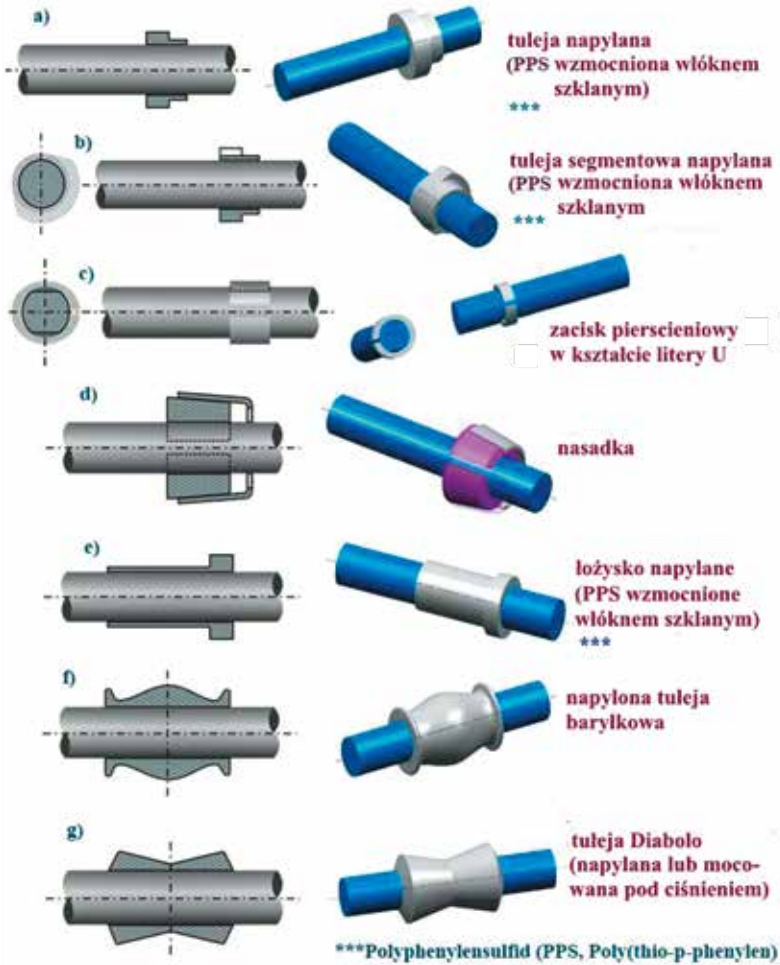
## 2.4 Łożyska grzbietowe – łożyska toczne

Wariant łożyskowania grzbietowego z wykorzystaniem łożysk tocznych jest rozwiązaniem drogim i charakteryzującym się szczególnie wysoką jakością (rys. 9). Łożysko toczne pozostają nasunięte na napyłone na stabilizatorze tuleje. Zewnętrzny pierścień łożyska jest pokryty warstwą tworzywa / kauczuku. Cały element jest przykręcony do pojazdu za pomocą obejmmy mocującej łożysko (odlew aluminiowy) [2, 3, 6, 9, 10].

Cechy:

- łożyska beztarciowe, minimalizacja momentu rozruchowego dzięki zastosowaniu łożysk tocznych (brak dodatkowej sztywności),
- elementy gumowe gwarantują przemieszczanie się wału przegubowego i oddzielenie akustyczne.

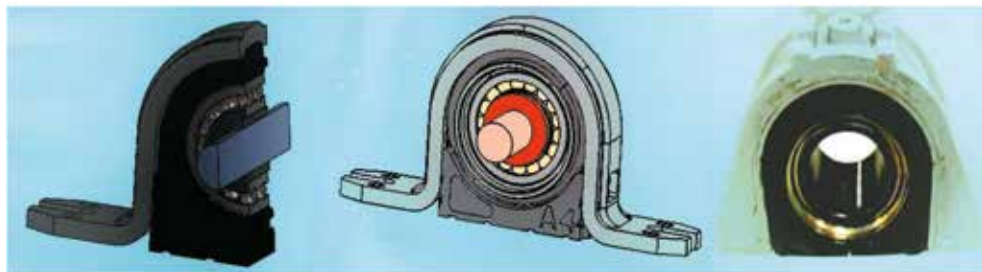




Rys. 8. Przykłady mocowania tulej łożyskowych stosowanych w łożyskowaniu przesuwym (rys. 7) [2, 3, 9]

- osiowe zabezpieczenie poprzez zastosowanie tuleji z kołnierzem,
- woda i brud mogą przenikać w obszar pomiędzy tuleją z tworzywa sztucznego i łożyskiem.





Rys. 9. Przykład łożyskowania stabilizatorów – łożyskowanie kulkowe

## 2.5 Obliczenia wytrzymałościowe z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych

W przypadku łożyskowania elastycznego (łożysk tylnych / grzbietowych – łożysk przy-czepnych) należy uwzględniać nie tylko odkształcenie samego łożyska ale również odkształcenie obejmę mocującej (koncentrację naprężeń) (rys. 11a) [1, 4, 11]. Siatki MES są wykonane z wykorzystaniem programu HyperMesh (rys. 10a i b) [12]. Część dolna, boczna łożyska jest podzielona (czerwona linia – rys. 10a). Prowadzi to do nieregularnego rozkładu naprężeń i odkształceń łożyska (rys. 11 b).

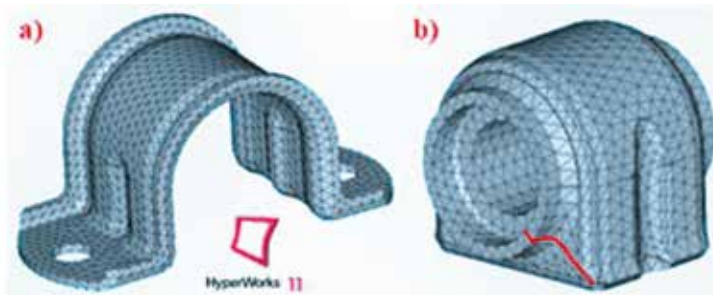
Etapy obliczeń łożyska elastycznego na etapie projektowania – w fazie prototypu:

1. Obliczenia wytrzymałościowe łożyska elastycznego (z wykorzystaniem MES) przy założonym obciążeniu lub przemieszczeniu się końcówki stabilizatora oraz założonej twardości / sztywności łożyska (dane producentów samochodów) (rys. 10 i 11d–g),
2. Obliczenia wytrzymałościowe obejmę mocującej łożysko, uwzględniając założenia z punktu 1 (rys. 10 i 11a–c),
3. Obliczenie zastępczej sztywności łożyska oraz całkowitej / sumarycznej sztywności pręta stabilizującego.

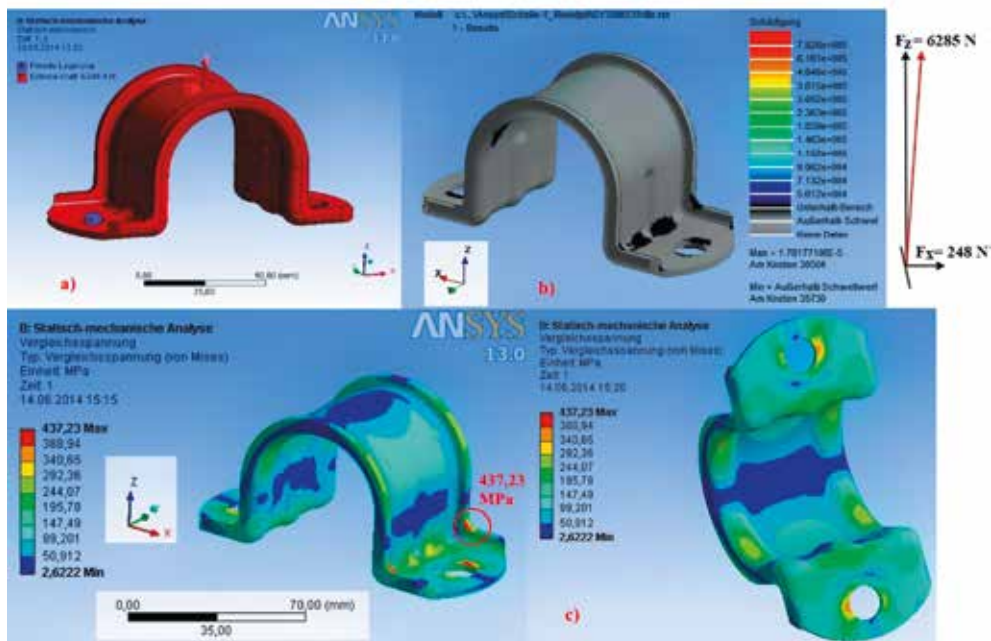
Następnie łożyska z obejmami mocującymi (prototypy) zostały poddane testom zmęczeniowym (rys. 14b i c). Ponadto przeprowadzono pomiary twardości (rys. 14a i d, rys. 15). Modele obliczeniowe podlegają na tej podstawie weryfikacji i walidacji. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń łożysk elastycznych L405A stosowanych w samochodzie Land Rover. łożyska elastyczne pod obciążeniem roboczym (tablica 1) nie ulegają przedwczesnemu zniszczeniu. Jednakże w obejmie mocującej łożyska elastycznego powstały mikro-pęknięcia (rys. 14c), które prowadziły do przedwczesnego uszkodzenia. Twardość Shore'a mierzona po procesie mocowania łożyska (rys. 6), zawarta jest w przedziale tolerancji (rys. 15).

Tabela 1. Parametry obliczeniowe łożyska elastycznego stabilizatora L405VA

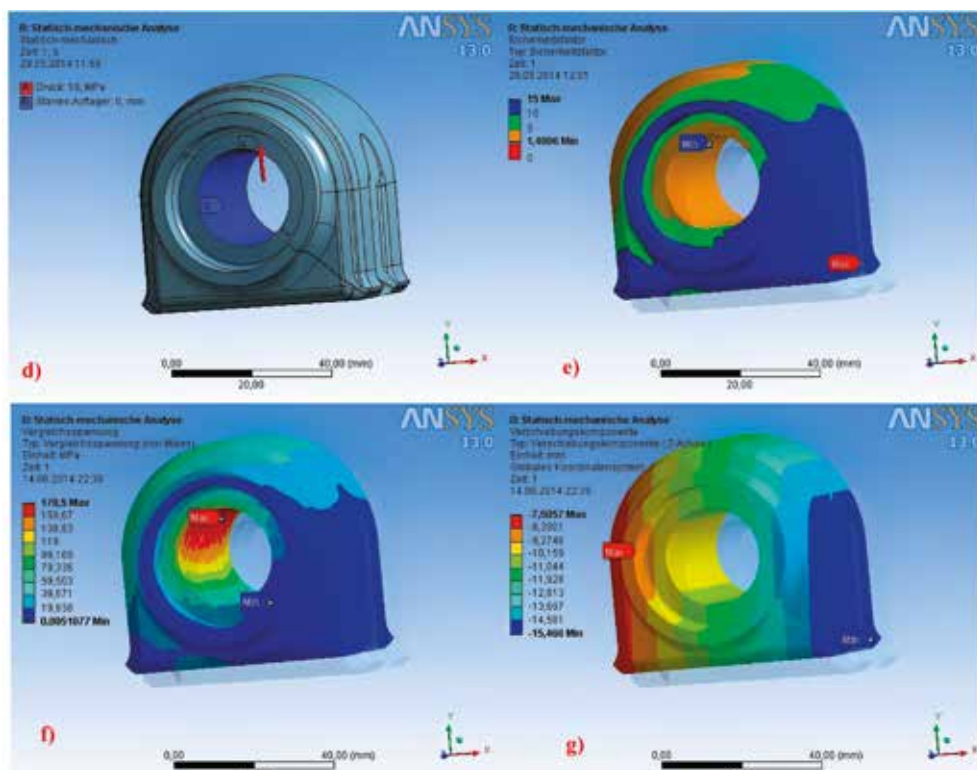
stabilizator rurowy	Ø31x5,5mm
obliczeniowa deformacja stabilizatora 2s	109,5mm
siła działająca na łożysko $F_z$	6285 N
twardość Shore'a łożyska elastycznego	65±3
sumaryczna / całkowita sztywność stabilizatora	36,09 N/mm



Rys. 10. Siatki do obliczeń MES (HyperMesh) – obejmy i łożyska elastycznego stabilizatora L405VA



Rys. 11. Obliczenia wytrzymałościowe MES obejmy i łożyska elastycznego stabilizatora L405VA



Rys. 11. Obliczenia wytrzymałościowe MES obejmy i łożyska elastycznego stabilizatora L405VA, cd.

Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzone z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (Ansys i nCode) (rys. 11) pokrywają się z wynikami testów zmęczeniowych przeprowadzonych w firmie ThyssenKrupp Federn & Stabilisatoren GmbH.

## 2.6 Sztywność

Charakterystyki sprężyn / łożysk gumowych odzwierciedlających różne opcje konstrukcyjne przyjmują postać progresywną, degresywną i liniową przy małych drogach sprężystych (rys. 12a). Nieliniowe charakterystyki obejmują charakterystykę progresywną, w której sztywność sprężyny rośnie wraz z wzrostem drogi sprężystej i charakterystykę degresywną odznaczającą się malejącą sztywnością sprężyny, co oznacza, że sprężyna staje się bardziej miękka wraz ze wzrostem obciążenia. Sprężyny o właściwościach progresywnych są preferowane w pojazdach samochodowych.

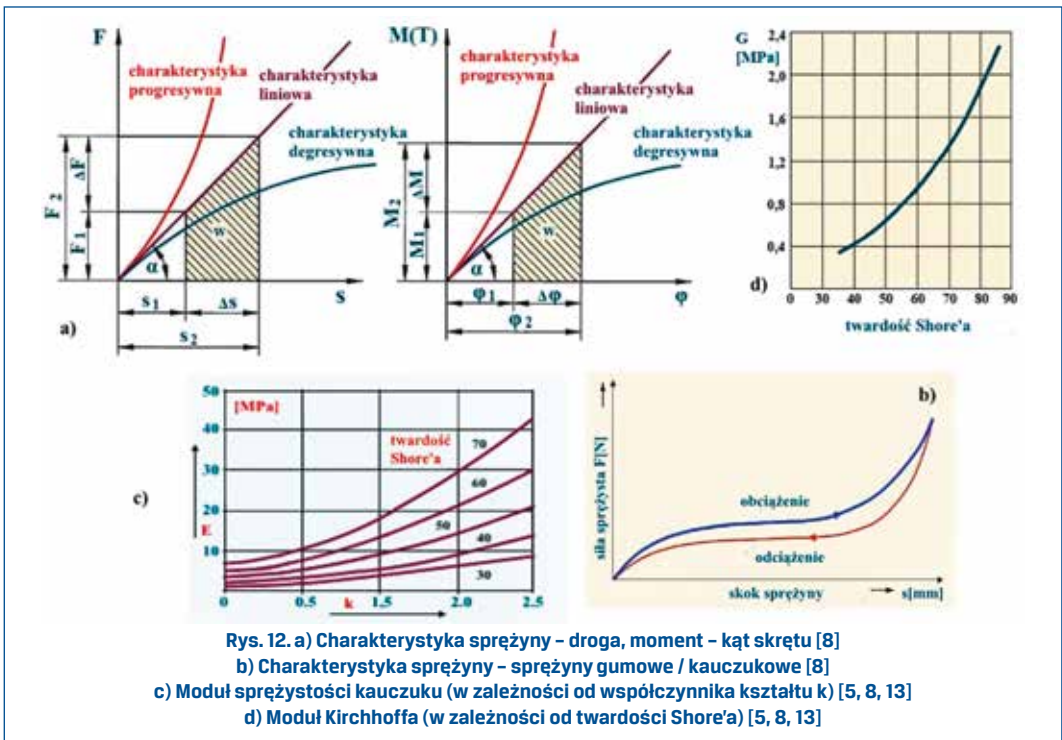
Guma jest wyraźnie miękka w przypadku występowania naprężeń ścinających i skrętnych niż w przypadku oddziaływania obciążeń rozciągających i ściskających. Na skutek tarcia wewnętrznego, charakterystyka odciążeniowa znajduje się poniżej charakterystyki

obciążeniowej (rys. 12b). Istotnym w przypadku obciążeń dynamicznych systemów wibracyjnych łożyskowanych przy użyciu gumowych elementów sprężystych jest tak zwana sztywność dynamiczna  $R_{dyn}$ , która przyjmuje wartości większe niż sztywność statyczna  $R$ . Stosunek  $R_{dyn}/R$  jest zależny od twardości Shore'a (tablica 2, rys. 14a) [5, 8, 13].

**Tabela 2. Parametry materiałowe łożysk elastycznych – moduł sprężystości poprzecznej  $G$  i sztywność dynamiczna  $R_{dyn}$**

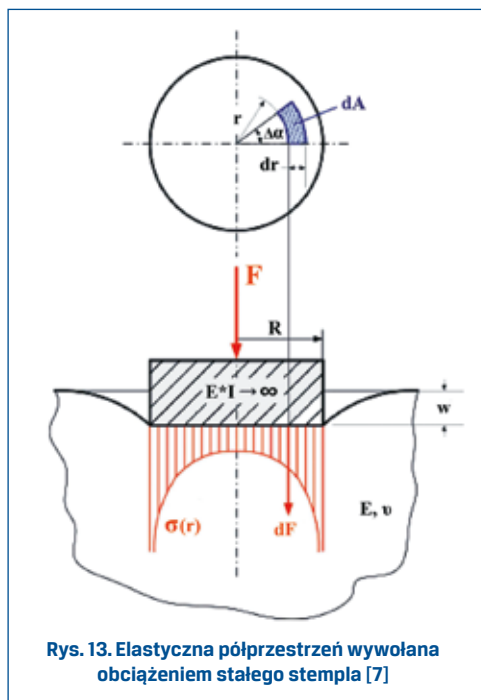
twardość Shore'a	moduł sprężystości poprzecznej $G$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{dyn}/R$
45	0,5	1,2
55	0,75	1,4
65	1,1	1,9

$$shore A = 116,1 - \frac{1409}{shore D + 12,2} \quad (1)$$



## Twardość

Używaną powszechnie jednostką porównawczą twardości zgodnie z normą DIN 53505 jest twardość Shore'a typu A. W przypadku elementów sprężystych stosowane są materiały gumowe o twardości 40 do 70 jednostek Shore'a [5, 7, 8, 13].



Rys. 13. Elastyczna półprzestrzeń wywołana obciążeniem stałego stempla [7]

Pomiędzy głębokością penetracji i twardością Shore'a zachodzi liniowa zależność podobnie jak pomiędzy głębokością penetracji i siłą sprężystą. Zależności te są określone wzorami (rys. 13):

$$F = c_1 + c_2 + S_{h_A} \quad [\text{N}] \quad (2)$$

opisującymi siłę sprężystą i

$$w = c_3(100 - S_{h_A}) \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

$$w = \frac{F}{2} * \frac{1 - \nu}{E} * \frac{1}{R} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

głębokość penetracji. Poprzez zastosowanie wzorów (2) i (3), (4) można przedstawić bezpośrednią korelację pomiędzy modułem sprężystości i twardością Shore'a - w następującej postaci:

$$E = \frac{1 - \nu^2}{2Rc_3} * \frac{c_1 + c_2 * S_{h_A}}{100 - S_{h_A}} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (5)$$

gdzie:  $\nu$  - współczynnik Poissona,  $c_1 = 0,549 \text{ N}$ ,  
 $c_2 = 0,07516 \text{ N}$ ,  $c_3 = 0,025 \text{ N}$  (constant),  
 $S_{h_A}$  - twardość Shore'a

### Moduł sprężystości poprzecznej

Moduł sprężystości poprzecznej  $G$  (rys. 12d) jest niezależny od kształtu. Jest w sposób oczywisty parametrem materiałowym i maleje wraz ze wzrostem twardości (tabela 1) [5, 8, 13]. Poza obliczeniami wytrzymałościowymi z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych przeprowadzono pomiary twardości Shore'a.

Wyniki pomiarowe twardości, zmierzone na stanowisku przedstawionym na rys. 14 zawarte są w załączonym przedziale tolerancji.

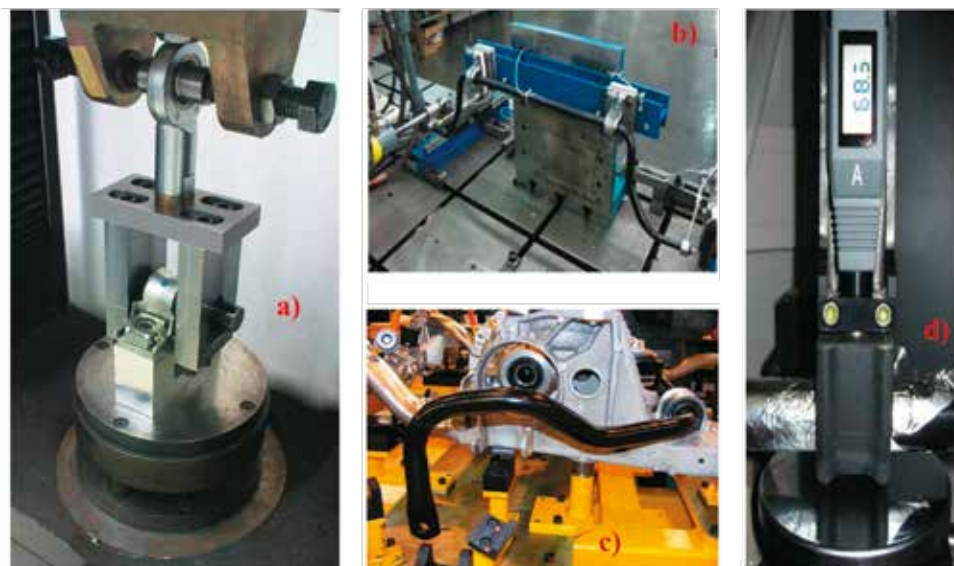
### Moduł sprężystości

W wyniku działania naprężeń ściskających, wynikowe wydłużenie poprzeczne, a w szczególności zapobieganie temu wydłużeniu, wpływa na moduł sprężystości  $E$ . Moduł Younga  $E$  jest więc nie tylko zależny od twardości Shore'a, ale jest również zależny od kształtu badanego elementu (rys. 12c). Wpływ ten można opisać za pomocą współczynnika kształtu, zdefiniowanego jako iloraz powierzchni obciążonej do powierzchni nieobciążonej. Dla sprężyny cylindrycznej gumowej o średnicy  $d$  i wysokości  $h$ , współczynnik kształtu  $k$  można opisać wzorem [5, 8, 13]:

$$k = \frac{\pi d^2 / 4}{\pi d h} = \frac{d}{4h} \quad (6)$$



Rys. 12c przedstawia zależność modułu Younga od współczynnika kształtu i twardości Shore'a.



Rys. 14. a) Stanowisko do pomiaru sztywności łożyska (źródło TKF&S GmbH)  
 b) Stanowisko do pomiaru wytrzymałości łożysk (źródło TKF&S GmbH)  
 c) Mocowanie / zabudowa łożysk samochodu LandRover L405VA (źródło TKF&S GmbH)  
 d) Stanowisko do pomiaru twardości Shore'a łożysk elastycznych (metoda A wg normy DIN 53505) (źródło TKF&S GmbH)



Rys. 15. Pomiar twardości Shore'a łożyska elastycznego stabilizatora L405VA na stanowisku przedstawionym na rys. 14

### 3. Podsumowanie

Łożyskowanie elastyczne stabilizatorów spełnia ważną rolę w pojazdach samochodowych. Z jednej strony służy jako mocowanie - połączenie osi i podwozia z drugiej strony generuje dodatkową sztywność, poprawiającą działanie stabilizatorów. Dlatego też konstrukcja łożyskowania powinna być wsparta obliczeniami z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych. Właściwa konstrukcja i interpretacja wyników obliczeniowych jest gwarantem prawidłowego działania stabilizatorów i łożyskowania.

### Literatura

- [1] *Abaqus Version 6.10.: Volume I: Static and Dynamic Analyses*. Dassault Systems 2010
- [2] Brendecke T., Götz O., Schneider F., Brust B.: *Präsentation Wissenmanagement Stabilisatoren*. ThyssenKrupp Bilstein Suspension GmbH, Hagen Dezember 2006, ss. 35-42
- [3] Gebauer H.-P.: *Stabilisatoren für Kraftfahrzeuge / Vortrag*. ThyssenKrupp Bilstein Suspension GmbH, Esslingen März 2007, ss. 6-10
- [4] Gebhardt CH.: *Praxisbuch FEM mit ANSYS Workbench. Einführung in die lineare und nichtlineare Mechanik*. 1. Auflage Carl Hanser Verlag, München 2011, ISBN: 978-3-446-42517-0, ss. 123-250
- [5] Haberhauer H., Bodenstern F.: *Maschinenelemente. Gestaltung, Berechnung, Anwendung*. 16. Auflage, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg 2011, ISBN: 978-3-642-14289-5, ss. 309-373
- [6] Heissing B., Ersoy M.: *Fahrwerkhandbuch - Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven*. 2. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden 2008, ISBN: 978-3-8348-0444-0, ss. 231-239, 314-320
- [7] Kunz J., Studer M.: *Draht - Elastizitätsmodul über Shore - A - Härte ermitteln*. Carl Hanser Verlag 2006, Kunststoffe 06/2006, ss. 92-94
- [8] Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Vossiek J.: *Roloff / Matek Maschinenelemente - Normung, Berechnung, Gestaltung*. 18. Auflage, Viewegs Fachbücher der Technik, Wiesbaden 2007, ISBN: 978-3-8348-0262-0, ss. 522-574
- [9] Oberkalkofen T.: *Präsentation W166 VA Stabilisator - Lager, Betriebsfestigkeit*. ThyssenKrupp Bilstein Suspension GmbH, Oktober 2010, ss. 1-34
- [10] Reimpell J., Betzler J.w.: *Fahrwerktechnik - Grundlagen*. 5. Auflage, Vogel Verlag, Würzburg 2005, ISBN: 978-3-8348-3031-4, ss. 357-395
- [11] Shimoseki M., Hamano T., Imaizumi T.: *FEM for springs*. 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg 2003, ISBN: 9-540-00046-1, ss. 94-99, 170-179
- [12] *Schulungsunterlagen HyperWorks11, Radioss*. Fa. ALTAIR Deutschland GmbH, Hannover 2012
- [13] Steinhipler W., Roeper R.: *Maschinen- und Konstruktionselemente 3. Elastische Elemente, Federn, Achsen und Wellen. Dichtungstechnik. Reibung, Schmierung, Lagerungen*. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg 1996, ISBN: 978-3-540-60645-1, ss. 68-74, 262-267, 313-421