

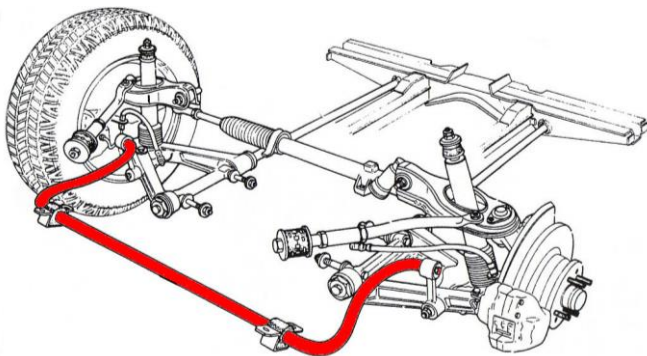
Krzysztof MACIKOWSKI

## PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ AKTYWNYCH STABILIZATORÓW

Artykuł zawiera przegląd stabilizatorów spotykanych w pojazdach samochodowych. Opisano cel ich stosowania oraz wpływ na zachowanie się i stabilność ruchu pojazdu. Scharakteryzowano stabilizatory aktywne oraz określono pięć najpopularniejszych sposobów realizowania aktywnej stabilizacji, z czego trzy z nich opisane zostały na przykładach. Przedstawiono koncepcję aktywnego stabilizatora opracowaną w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej.

### WSTĘP

Stabilizator ruchu jest to element wiążący ze sobą elementy nadwozia i podwozia pojazdu, który może być montowany jest zarówno na przedniej jak i tylnej osi. Zmniejsza przechył pojazdu poruszającego się np.: po łuku. Przechył wynika z działającej siły odśrodkowej, którą dla uproszczenia można przyłożyć w środku ciężkości pojazdu. Im mniejszy przechył, tym większa stabilność ruchu. Klasyczny stabilizator jest to pręt o przekroju okrągłym, uformowany na kształt litery U – rys. 1. Poprzeczka łączona jest z nadwoziem za pomocą dwóch łożysk promieniowych, a końce ramion z wahaczami lub kolumnami zawieszenia (najczęściej za pomocą odpowiednich łączników) [1]. Klasyczny stabilizator działa jak sprężyna, która w uproszczeniu jest skręcana w swojej środkowej części oraz zginana na ramionach. Można przyjąć, że charakterystyka jego sztywności jest liniowa.



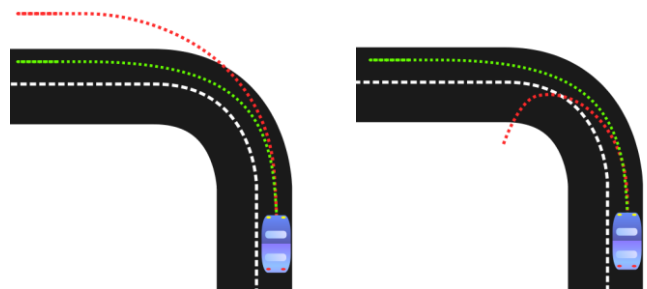
Rys. 1. Klasyczny stabilizator przechyłów poprzecznych [4].

Stabilizator łączy ze sobą zawieszenia kół osi przedniej lub tylnej. Usunięcie tego elementu spowodowałoby wystąpienie całkowicie niezależnej pracy kół danej osi. Sytuacja taka jest pożądana, gdy mamy do czynienia z pojazdami terenowymi, które poruszają się z niewielkimi prędkościami i często najeżdżają na duże przeszkody – rys. 2. W trakcie tych manewrów przemieszczenia poszczególnych kół danej osi często przyjmują skrajne przeciwne położenia. Zastosowanie sztywnego drążka stabilizatora spowodowałoby unoszenie koła odciążanego na osi przeciwnej, co w konsekwencji powodowałoby utratę stabilności pojazdu i mogło doprowadzić do np.: przewrócenia [2].



Rys. 2. Terenowy pojazd pokonujący wzniesienie. Zastosowanie sztywnego stabilizatora może doprowadzić do utraty stabilności [4].

Racjonalnym jest zastosowanie stabilizatora w pojazdach, które rozwijają duże prędkości oraz poruszają się po drogach dobrej jakości, z możliwością jazdy w terenie o umiarkowanym stopniu trudności. Właściwy dobór stabilizatora dla obu osi pojazdu może w znaczącym stopniu wpłynąć na jego przyczepność oraz stabilność ruchu, czyli podsterowność i nadsterowność – rys. 3. W samochodzie, wykazującym podsterowność podczas jazdy w zakrętach, możemy zmniejszyć tę cechę poprzez zastosowanie sztywniejszego stabilizatora na osi tylnej lub mniej sztywnego na osi przedniej (ewentualnie całkowicie go usunąć). W celu zmniejszenia nadsterowności należy zastosować sztywniejszy stabilizator na osi przedniej lub osłabić stabilizator na osi tylnej (lub całkowicie go wymontować). Ingerując w taki układ, należy mieć na uwadze, utratę stabilności pojazdu podczas ruchu w różnych warunkach drogowych [3].

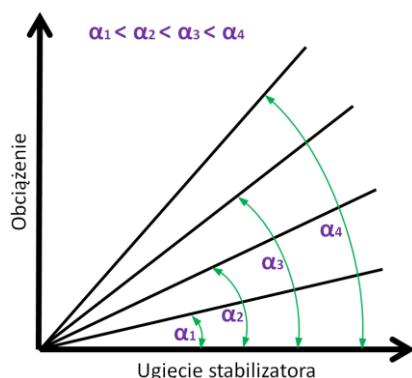


Rys. 3. Utrata stabilności ruchu. Z lewej strony: Przykład podsterowności. Z prawej strony: Przykład nadsterowności [5].

## 1. AKTYWNY STABILIZATOR

Stabilizator nazywany aktywnym cechuje się tym, że parametr sztywności można zmieniać w pewnych granicach, płynnie lub stopniowo. Zmianę tę można realizować za pomocą układów hydraulicznych, elektrycznych lub mechanicznych. Pożądane jest, aby otrzymywane charakterystyki sztywności zachowywały charakter liniowy dla zmiennych obciążeń – rys. 4. Analiza występujących rozwiązań w popularnych konstrukcjach aktywnych stabilizatorów wykazuje, że zmianę sztywności można realizować przez:

- Skracanie lub wydłużanie ramion drążka,
- Przesuwanie punktów podparcia ramion drążka,
- Zmianę kształtu przekroju poprzecznego ramienia drążka,
- Napinanie części środkowej drążka za pomocą dźwigni mechanicznych,
- Instalowanie na części środkowej mechanizmów napinających drążek.



Rys. 4. Charakterystyka stabilizatora o zmiennej sztywności.

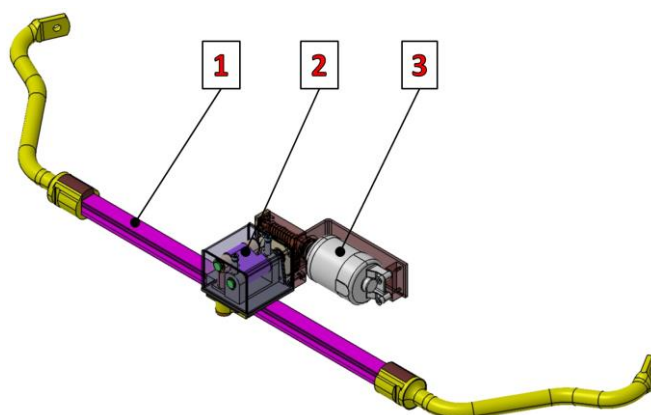
W dalszych rozdziałach przedstawiona została koncepcja mechanizmu aktywnej stabilizacji przechyłu pojazdu opracowana na Politechnice Łódzkiej oraz trzy przykłady wybranych mechanizmów spotykanych w technice. Dotyczą one kolejno układu hydraulicznego montowanego w środkowej części drążka oraz dwóch przykładów ramienia drążka o zmiennym przekroju poprzecznym i zmiennej długości.

## 2. UKŁADY AKTYWNEJ STABILIZACJI POJAZDU

### 2.1. Mechaniczno-elektryczny stabilizator

Opracowana w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn PŁ koncepcja aktywnego stabilizatora (rys. 5) jest chroniona zastrzeżeniem patentowym nr 2016P00954 FR. Może zostać zastosowana zarówno na przedniej jak i tylnej osi. W opracowanym stabilizatorze zastosowano specjalną konstrukcję jego części środkowej (rys. 5), która składa się z pakietu, co najmniej dwóch, prętów (1) o przekroju poprzecznym prostokątnym lub zbliżonym do prostokątnego. Połączone są one w sposób trwały z ramionami, których kształt jest dostosowany do wolnej przestrzeni pomiędzy kierowanym kołem jezdnym z mechanizmem hamulca i elementami prowadzenia koła, w przypadku osi przedniej. Dla osi tylnej kształt ramion stabilizatora może być prostszy, gdyż koła niekierowane zapewniają większą przestrzeń pomiędzy kołem i elementami jego prowadzenia. Zwiększenie sztywności uzyskuje się przez rozginanie pakietu prętów. Urządzeniem realizującym rozginanie jest zamocowany na środku długości pakietu, specjalnie skonstruowany mechanizm (2), napędzany silnikiem elektrycznym (3) lub innym medium. Pakiet prętów wraz z mechanizmem rozginającym, w zależności od warunków zabudowy w pojeździe, może być dowolnie ustawiony kątowno i

obrócony wokół osi podłużnej pakietu, w stosunku do ramion stabilizatora.

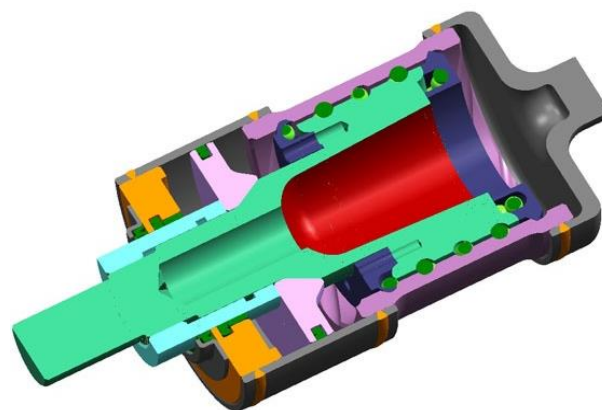


Rys. 5. Koncepcja stabilizatora samochodowego nowego typu.

### 2.2. Hydrauliczny układ kontroli przechyłu pojazdu za pomocą obrotowego siłownika – projekt firmy BWIGroup

Układ ten wykorzystuje ciśnienie generowane przez pompę płynu hydraulicznego do wytworzenia momentu obrotowego na obu końcach stabilizatora. Drążek podzielony został w środku na dwie połowy i połączony jest za pomocą odpowiednio zaprojektowanego mechanizmu. W trakcie poruszania się po prostej mechanizm ten jest wyłączony, co zapewnia miękką pracę zawieszenia. W trakcie jazdy po łuku mechanizm się włącza i zwiększając moment obrotowy na końcach drążka zmniejsza przechylenie nadwozia, jednocześnie usztywniając zawieszenie.

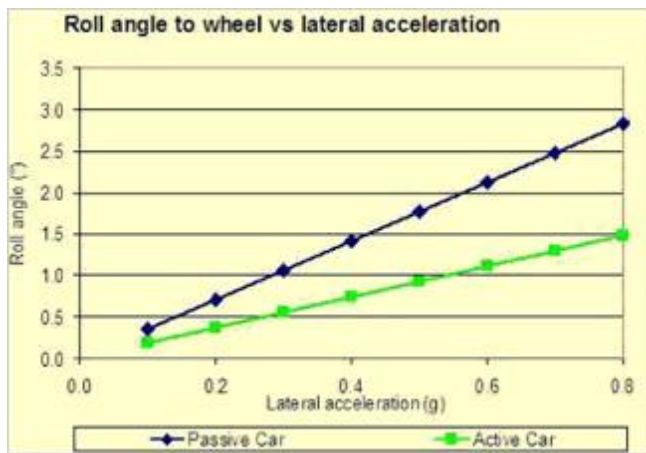
Konstrukcja siłownika obrotowego (rys. 6) oparta jest na zasadzie śruby z kulkami obiegowymi, działającymi przy ciśnieniu roboczym 180bar. Pozwala ono na wygenerowanie dużego momentu w drążku (od 900Nm do 1500Nm), który zapewnia równoczesną możliwość obrotu względem siebie obu połówek drążka stabilizatora [6]. W tym przypadku wykorzystywany jest fakt, że śruba z kulkami obiegowymi nie jest samohamowna, a działanie układu jako klasyczny stabilizator wynika z oporów tarcia śruby siłownika. Konstrukcja mechanizmu wymaga również zastosowania przesuwnej złącza wielowypustowego, kompensującego zmienną długość siłownika w czasie pracy. Regulacja wielkości momentu obrotowego działającego w przeciwnych kierunkach na obie połówki drążka stabilizatora realizowana jest przez kontrolę różnicy ciśnień w przesterżeniach po obu stronach tłoka, co zapewnia ciągłość pracy, także w centralnym położeniu tłoka.



Rys. 6. Przekrój przez siłownik obrotowy firmy BWI [6].

Z rysunku 7 można odczytać, że obrót nadwozia względem nawierzchni po zastosowaniu aktywnego stabilizatora dla przyspie-

szczenia bocznego rzędu 0,5g zmniejszył się z ok. 1,4° do ok. 0,9°. Potwierdza to skuteczność zastosowania tego rozwiązania



Rys. 7 Zmiana nachylenia nadwozia względem nawierzchni [6].

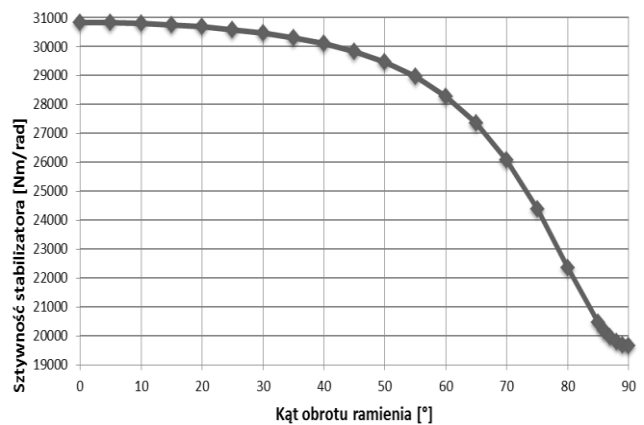
### 2.3. Hydrauliczny układ kontroli przechyłu pojazdu za pomocą obrotowego siłownika – projekt firmy BWIGroup

Rozwiązanie to dedykowane jest do samochodów marki Porsche, model 911, 912, 930. Zastosowaniu w nim odpowiednio zaprojektowany element – ramię stabilizatora, które charakteryzuje się zmiennym wzdłuż swojej osi podłużnej przekrój poprzeczny, kształtem zbliżony do prostokąta – rys. 8.



Rys. 8. Przedni stabilizator o regulowanej pozycji ramienia [8].

Ramię to na jednym końcu posiada odpowiedni mechanizm sterujący jego położeniem kątowym. Ustawienie w pionie skutkuje uzyskaniem maksymalnej sztywności (największy wskaźnik sztywności na zginanie). Ustawienie w poziomie skutkuje uzyskaniem minimalnej sztywności (najmniejszy wskaźnik sztywności). Dopuszczalne jest ustawienie ramienia w położeniu pośrednim. W tej sytuacji następuje zmiana kierunku wypadkowej siły pochodzącej od momentu zginającego ramię i otrzymuje się nieliniową charakterystykę zmiennej sztywności w funkcji kąta obrotu. Przykład takiej charakterystyki przedstawiony został na rysunku 9. Pochodzi on z własnych badań przeprowadzonych przez autora dla podobnego elementu charakteryzującego się średnim przekrojem poprzecznym 40x8mm i długością 274,4mm.



Rys. 9. Zmiana sztywności stabilizatora o zmiennym przekroju poprzecznym ramienia w trakcie jego obrotu o 90°.

### 2.4. Ramię drążka o regulowanej długości – projekt firmy Elephant Racing

Rozwiązanie to przedstawione zostało na rysunku 10. Dedykowane jest do samochodów marki Porsche, model 914. Pozwala na zmianę w pewnym określonym zakresie czynnej długości ramienia, co jest możliwe dzięki ich specjalnej konstrukcji. Wykonane zostały podłużne, równoległe do osi obrotu, rowki w których, poprzez przesunięcie punktu mocowania łącznika stabilizatora, następuje regulacja sztywności. W celu otrzymania najszywniejszej charakterystyki należy zamocować łącznik w skrajnym położeniu. System ten pozwala na samodzielną zmianę ustawienia ramienia. Jego wadą jest brak możliwości przeregulowania w trakcie jazdy oraz czasochłonny proces wykonywania tej zmiany.



Rys. 10. Stabilizator o regulowanej długości ramienia [9].

W omawianym rozwiązaniu zdecydowano się na wykonanie ramion jako osobnych elementów o przekroju poprzecznym prostokątnym, z lekkiego, wysokowytrzymałego stopu aluminium o oznaczeniu AA 6061-T6 [9]. Uzyskano dzięki temu obniżoną masę przy zachowaniu wysokiej wytrzymałości

## PODSUMOWANIE

Opisane rozwiązania są próbą usystematyzowania wiedzy na temat aktywnych stabilizatorów stosowanych w pojazdach samochodowych. Wyróżnia się układy sterowane hydraulicznie, elektrycznie, mechanicznie lub mieszane. Marki, które odznaczają się szczególnymi osiągnięciami w tej dziedzinie to przede wszystkim: Volkswagen, BMW, Mercedes, Toyota, Porsche oraz Citroen. Produkowane systemy znajdują zastosowanie głównie w drogich samochodach zaliczanych do segmentu limuzyn, pojazdów terenowych lub sportowych. W dalszym ciągu prowadzone są intensywne prace mające na celu polepszenie istniejących rozwiązań oraz opracowanie nowych, tańszych, bardziej niezawodnych i mniej energochłonnych systemów. Jedną z alternatyw jest koncepcja opracowana w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej, opisana w rozdziale 2.1.

## BIBLIOGRAFIA

1. Werner J., Budowa samochodów. Konstruowanie podwozi, WKiŁ, Warszawa 1966.
2. Mitschke M., Dynamika samochodu, WKiŁ, Warszawa 1977.
3. Puhn F., How to make your car handle, HPBooks, New York 1981.
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-roll\\_bar](http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-roll_bar)
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/Understeer\\_and\\_oversteer](http://en.wikipedia.org/wiki/Understeer_and_oversteer)
6. <http://www.bwigroup.com/pl/pshow.php?pid=42>
7. <http://www.elephantracing.com/suspension/swaybars/914swaybars-blade-type.htm>

8. <http://www.elephantracing.com/suspension/swaybars/911swaybars-hollow-adjustable.htm>
9. <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>

## Overview of solutions of active stabilizer

*The article contain description of the stabilizers found in motor vehicles. Describes the purpose of their use and impact on behavior and vehicle stability. Active stabilizers were characterized and identified the five most popular ways to pursue an active stabilization and three of which have been described using specific example. An original concept developed at the Department of Vehicles and Fundamentals of Mechanical Engineering Technical University of Lodz was presented.*

## PODZIĘKOWANIA

Autor artykułu chciałby podziękować Panu doktorowi Stanisławowi Kaszubie, pomocniczemu opiekunowi naukowemu oraz Panu profesorowi Zbigniewowi Pawelskiemu, opiekunowi naukowemu za pomoc podczas przygotowywania niniejszej publikacji. Ich fachowa wiedza oraz wieloletnie doświadczenie pozwoliło w sposób nieoceniony wzbogacić pracę.

Autor:

mgr inż. **Krzysztof Macikowski** – Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy. E-mail: [krzysztof.macikowski@gmail.com](mailto:krzysztof.macikowski@gmail.com)