

Marek JAŚKIEWICZ, Dariusz WIĘCKOWSKI

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE AKTYWNYCH ZAWIESZEŃ STOSOWANYCH W POJAZDACH

DOI: 10.24136/atest.2018.321

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018.

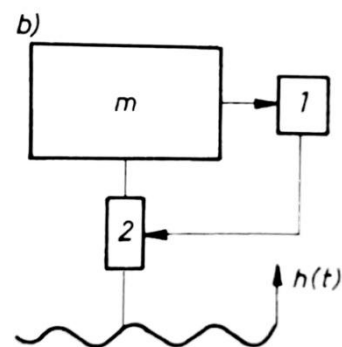
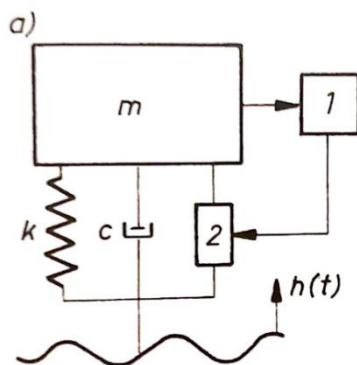
W artykule omówiono zagadnienia związane z konstrukcyjnymi rozwiązaniami aktywnych zawieszek kół jezdnych stosowanych w pojazdach. Przedstawiono ogólną ideę stosowania aktywnych zawieszek. Problematykę omówiono w oparciu o przykłady stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych różnych rodzajów aktywnych zawieszek. Podkreślono istotne charakterystyczne cechy tych rozwiązań. Zwrócono uwagę na kompromis pomiędzy wymaganiami komfortu, a bezpieczeństwem jazdy.

WSTĘP

Zawieszenie aktywne jest to takie zawieszenie, w którym jego struktura ma możliwość zmiany w stosunku do warunków ruchu. Idea tego zawieszenia polega na umiejscowieniu „izolatora” pomiędzy kołami, a nadwoziem. Sterowanie „izolatora” odbywa się automatycznie dzięki sygnałom uzyskanym z czujników. Umożliwia to :

- modyfikację statycznego ugięcia zawieszenia,
- regulację współczynnika sztywności oraz/lub współczynnika tłumienia zawieszenia,
- utrzymanie stałej wysokości zawieszenia niezależnie od zmieniającego się powolnie obciążenia,
- dostarczanie siły pomiędzy koła a nadwozie, której charakterystyka w określony sposób zmienia się w zależności od warunków ruchu [7].

Na rys. 1 pokazano schematy rozwiązań konstrukcyjnych zawieszek aktywnych.



Rys. 1. Schematy zawieszenia aktywnego: a) układ z komponentami pasywnymi z izolatorem aktywnym umiejscowionym równolegle, b) izolator aktywny; 1 – czujnik, 2 – izolator, k – współczynnik sztywności, c – współczynnik tłumienia [7]

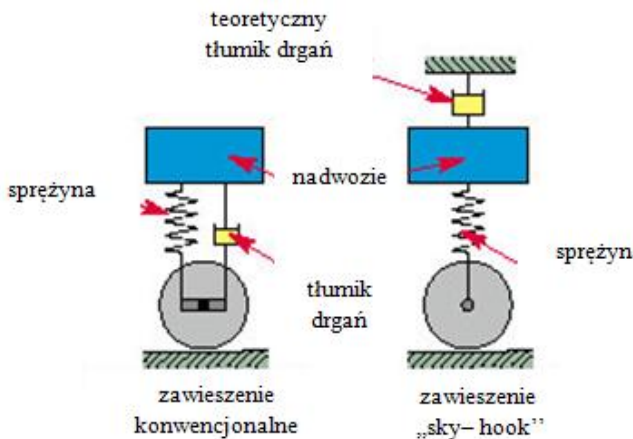
1 ROZWIĄZANIA TEORETYCZNE ZAWIESZEŃ AKTYWNYCH

Idea „sky – hook”

Zawieszenie musi zapewniać odpowiedni komfort i bezpieczeństwo jazdy. Można to osiągnąć poprzez sterowanie siłą tłumienia, jednak zwiększenie tłumienia, które podnosi bezpieczeństwo jazdy, niekorzystnie wpływa na komfort. Drgania kół o większych częstotliwościach przenoszone są na nadwozie [6].

Teoretycznie jest to możliwe do zrealizowania za pomocą idei „sky-hook”. Zakłada ona, że tłumik powinien być umieszczony pomiędzy nadwoziem, a nieruchomym układem odniesienia [10]. Spowodowałoby to, że siła tłumienia amortyzatora uzyskiwałaby wartości proporcjonalne do bezwzględnej prędkości nadwozia [6]. Jest to jednak model czysto teoretyczny, który stał się bazą wyjściową dla amortyzatorów o zmiennej sile tłumienia. Sterowanie uwzględnia takie zmiany tłumienia by jak najlepiej zachować proporcjonalność między siłą tłumienia a prędkością względną nadwozia. Rozwiązanie to znacznie poprawia komfort, niestety wpływając niekorzystnie na bezpieczeństwo jazdy. Drgania kół jezdnych pojazdu nie ulegają tłumieniu.

Na rys. 2 pokazano dwa rozwiązania zawieszenia: zawieszenie konwencjonalne oraz z ideą „sky-hook”.



Rys. 2. Schemat zawieszenia konwencjonalnego oraz zawieszenia „sky - hook” [13]

Idea „ ground – hook ”

W celu poprawy bezpieczeństwa jazdy stworzono idee sterowania „ ground – hook”. Nazwa ta związana jest z rozwiązaniem konstrukcyjnym tego sterowania. Fikcyjny tłumik został ulokowany pomiędzy kołem a abstrakcyjnym punktem „na ziemi” [4]. Siła tłumienia w tym rozwiązaniu jest proporcjonalna do prędkości drgań nadwozia. W tym przypadku wzrasta bezpieczeństwo podróżowania kosztem komfortu jazdy.

2 RODZAJE ZAWIESZEŃ AKTYWNYCH

Zawieszenia aktywne pozwalają na manualne i automatyczne sterowanie wysokością nadwozia, a także utrzymywanie stałej, zadanej wysokości niezależnie od obciążenia pojazdu. Uzyskuje się to poprzez regulowanie sztywności zawieszenia oraz przez stałą, automatyczną regulację tłumienia. Zasada ich pracy oparta jest na dostarczeniu dodatkowej energii. Wyróżnia się następujące zawieszenia aktywne [1]:

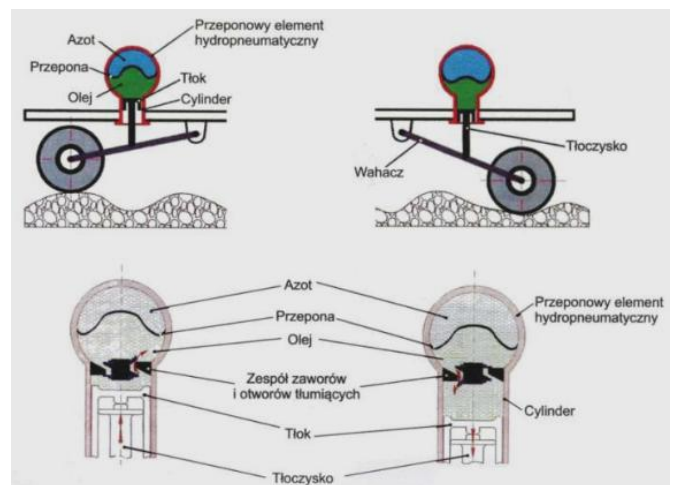
- hydropneumatyczne,
- pneumatyczne,
- elektromagnetyczne.

Zawieszenie hydropneumatyczne

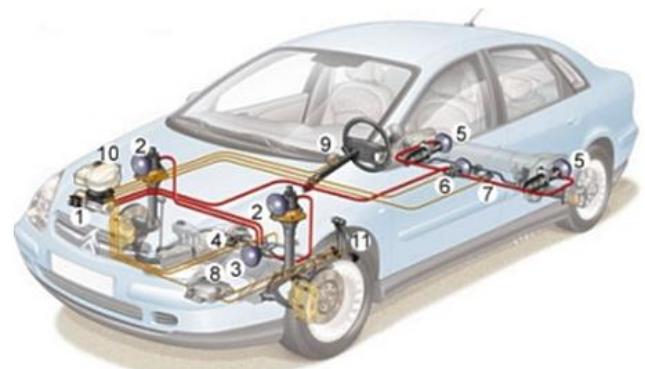
Zawieszenie to pozwala regulować wysokość nadwozia bądź też zachowywać jego wysokość na określonym poziomie, niezależnie od obciążenia samochodu. Klasyczny układ sprężyna – amortyzator został zastąpiony przez gaz (azot) oraz płyn (LHM, LDS). Taki układ występuje w postaci kolumny hydropneumatycznej, która odpowiada jednocześnie za gromadzenie energii i przekazywanie jej we właściwym momencie oraz za tłumienie drgań. W skład tej kolumny wchodzi cylinder połączony z sferą hydropneumatyczną, potocznie nazywaną „gruszką” bądź kulą. Sfera natomiast podzielona jest przez elastyczną membranę na dwie części. Górna część wypełniona jest gazem (azotem) pod ciśnieniem

5÷7 MPa. Dolna część, która łączy się z kolumną hydropneumatyczną, wypełniona jest mineralnym olejem hydraulicznym (ciśnienie 14÷17 MPa) [1]. Tłok porusza się wewnątrz cylindra. Jego tłoczyko łączy się z wahaczem kołem, zaś górna część kolumny hydropneumatycznej połączona jest z nadwoziem. Na rys. 3 zaprezentowano sposób działania takiego zawieszenia [1, 2].

Rozwój zawieszek hydropneumatycznych zapewnił nie tylko możliwość regulacji sztywności zawieszenia, ale również regulację prześwitu. Jest to zależne do warunków jazdy: prędkości jazdy oraz rodzaju nawierzchni. Na rys. 4 przedstawiono przykład zabudowy w samochodzie tego typu zawieszenia.



Rys. 3. Schemat działania zawieszenia hydropneumatycznego: a) podczas ściskania, b) podczas rozciągania [1]



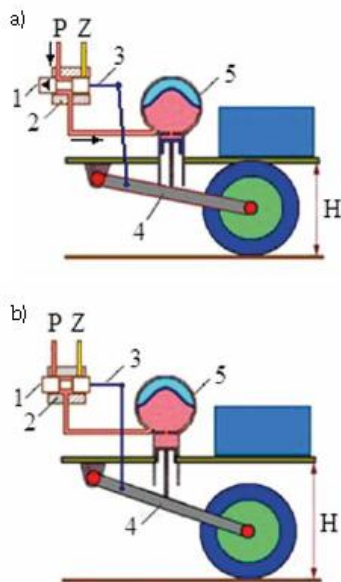
Rys. 4. Schemat zawieszenia Hydroactive III+ w Citroenie C5 ze zintegrowanymi kolumnami prowadzącymi [3]

Zawieszenie to składa się z następujących elementów: sterujący blok elektrohydrauliczny (1), kolumny hydropneumatyczne przednich kół (2), regulator sztywności zawieszenia przedniej osi z przeponowym kulistym akumulatorem ciśnienia (3), czujnik wysokości nadwozia przedniej osi (4), kolumny hydropneumatyczne tylnych kół (5), regulator sztywności zawieszenia tylnej osi z przeponowym kulistym akumulatorem ciśnienia (6), czujnik wysokości nadwozia tylnej osi (7), moduł sterowania pracą silnika i funkcjami pomocniczymi (8), czujnik skrętu koła kierownicy (9),

zbiornik oleju instalacji hydraulicznej (10), czujnik położenia pedałów przyspieszenia i hamulca (11) [3].

Na przedniej i tylnej osi znajdują się korektory prześwitu, które umożliwiają regulację wysokości nadwozia. Zasada ich pracy została pokazana na rys. 5.

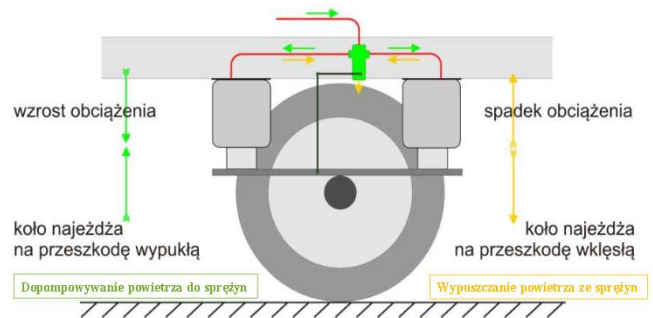
Zwiększenie obciążenia pojazdu wywołuje obrót stabilizatora. Taka zmiana położenia przenoszona jest na dźwignie (3), ta naciska na suwak korektora wysokości nadwozia (1), który umiejscowiony został w korpusie korektora (2). Następnie suwak przesuwają do położenia, w którym zasilana jest kolumna hydropneumatyczna. Zwiększa się objętość oleju w siłownikach wewnątrz cylindrów, co w efekcie skutkuje zwiększeniem prześwitu pojazdu (p – dopływ oleju). Gdy nadwozie jest unoszone stabilizator obraca się w przeciwną stronę, co oznacza proces odwrotny do wyżej opisanego. Odcinany jest przepływ oleju, więc nadwozie zatrzymuje się w pozycji neutralnej. Gdy zmniejsza się obciążenie pojazdu to suwak przesuwają się w prawo (z – odpływ oleju). Działanie korektora wysokości zintegrowane jest również z następującymi elementami: wahaczem (4), sferą hydropneumatyczną (5) [8].



Rys. 5. Schemat działania korektora wysokości podczas obciążenia: a) reakcja układu na obciążenie, b) automatyczna regulacja wysokości [8]

Zawieszenia pneumatyczne

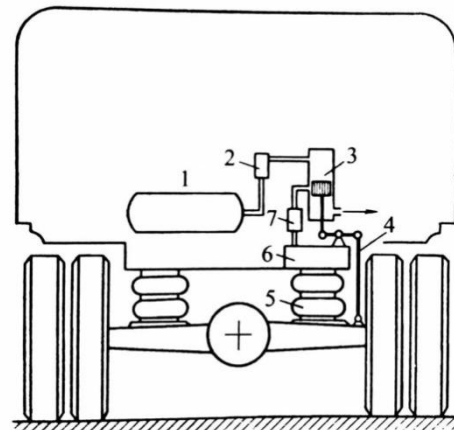
Zawieszenie tego typu ma również na celu poprawę komfortu jazdy oraz wzrost bezpieczeństwa podróży. Obciążenie nie wpływa na wielkość prześwitu samochodu. Najbardziej charakterystycznymi elementami tego zawieszenia są pneumatyczne elementy sprężyste. Podstawowe cechy to: średnica 200÷360 mm, ciśnienie robocze powietrza 0,5÷1,5 MPa [5]. Na rys. 6 znajduje się przykładowy schemat działania tego elementu sprężysto – pneumatycznego.



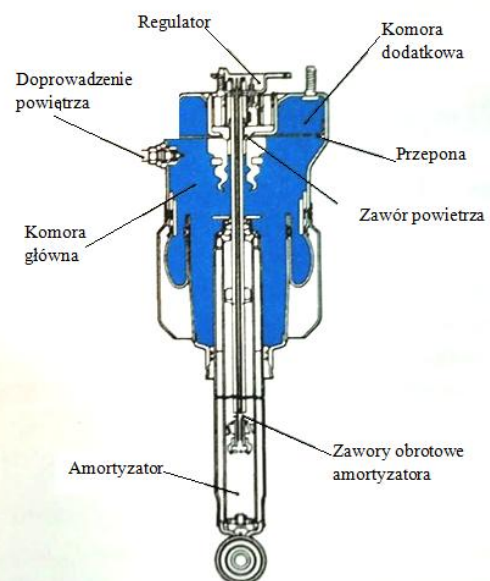
Rys. 6. Schemat działania gumowego miecha w zawieszeniu pneumatycznym [12]

W przypadku tego typu zawiesznień istnieje możliwość regulacji wysokości nadwozia a także sztywności zawieszenia. Na rys. 7 przedstawiono sposób regulacji wysokości nadwozia w samochodzie ciężarowym.

Na rys. 8 przedstawiono schemat pneumatycznej kolumny sprężysto – tłumiącej zawieszenia aktywnego [1].

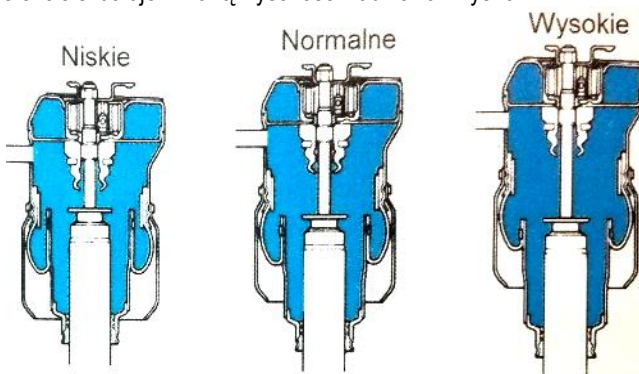


Rys. 7. Schemat regulacji wysokości nadwozia w samochodzie ciężarowym z zawieszeniem pneumatycznym [5]



Rys. 8. Widok pneumatycznej kolumny sprężysto – tłumiącej zawieszenia aktywnego [1]

Regulację tłumienia i sztywności realizuje się następująco. Pneumatyczna kolumna sprężysto – tłumiąca zbudowana jest z amortyzatora dwururowego o zmiennej charakterystyce tłumienia oraz miecha gazowego. W górnej części znajduje się regulator, który na podstawie danych ze sterownika otwiera bądź też zamyka odpowiednie zawory obrotowe. Powoduje to przepływ oleju w amortyzatorze i powietrza w miechu lub też wstrzymanie tego przepływu [1]. Regulację wysokości nadwozia realizuje się za pomocą zmiany ciśnienia powietrza w głównej komorze powietrznego miecha [11]. Za przepływ powietrza do oraz z miechów odpowiada sterownik. Realizowane jest to dzięki odpowiednim zaworom regulacji wysokości nadwozia. Dzięki temu, że w miechu występuje ruchoma przepona, możliwa jest zmiana długości kolumny pneumatycznej, co w efekcie skutkuje zmianą wysokości nadwozia – rys. 9.



Rys. 9. Kolumny zawieszenia dla poszczególnych faz wysokości nadwozia [9]

Zawieszenia elektromagnetyczne

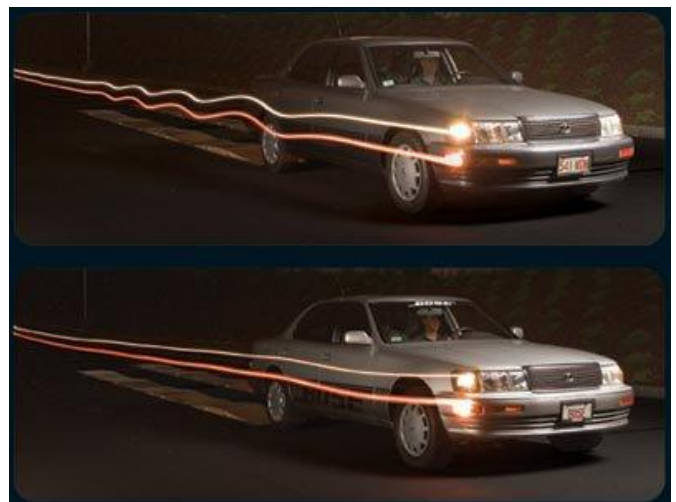
Jest to zawieszenie, które rozpoznaje warunki w jakich porusza się auto w czasie rzeczywistym. Zamiast klasycznego układu sprężyna–amortyzator występuje kolumna elektromagnetyczna, która jest umieszczona przy każdym z kół. Kolumna taka składa się z stałych magnesów oraz cewek, które zostały nałożone wokół rdzenia [1]. Jeżeli nastąpi przepływ prądu przez cewki następuje zmiana położenia rdzenia, co w efekcie powoduje powstawanie siły. Informacje z poszczególnych czujników docierają do sterownika układu, który odpowiada za prawidłową pracę tego zawieszenia. Analizie podlegają głównie drgania nadwozia, które wynikają z uderzeń kół o nierówności drogi.

Jeśli prawa bądź lewa część przedniego nadwozia została obniżona, wskazuje to na to, iż jedno z kół wjechało w nierówność. Następuje wtedy jego wysunięcie na taką odległość, aby zapewnić stały kontakt koła z nawierzchnią. Jeżeli odbywa się to odpowiednio szybko, to pasażerowie nie są w stanie odczuć dyskomfortu związanego z zaistniałą sytuacją. Gdy pojazd przejedzie po drodze z licznymi nierównościami, powstaje siła elektromotoryczna. Napięcie wymusza przepływ prądu do sterownika, który odpowiada za regulowanie siły tłumienia [1]. Na rys. 10 przedstawiono kolumny elektromagnetyczne. Natychmiastowa zmiana siły tłumienia stabilizuje samochód, koła mają stały kontakt z powierzchnią niezależnie od rodzaju nawierzchni, a pionowe ruchy nadwozia są zminimalizowane. Wadą takich rozwiązań są: stosunkowo wysokie koszty produkcji oraz serwisu, a także zwiększone zapotrzebowanie na moc.



Rys. 10. Widok kolumn elektromagnetycznych przedniego zawieszenia [15]

Na rys. 11 pokazano porównanie przejazdu po nierównościach drogi samochodu z zawieszeniem klasycznym oraz z zawieszeniem elektromagnetycznym.



Rys. 11. Porównanie drgań nadwozia po wjechaniu na nierówności drogi samochodu z klasycznym zawieszeniem (góra) a samochodu z elektromagnetycznym zawieszeniem (dół) [14]

PODSUMOWANIE

Projektowanie zawiesznień pojazdów samochodowych wymaga spełnienia kompromisu pomiędzy wymaganiami komfortu, a bezpieczeństwem jazdy. Rozwój zawiesznień aktywnych (także półaktywnych) zdecydowanie zwiększa pole takiego kompromisu. Stwarza możliwości zmniejszenia ograniczeń, jakie występują w przypadku klasycznych zawiesznień. Jednak w tym przypadku wchodzimy w zakres zagadnień obejmujących kompleksowo dynamikę ruchu samochodu. Są to już problemy interdyscyplinarne, obejmujące zagadnienia z teorii ruchu samochodu, modelowania i symulacji ruchu samochodu, sterowania dynamiką samochodu. To

wymaga powiązania ze sobą takich obszarów, jak: mechanika, automatyka, elektronika, informatyka i techniki obliczeniowe, teoria sterowania, przetwarzanie sygnałów, badania eksperymentalne.

Artykuł powstał podczas realizacji projektu w ramach Programu Badań Stosowanych dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju „Aktywne zawieszenia wielofunkcyjnych pojazdów kołowych o wysokiej mobilności.” Umowa nr PBS3/B6/27/2015.

BIBLIOGRAFIA

1. Gabrylewicz M.: *Podwozia i nadwozia pojazdów samochodowych. Podstawy budowy, diagnozowania i naprawy*, WKŁ, Warszawa 2015
2. Gardulski J., Burdzik R. : *Cechy zawiesznień mechanicznych i hydropneumatycznych samochodów osobowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, zeszyt nr 56, 2004 r.
3. Kaparuk J.: *Zawieszenia hydropneumatyczne w samochodach osobowych*, część 1 . Poradnik Serwisowy, Instalator Polski, Warszawa 2009
4. Mitura A.: *Modelowanie drgań nieliniowego zawieszenia pojazdu samochodowego z tłumieniem magnetoreologicznym*, Rozprawa doktorska, str. 5-11, Lublin 2010
5. Prochowski L., Żuchowski A.: *Samochody ciężarowe i autobusy*, WKŁ, Warszawa 2006
6. Reński A.: *Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011
7. Reński A.: *Budowa samochodów. Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszenia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997
8. Skorek G.: *Hydropneumatyczne zawieszenia w samochodach osobowych – zasada działania. Napędy i sterowanie*, miesięcznik naukowo – techniczny, 11/2016
9. Materiały szkoleniowe poziom 3, część 6 , *TEMS oraz zawieszenie pneumatyczne*, Publikacja nr TTM306PL.Toyota Motor Poland Co. Ltd. Centrum szkoleniowe, Warszawa 1990
10. Ślaski G., *Studium projektowania zawiesznień samochodowych o zmiennym tłumieniu*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012

Źródła internetowe

11. <http://www.speco.pl> – Zawieszenia pneumatyczne część 2. Czteropoziomowe zawieszenie pneumatyczne w Audi allroad quattro . Budowa i zasada działania. Zeszyt do samodzielnego kształcenia nr 243, dostęp z dnia: 28-11-2016
12. <http://www.zssplus.pl> – strona Zespołu Szkół Samochodowych w Bydgoszczy, Zawieszenia pojazdów samochodowych, dostęp z dnia: 30-10-2016
13. https://images.machinedesign.com/images/archive/441118020203jpg_00000046289.jpg, dostęp z dnia: 08-01-2017
14. <https://i.wpimg.pl/730x0/m.autokult.pl/lc-suspen-nightbump-d3611697258e.jpg>, dostęp z dnia: 19-01-2017

15. <http://stedex.ru/templates/treelax/img/hodovzap.jpg>, dostęp z dnia: 19-01-2017.

Constructional solutions for active suspensions used in vehicles

The article discusses issues related to structural solutions of active suspensions of road wheels used in vehicles. There is presented the general idea of using active suspensions. Discussed issues are based on the examples of design solutions for various types of active suspensions. It underlines the relevant characteristics of specific solutions. Attention was drawn to a compromise between the requirements of comfort, safety and driving.

Autorzy:

dr hab. inż. **Marek Jaśkiewicz prof. PŚk.** – Politechnika Świętokrzyska, m.jaskiewicz@tu.kielce.pl
dr hab. inż. **Dariusz Więckowski** – Przemysłowy Instytut Motoryzacji, d.wieckowski@pimot.eu