

TŁUMIKI MAGNETOREOLOGICZNE

W artykule przedstawiono tłumiki magnetoreologiczne i ich zastosowania. Scharakteryzowano materiały magnetoreologiczne, takie jak ciecze i elastomery magnetoreologiczne. Następnie przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne tłumików z cieczą magnetoreologiczną oraz tłumików z elastomerami magnetoreologicznymi. W kolejnej części pracy zaprezentowano zastosowania tłumików magnetoreologicznych. Praca kończy się podsumowaniem.

WSTĘP

Spośród licznych typów tłumików obecnie stosowanych w przemyśle, istnieje wiele rozwiązań tłumików, amortyzatorów: gazowych, olejowych, tarciovych, olejowo-gazowych oraz z cieczą magnetoreologiczną lub cieczą elektroteologiczną. Wadą tłumików olejowych, czy z cieczą magnetoreologiczną jest problem uszczelniania, niebezpieczne dla środowiska substancje olejowe. W technice pojawia się co raz więcej tłumików posiadających w swojej budowie elastomery magnetoreologiczne. Ich sterowanie odbywa się przez cewki elektromagnetyczne, zasilane zewnętrznym źródłem prądowym, bądź za pomocą magnesów stałych. Elastomery magnetoreologiczne mają znacznie krótszą historię niż ciecze magnetoreologiczne, przez co także ustępują im w ilości aplikacji przemysłowych. Obecnie realizowanych jest dużo prac naukowo-badawczych nakierowanych na zastosowaniu elastomerów magnetoreologicznych w urządzeniach tłumiących drgania, w tym tłumików magnetoreologicznych.

Kolejno w artykule omówiono ciecze i elastomery magnetoreologiczne. Następnie przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne tłumików magnetoreologicznych. Podsumowanie pracy poprzedzają przykłady zastosowań tłumików magnetoreologicznych.

1. CIECZE I ELASTOMERY MAGNETOREOLOGICZNE

Materiały magnetoreologiczne (MR) takie jak ciecze i elastomery magnetoreologiczne należą do grupy materiałów inteligentnych (ang. smart materials), których właściwości reologiczne wrażliwe są na obecne pole magnetyczne. Pierwsze materiały magnetyczne zostały opracowane przez Rabinowa w 1948 roku, były to tzw. ciecze magnetoreologiczne. Aktualnie wśród materiałów MR wyróżnia się kilka typów: ciecze MR (MRF), pianki MR, żele MR, pasty MR i elastomery MR (MRE). Najbardziej rozpowszechnione są obecnie ciecze MR [1].

MRF są to stabilizowane dyspersje cząstek magnetycznych w ciekłym ośrodku dyspersyjnym, najlepiej o znacznej lepkości. MRF dzięki możliwości szybkich zmian właściwości reologicznych w polu magnetycznym już znalazły zastosowanie w przemyśle samochodowym, np. firma LORD wprowadziła na rynek tłumiki o kontrolowanej charakterystyce. Takie zastosowania tłumików magnetoreologicznych podnoszą komfort i bezpieczeństwo podróżujących samochodem [2].

Elastomery MR są stałymi analogami MRF, mogą być rozwiązaniem niedogodności MRF, jakim jest sedimentacja. Elastomery MR to kompozyty, w których cząstki magnetyczne rozproszone są w matrycy elastomerowej. Zwykle jako matrycę polimerową wybiera

się bardzo miękkie elastomery typu plastyfikowanych silikonów, czy miękkich poliuretanów. Napenia się je w dużym stopniu cząstkami magnetycznymi, nawet do 30 % objętościowych [3].

W celu otrzymania kompozytów o dobrych właściwościach mechanicznych prowadzone są prace nad MRE będącymi kompozycjami opartymi o wulkanizowane kauczuki naturalne. Kompozyty te również napenia się dużymi ilościami cząstek magnetycznych, nawet do 50% objętościowo. W przypadku np. kompozytów opartych na kauczuku naturalnym nie powoduje to drastycznego spadku właściwości mechanicznych. Takie materiały nadają się do zastosowań inżynierskich, mogą być przydatne do budowy inteligentnych wibroizolatorów, czy tłumików magnetoreologicznych [3].

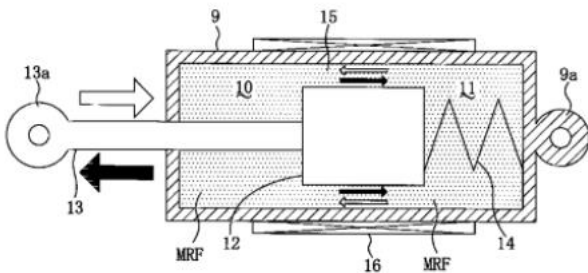
W polskim zgłoszeniu patentowym P-412907 [4] dotyczącym wieloelastomerowych kompozytów magnetoreologicznych opisano nowy materiał elastomerowy z inteligentnym napelniaczem, który charakteryzuje się lepszymi właściwościami mechanicznymi i fizycznymi w stosunku do znanych dotychczas elastomerów magnetoreologicznych oraz znacznym efektem magnetoreologicznym, co czyni go materiałem dogodnym do zastosowań inżynierskich. Nowy kompozyt magnetoreologiczny składa się z wielu faz elastomerowych, w tym przynajmniej jednej niewrażliwej na pole magnetyczne oraz przynajmniej jednej wrażliwej na pole magnetyczne, przy czym fazy mogą być wykonane na bazie tego samego elastomeru, ale różnią się właściwościami lub też mogą być wykonane na bazie różnych elastomerów. Faza wrażliwa na pole magnetyczne (magnetoreologiczna) pełni rolę inteligentnego napelniacza, zmieniającego swoją sztywność w wyniku przyłożenia pola magnetycznego, co skutkuje zmianą sztywności złożonego kompozytu i występuje tak zwany efekt magnetoreologiczny. Faza niewrażliwa na pole magnetyczne pełni rolę matrycy, czy spoiwa dla fazy wrażliwej na pole magnetyczne.

2. TŁUMIKI Z CIECZĄ MAGNETOREOLOGICZNĄ

Aktualnie znanych jest wiele rozwiązań tłumików z substancją magnetoreologiczną, którą jest ciecz magnetoreologiczna. Takie rozwiązanie jest przykładowo ujawnione w opisie patentowym EP2719918 A1 [5], w którym amortyzator zawiera tłok, cylinder, oraz ciecz magnetoreologiczną MRF, gdzie magnes trwały umieszczony jest w wydrążeniu zewnętrznej ścianki i w formie dwóch pierścieniopodobnych symetrycznie ułożonych elementów otacza cylinder. Magnes trwały generuje pole magnetyczne, które oddziałuje na ciecz - materiał magnetoreologiczny i powoduje zmianę jego właściwości reologicznych, sprzyjających tłumieniu drgań.

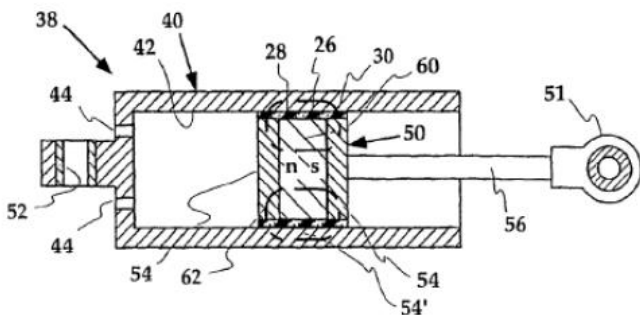
Z kolei w opisie patentowym JP2003035345 A [6] przedstawiono amortyzator (rys. 1), w którym używa się płynu magnetoreologicznego MRF (10), wypełniającego całą komorę cylindra, zaś

elementem konstrukcyjnym jest elektromagnes (16) umieszczony na zewnątrz cylindra, okalający ścianki cylindra, wytwarzający pole magnetyczne.



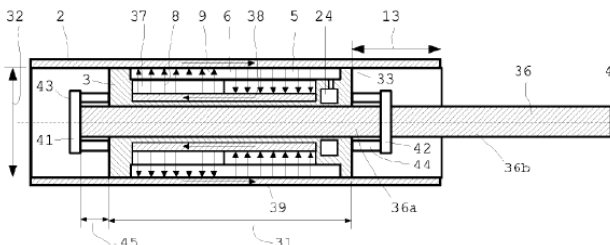
Rys. 1. Tłumik z cieczą magnetoreologiczną [6]

Ujawnienie z opisu patentowego EP1025373 B1 [7] przedstawia konstrukcję liniowego tłumika magnetoreologicznego (rys. 2), w którym zredukowano ilość magnetoreologicznej cieczy (tzw. controllable fluid), do takiej ilości, jaka mieści się w obszarze roboczym pomiędzy zewnętrzną ścianką tłoka a ścianą wewnętrzną cylindra. Ciecz magnetoreologiczna ma odpowiednią lepkość lub jest uwięziona przykładowo w matrycy. Magnes stały ulokowany jest również na powierzchni tłoka, wytwarzając pole magnetyczne podczas ruchu i oddziałując na obszar roboczy tłoka. Cylinder wraz z tłokiem wykonane są z materiału przepuszczalnego dla pola magnetycznego. Siła tłumienia jest uzależniona od rodzaju użytego magnesu stałego i szybkości ruchu tłoka w cylindrze.



Rys. 2. Tłumik magnetoreologiczny [7]

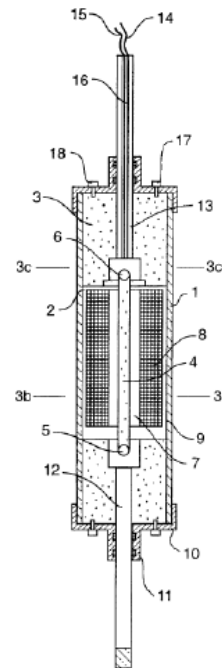
W publikacji US20150247548 [8] ujawniono tłumik (rys. 3), w którym tłumienie drgań dotyczy ruchu górnej płaszczyzny sąsiadującej ze ścianką zewnętrzną cylindra (2). Ciecz magnetoreologiczna (6) znajduje się jedynie w obrębie tłoka, a ciecz MR może zawierać elastomer, i sąsiaduje z magnesem stałym (8) – magnes stały oraz warstwa płynu są w ruchu względem ścianek cylindra.



Rys. 3. Tłumik z cieczą magnetoreologiczną [8]

W publikacji WO9804846 [9] ujawniono tłumik (rys. 4) obejmujący swoją konstrukcją: obudowę (1), tłok poruszający się liniowo w komorze (3) i dzielący je na dwie części, obiekt (8) wytwarzający pole magnetyczne np. magnes stały stanowiący element tłoka, w komorze (3) i dzielący ją na dwie części, obiekt (8) wytwarzający

pole magnetyczne np. magnes stały stanowiący element tłoka. W komorze (3) jest umieszczony płyn magnetoreologiczny, którego lepkość zwiększa się podczas ruchu tłoka w cylindrze, ponadto w centralnej części tłoka jest wydrążony przelotowy kanał (4) łączący dwie części podzielonej komory (3), przez który przepływa ciecz magnetoreologiczna.



Rys. 4. Tłumik magnetoreologiczny [9]

W kolejnej części pracy przedstawiono rozwiązania tłumików zawierające elastomery magnetoreologiczne.

3. TŁUMIKI Z ELASTOMERAMI MAGNETOREOLOGICZNYMI

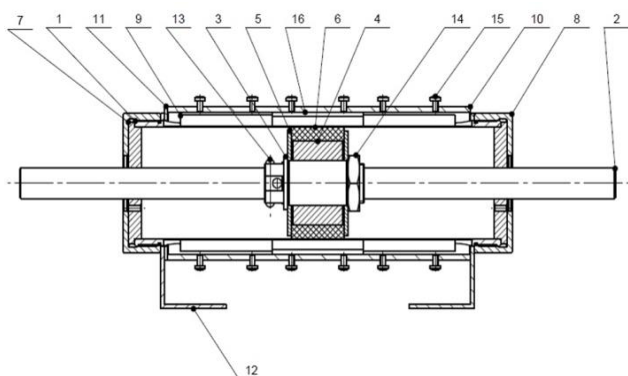
Firmy motoryzacyjne Ford oraz General Motors posiadają wiele zastrzeżonych rozwiązań urządzeń do tłumienia drgań z elastomerem magnetoreologicznym. Przykładem rozwiązań zawierających elastomer magnetoreologiczny jest rozwiązanie ujawnione w opisie patentowym US 5609353 B [10], dotyczące regulacji sztywności elementu zawieszenia pojazdu przez zastosowanie tulei o regulowanej sztywności. W rozwiązaniu tym elastomer magnetoreologiczny został umieszczony pomiędzy dwoma tulejami, z których wewnętrzna połączona jest z ruchomym elementem zawieszenia, natomiast zewnętrzna z nadwoziem. Dodatkowym elementem układu jest cewka (umieszczona pomiędzy kompozytem a wewnętrznym cylindrem), w której indukowane jest pole magnetyczne regulujące współczynnik sztywności kompozytów magnetoreologicznych.

Podobne rozwiązanie, ujawnione w opisie patentowym US 5816587 B [11] wykorzystano do eliminacji drgań tarcz hamulcowych, z zastosowaniem elementu składającego się z dwóch tarcz cylindrów rozdzielonych warstwą elastomeru magnetoreologicznego. Współczynnik sztywności kompozytu zmienia się przez regulowanie natężenia prądu płynącego w cewce nawiniętej na warstwie elastomeru.

W publikacji [12] ujawniono konstrukcję tłumika, w której materiał elastomeru MR osadowiony jest na końcu trzpienia w cylindrze. W pewnej odległości od zewnętrznych ścianek cylindra znajduje się otaczający cylinder magnes stały, który jest z kolei umieszczony na

powierzchni osadzonego nieruchomo (na ścianie zewnętrznej tulei) elektromagnesu. Dodatkowo, w tej samej publikacji, przedstawiono konstrukcję tłumika zawierającego elastomer magnetoreologiczny osadowiony na trzpieniu tłoka, przy czym na ściankach wewnętrznych cylindra umieszczony jest elektromagnes.

W grudniu 2016r. Instytut Lotnictwa złożył do Urzędu Patentowego w Polsce zgłoszenie patentowe P-419845 [13]. W nowej konstrukcji tłumika zastosowano elastomer magnetoreologiczny. Zgodnie z rys. 5 urządzenie obejmuje cylinder 1, umieszczony wewnątrz niego tłok 3 wraz z tłoczyskiem 2. Na powierzchni tłoka 3 osadzony jest elastomer magnetoreologiczny 6. Tłumik zawiera dwie nakrętki 8, montowane do cylindra 1. Prowadzenie 7 zapewnia współosiowość i prowadzenie tłoczyska 2 w cylindrze 1. Magnesy stałe 16 umieszczone są na zewnętrznej powierzchni cylindra 1. Alternatywnie można zastosować jako elementy źródła pola magnetycznego cewki elektromagnetyczne. Magnesy stałe 16 wytwarzają pole magnetyczne, które oddziałuje na wieloelastomerowy elastomer magnetoreologiczny 6, zmieniając jego właściwości reologiczne. Wytworzone przez magnesy stałe pole magnetyczne działa na elastomer magnetoreologiczny 6 tak, że przyciąga go z siłą powodującą wzrost siły docisku (w obszarze oddziaływania magnetycznego) między powierzchnią wewnętrzną cylindra 1 i powierzchnią elastomeru 6. Siła potrzebna do wsuwania i wysuwania tłoka 3 jest wynikiem tych oddziaływań oraz współczynnika tarcia między elastomerem 6 a powierzchnią wewnętrzną cylindra 1. Sterowanie parametrami tłumika odbywa się przez pole magnetyczne generowane przez magnesy stałe 16, działające na elastomer 6. W konstrukcji tłumika znajduje się również tuleja dystansowa 4, na której osadzony jest elastomer, podkładka 5 zapewnia pozycjonowanie elastomeru na tulei, a nakrętka 14 blokuje ruch elastomeru z tłoka 3. Dystanse 9 blokują ruch magnesów stałych 16 w cylindrze 1. Nakładka 10 zabezpiecza magnesy przed wypadnięciem z cylindra 1. Podkładki elastyczne 11 służą do eliminacji luzu między nakładką 10, a nakrętkami 8. Łapy 12 umożliwiają montaż tłumika do stanowiska badawczego lub aplikacji tłumika. Magnesy 16 oraz dystanse 9 blokowane są w nakładce 10 za pomocą wkrętów 15.



Rys. 5. Schemat konstrukcyjny tłumika z elastomerem magnetoreologicznym. 1- cylinder, 2 - tłoczysko; 3 – tłok; 4 – tuleja dystansowa; 5 – podkładka; 6 – elastomer wielofazowy; 7 – prowadzenie; 8 – nakrętka; 9 – dystans; 10 – nakrętka; 11 – podkładka elastyczna; 12 – łapa; 13 – nit; 14 – nakrętka; 15 – wkręt; 16 – magnes [13]

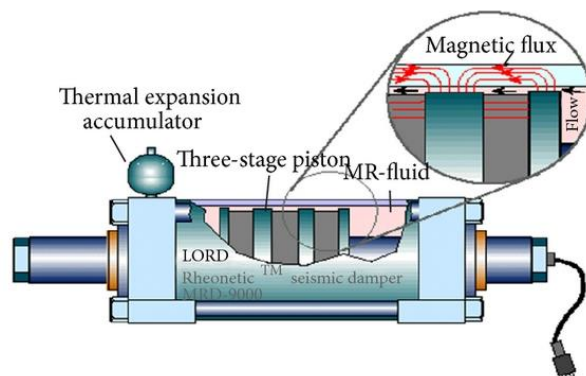
4. ZASTOSOWANIA TŁUMIKÓW MAGNETOREOLOGICZNYCH

Powszechnie uważa się, że pierwszymi urządzeniami wykorzystującymi tłumiki magnetoreologiczne, zawierającymi ciecz magnetoreologiczną, były tłumiki do tłumienia drgań dużych pralek bębnowych (rys. 6) [2].

W branży budowlanej tłumiki magnetoreologiczne są już powszechnie wykorzystywane do zabezpieczenia przed wstrząsami budynków usytuowanych na terenach sejsmicznych. Jednym z najbardziej znanych urządzeń przeznaczonych do realizacji takich zadań jest tłumik magnetoreologiczny (rys. 7) firmy LORD Corporation [14].

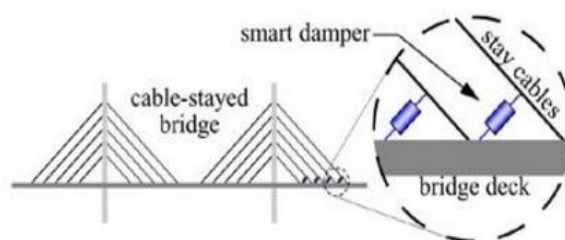


Rys. 6. Zawieszenie bębna pralki automatycznej z wykorzystaniem tłumików MR [2]



Rys. 7. Tłumik magnetoreologiczny do zastosowań sejsmicznych [14]

Ważnym zastosowaniem tłumików magnetoreologicznych w budownictwie są również zabezpieczenia przed przemieszczeniami konstrukcji mostowych [2]. W rozwiązaniach konstrukcyjnych mostów wiszących powszechnie wykorzystuje się tłumiki magnetoreologiczne do tłumienia przemieszczeń lin mostowych (rys. 8). Skuteczność metody wytłumienia drgań lin jest tak duża, że umożliwia całkowitą likwidację ich przemieszczeń.



Rys. 8. Schemat wytłumienia lin mostu wiszącego [2]

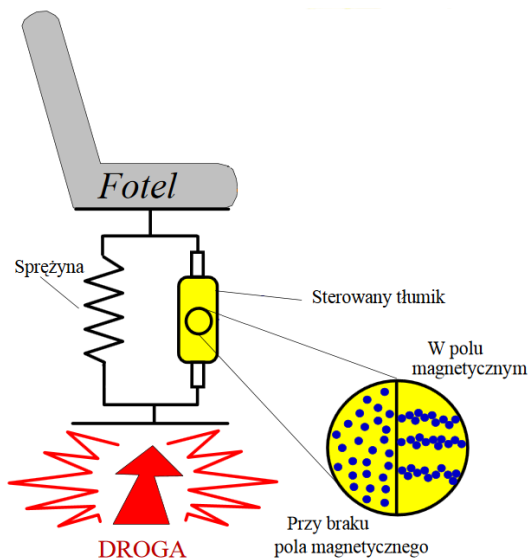
Przykładem skutecznego rozwiązania konstrukcyjnego wytłumienia przemieszczeń dużej konstrukcji budowlanej jest tzw. tańczący most w Wołgogradzie (rys. 9) [2]. Dzięki zastosowaniu w 2010 roku serii sterowanych tłumików magnetoreologicznych z odpowiednimi mechanicznymi urządzeniami dźwigowymi udało się wyeliminować duże przemieszczenia całej konstrukcji, znacząco podnosząc bezpieczeństwo eksploatacyjne mostu.



Rys. 9. Widok mostu w Wolgogradzie [2]

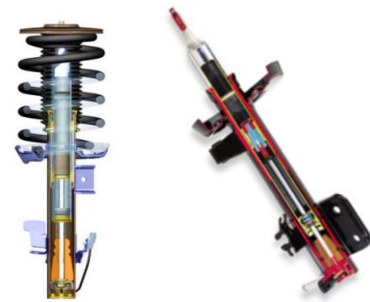
W energetyce dużym problemem w budowie wysokoenergetycznych linii przesyłowych jest tzw. galopowanie przewodów wysokiego napięcia. W skrajnych przypadkach zjawisko to może doprowadzić nawet do katastrofy. Skutecznie eliminuje to zjawisko system tłumików magnetoreologicznych – jedną z propozycji takiego rozwiązania opracowano m.in. w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie [2].

Niewątpliwie największą rolę urządzenia magnetoreologiczne odegrały w motoryzacji. Pierwsze udokumentowane wykorzystanie cieczy magnetoreologicznej, dotyczące produkcji tłumików drgań foteli dużych ciężarówek (rys. 10) w liczbie przekraczającej 1000 urządzeń, pochodzi z 1996 roku [2].



Rys. 10. Schemat układu tłumiącego drgania w fotelu dużej ciężarówki [2]

Wykorzystanie amortyzatorów magnetoreologicznych w konstrukcji zawieszonych samochodów osobowych pojawiło się z chwilą opracowania przez korporację Delphi w kooperacji z firmą Lord tłumika i systemu sterowania jego właściwościami, który nazwano MagneRide [15]. Budowę takiego amortyzatora przedstawiono na rys. 11.



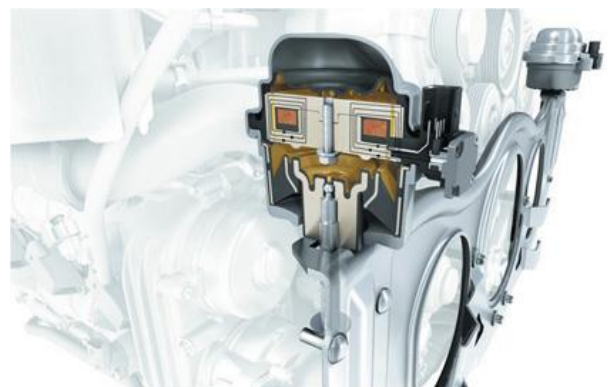
Rys. 11. Rozwiązanie konstrukcyjne amortyzatora MagneRide [15]

W pewnym sensie to rozwiązanie zrewolucjonowało dotychczasowe konstrukcje amortyzatorów samochodowych z elektrozaworami. Konstruktorzy dostrzegli bowiem zupełnie nowe możliwości doskonalenia zawieszonych samochodowych na drodze prostego sterowania właściwościami cieczy MR zamiast stosowania coraz bardziej skomplikowanych rozwiązań konstrukcyjnych tłumików. Od chwili pojawienia się, w 2002 roku, samochodu Cadillac Seville, w którym po raz pierwszy na masową skalę zastosowano zawieszenie ze sterowanymi tłumikami magnetoreologicznymi zastępującymi wcześniejsze bardziej skomplikowane konstrukcyjne rozwiązania amortyzatorów, nastąpił gwałtowny rozwój omawianych rozwiązań konstrukcyjnych występujących zwłaszcza w samochodach wyższej klasy. Ograniczenie zastosowania amortyzatorów MR do samochodów wyższej klasy wynika przede wszystkim z dość wysokiej ceny cieczy będącej podstawą działania tych elementów konstrukcji [2].

Po 2008 roku tłumiki magnetoreologiczne wykorzystano w zawieszonych kolejnych modeli samochodów, m.in. Chevrolet Corvette, Audi, Cadillac Roadster. Wprowadza się kolejne modele samochodów osobowych wyposażonych w zawieszenia bazujące na tłumikach MR, m.in. Holden HSV Commodore, Stryker, Hammer, Mercedes oraz Opel [2].

Rozwiązania konstrukcyjne amortyzatorów MR są dostosowane do konstrukcji podwozi samochodów, w których mają być zamontowane. Stopień komplikacji budowy amortyzatorów jest pochodną wielu innych czynników, dotyczących m.in. wielkości i ciężaru samochodu oraz rozwiązań technologicznych i organizacyjnych montażu samochodu.

Intensywne prace projektowe, konstrukcyjne i badawcze prowadzone w firmie Porsche dotyczą zawieszonych silnika w modelu GT 911 na sterowanych poduszkach magnetoreologicznych [2]. Niepełny, jak dotychczas, sukces inżynierów polega na tym, że dwa punkty podparcia silnika zrealizowano za pomocą poduszek MR (rys.12), lecz konstrukcja poduszki podpierającej silnik w trzecim punkcie pozostaje nadal przedmiotem intensywnych prac konstrukcyjnych i badawczych.



Rys. 12. Schemat poduszki magnetoreologicznej zamontowanej w samochodzie Porsche GT 911 zmniejszającej drgania silnika [2]

W wielu ośrodkach uniwersyteckich, w tym również w Polsce, trwają intensywne prace nad wdrożeniem do praktycznej eksploatacji tłumików magnetoreologicznych w celu zmniejszenia siły odrzutu działającej na ramię żołnierza podczas strzelania z broni małokalibrowej. Takie prace realizowane są w Politechnice Warszawskiej. W efekcie wpływa to oczywiście również na poprawę celności broni. Niezależnie w Politechnice Warszawskiej jest realizowanych wiele prac dotyczących tłumików magnetoreologicznych, w trakcie których konstruuje się nowe rozwiązania tłumików z cieczą magnetoreologiczną jak również poszukuje się aplikacji dla nowych rozwiązań, takich jak stabilizatory czy urządzenia służące do rehabilitacji. Proponowane są rozwiązania w tłumieniu drgań zawieszonych samochodów. Wiele urządzeń magnetoreologicznych zaprojektowanych i wykonanych w Instytucie Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej zastosowano w różnorodnych urządzeniach mechanicznych, takich jak np. rozpraszacze energii i serwonapędy. Tłumiki magnetoreologiczne wykorzystuje się również do tłumienia drgań narzędzi w procesach skrawania metali, np. podczas wiercenia i wytaczania otworów o dużych średnicach. Dzięki temu w istotny sposób zwiększa się trwałość narzędzia oraz dokładność obróbki [2].

Obecnie prowadzi się intensywne prace nad szerokim wykorzystaniem tłumików magnetoreologicznych w medycynie, zwłaszcza w ortopedii. Szczególne zainteresowanie, a także już powszechne zastosowanie, dotyczy urządzeń pracujących na bazie cieczy MR we wszelkiego rodzaju protezach. Zaawansowane rozwiązanie konstrukcyjne protezy kończyny dolnej z wykorzystaniem tłumika magnetoreologicznego, czujników siły i mikroprocesora pokazano na rys. 13 [16].



Rys. 13. Proteza kończyny dolnej z wykorzystaniem tłumika magnetoreologicznego [16]

Inny przykład zastosowania tłumików magnetoreologicznych dotyczy stabilizatorów stawów łokciowego, kolanowego oraz skokowego. Możliwie wczesne, tuż po wykonanym zabiegu operacyjnym polegającym na zamocowaniu zewnętrznego stabilizatora, rozpoczęcie rehabilitacji stawu znacząco przyczynia się do skrócenia czasu umożliwiającego powrót chorego do normalnej aktywności zawodowej. Początek takiej aktywnej rehabilitacji jest możliwy, gdy obciążenie stawu jest odpowiednio kontrolowane i każdorazowo regulowane. Realizację takich zadań umożliwiają odpowiednio skonstruowane zewnętrzne stabilizatory, których obciążenie jest sterowane za pomocą tłumików magnetoreologicznych [2].

PODSUMOWANIE

Ciecze i tłumiki magnetoreologiczne charakteryzują się kontrolowaną i odwracalną zmianą właściwości reologicznych pod wpływem pola magnetycznego. W odróżnieniu od cieczy magnetoreolo-

gicznej pracującej powyżej granicy plastyczności, elastomery magnetoreologiczne pracują w zakresie sprężystym. Materiały te uzupełniają się nawzajem.

W literaturze tematu pojawia się bardzo dużo rozwiązań praktycznych i teoretycznych z zastosowaniem elastomerów magnetoreologicznych. W branży motoryzacyjnej zgłaszana jest duża liczba patentów wykorzystujących kompozyty magnetoreologiczne.

Właściwości mechaniczne elastomerów magnetoreologicznych predestynują je do tłumienia drgań. Mogą one znaleźć zastosowanie w nowatorskich tłumikach elastycznych ze zmienną charakterystyką.

Cały czas podejmowane są nowe prace badawczo-rozwojowe, których jednym z celów jest zastosowanie cieczy oraz elastomerów magnetoreologicznych. Liczbą publikacji jak i patentów w zakresie zastosowania tłumików magnetoreologicznych ciągle się zwiększa.

BIBLIOGRAFIA

1. Carlson J. D., *What makes a good MR fluid?*, *Proceedings of the Eighth International Conference, Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions*, 2001.
2. Bajkowski J., *Ciecze i tłumiki magnetoreologiczne*, Właściwości, budowa, badania, modelowanie i zastosowania, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa, 2014.
3. Skalski P., Dębek C., *Storage and loss modulus investigations of magnetorheological elastomers*, *Logistyka*, vol. 3, 2015.
4. Dębek C., Skalski P., *Wieloelastomerowe kompozyty magnetoreologiczne*, P-412907, 2015.
5. Saito K., Shimada M., *Magnetic viscous damper*, EP 2719918 A1, 2014.
6. Hiroyoshi T., *Automatic tensioner*, JP 2003035345A, 2003.
7. Carlson J.D., *Controllable medium device and apparatus utilizing same*, EP 1025373 B1, 2005.
8. Battlogg S., Elsensohn G., *Magnetorheological transmission apparatus*, US 20150247548 A1, 2015.
9. Gordaninejad F., Breese D., *Magneto-rheological fluid damper*, WO1998004846 A1, 1998.
10. Watson J., *Method and apparatus for varying the stiffness of a suspension bushing*, US 5609353 A, 1997.
11. Stewart W. et al., *Method and apparatus for reducing brake shudder*, US 5816587 A, 1998.
12. Li Y., Li J., Li W., Du H., *A state-of-the-art review on magnetorheological elastomer devices*, *Smart Materials and Structures* 23(12), 2014.
13. Skalski P., Skorupka Z., Harla R., Tywoniuk A., Dębek C., *Tłumik magnetoreologiczny*, P-419845, 2016.
14. Spencer B., Yang G., Carlson J., Sain M., *„Smart” dampers for seismic protection of structures: A full-scale study*, Second World Conference on Structural Control, Japan, June 28-July 1, 1998.
15. BWI Group.com, magnetorheological mounts (2013) <http://www.bwigroup.com/en/pshow.php?pid=26>; 31.10.2017r.
16. <http://robohub.org/icelands-ossur-wins-popsci-best-of-whats-new-award-for-symbionic-leg>; 31.10.2017r.

Magnetorheological dampers

Paper presents the magnetorheological dampers and their applications. The magnetorheological materials: magnetorheological fluids and elastomers are described. Then, the construction solutions of magnetorheological dampers are presented. In the next part of the paper, the applications of magnetorheological dampers are depicted. The paper ends with conclusions.

Autor:

dr **Paweł Skalski** – Instytut Lotnictwa w Warszawie, Centrum Transportu i Konwersji Energii, Zakład Transportu, pawel.skalski@ilot.edu.pl.