

Paweł Skalski

# Prototyp tłumika magnetoreologicznego

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.388

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule został omówiony aktualny stan wiedzy dotyczący tłumików magnetoreologicznych. Następnie zaprezentowano nowe rozwiązanie tłumika z elastomerem magnetoreologicznym, zastrzeżonego w Urzędzie Patentowym. Nowy prototyp tłumika magnetoreologicznego został opracowany w Instytucie Lotnictwa. Artykuł kończy się podsumowaniem.

**Słowa kluczowe:** prototyp, tłumik magnetoreologiczny, elastomer magnetoreologiczny.

## Wstęp

Ciągły postęp w dziedzinie materiałoznawstwa przyczynia się do powstawania nowych materiałów lub odkrywania nowych właściwości materiałów już znanych. Lata 80 dwudziestego wieku to początek gwałtownego wzrostu zainteresowania materiałami, które zaczęto nazywać inteligentnymi. W grupie tych materiałów znajdują się m.in. ciecze i elastomery magnetoreologiczne, które charakteryzują się tym, iż zmieniają swoje właściwości reologiczne pod wpływem działania pola magnetycznego. Te właściwości cieczy i elastomerów MR, znane są już ponad 50 lat, ale mogą być w pełni wykorzystane dopiero w dobie informatycznego sprzętu sterującego [1], [2].

Stale rosnące wymagania stawiane współczesnym urządzeniom i maszynom, a w szczególności konstrukcjom samochodowym i lotniczym coraz trudniej realizować w oparciu o klasyczne rozwiązania. 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 uszczelnienia, a także niebezpieczne dla środowiska substancje olejowe, a także ich waga oraz sedimentacja pyłu magnetycznego w cieczy.

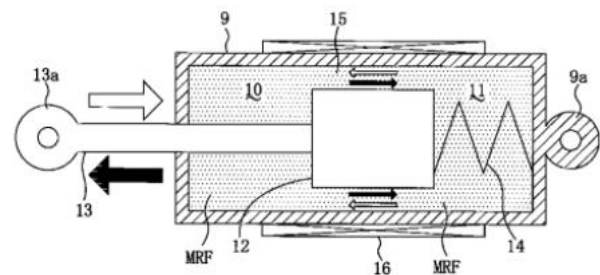
Elastomery magnetoreologiczne rozwiązują problem uszczelnienia oraz sedimentacji pyłu magnetycznego w cieczy. W swojej podstawowej formie elastomery magnetoreologiczne są zbudowane z dwóch elementów: niemagnetycznej, polimerowej matrycy oraz rozmieszczonych w niej cząstek aktywnych magnetycznie. Dzięki usieciowanej strukturze osnowy, elementy wypełnienia magnetycznego nie mogą się w niej swobodnie przemieszczać. Nie występuje zatem zjawisko sedimentacji. Z powodu ograniczonych ruchów cząstek, odpowiedź materiału na przyłożenie pola magnetycznego (efekt magnetoreologiczny) może być, choćby nieznacznie, szybsza niż w cieczach MR, nawet poniżej 10 milisekund [3], [4].

Tłumiki z elastomerem magnetoreologicznym mogą zastąpić stosowane obecnie rozwiązania, lub uzupełnić o nowe. Producenci statków powietrznych jak i pojazdów poszukują nowych rozwiązań absorpcji i rozpraszania energii, które mogą poprawić bezpieczeństwo użytkownika lub operatora w warunkach pracy. Celem pracy jest przedstawienie nowego prototypu tłumika z elastomerem magnetoreologicznym. Kolejno opracowano aktualny stan wiedzy (State of the Art.) dotyczący rozwiązań konstrukcyjnych tłumików magnetoreologicznych, a następnie przedstawiono prototyp tłumika magnetoreologicznego opracowanego w Instytucie Lotnictwa.

## 1.State of the Art

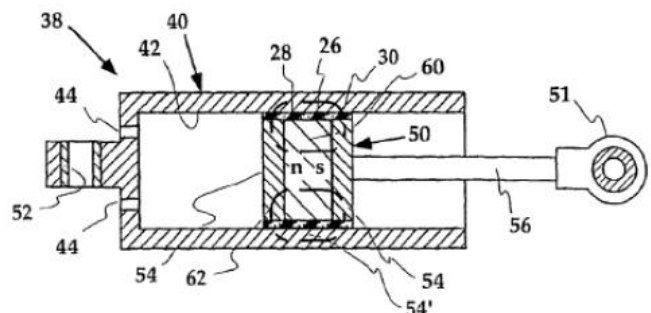
Aktualnie znanych jest wiele rozwiązań tłumików z substancją magnetoreologiczną, którą jest ciecz magnetoreologiczna. Takie rozwiązanie jest przykładowo ujawnione w opisie patentowym EP2719918 A1 [5], w którym amortyzator zawiera tłok, cylinder, oraz ciecz magnetoreologiczną MRF, gdzie magnes trwały 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.



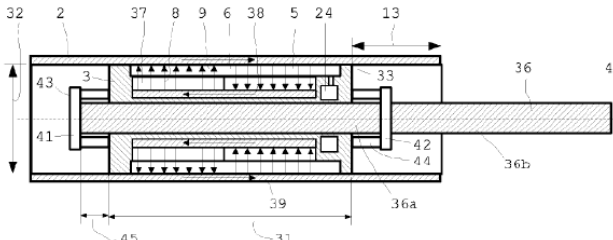
Rys. 1. Tłumik z cieczą magnetoreologiczną [6]

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.



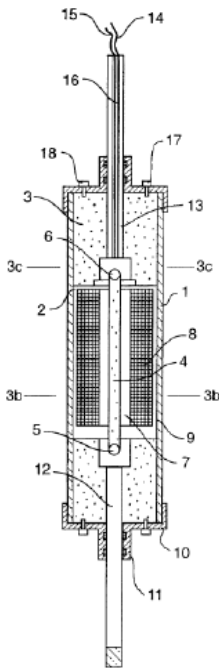
Rys. 2. Tłumik magnetoreologiczny [7]

W publikacji US20150247548 [8] ujawniono amortyzator (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. Amortyzator z cieczą magnetoreologiczną [8]

W publikacji WO9804846 [9] ujawniono amortyzator (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.

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 we-

wnętrzna 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 sztywność kompozytu magnetoreologicznego.

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. Sztywność kompozytu zmienia się przez regulowanie natężenia prądu płynącego w cewce nawiniętej na warstwie elastomeru.

W publikacji [12] ujawniono konstrukcję amortyzatora, w której materiał elastomeru MR osadowiony jest na końcu trzpienia w cylindrze. W pewnej odległości od zewnętrznych ścianek cylindra znajduje się otaczający cylinder magnesu stałego, który jest z kolei umieszczony na powierzchni osadzonego nieruchomo (na ściance zewnętrznej tulei) elektromagnesu. Dodatkowo, w tej samej publikacji, przedstawiono konstrukcję amortyzatora zawierającego elastomer magnetoreologiczny osadowiony na trzpieniu tłoka, przy czym na ściankach wewnętrznych cylindra umieszczony jest elektromagnes.

## 2. Nowy prototyp tłumika magnetoreologicznego

W grudniu 2016r. Instytut Lotnictwa złożył do Urzędu Patentowego w Polsce zgłoszenie patentowe P-419845 [13]. W nowej konstrukcji tłumika zastosowano elastomer magnetoreologiczny. Konstrukcja przedstawionego poniżej prototypu tłumika magnetoreologicznego (rys. 5) jest kontynuacją pracy nad tłumikiem z elastomerem magnetoreologicznym realizowanej w Instytucie Lotnictwa w ramach prac statutowych.

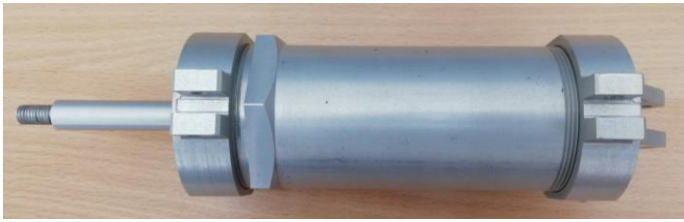
Zgodnie z rys. 8 prototyp tłumika magnetoreologicznego to urządzenie, które obejmuje korpus 1, umieszczony wewnątrz niego tłoczek 4 wraz z nakrętką 8, tulejką 9, podkładką 10. Na powierzchni tłoczyska 4 osadzony jest elastomer magnetoreologiczny 2 (2 sztuki). Tłumik zawiera dwie nakrętki 6 oraz 7, montowane do korpusu 1. Magnesy stałe 12 umieszczone są w wewnętrznej powierzchni cylindra 1. Alternatywnie można zastosować jako elementy źródła pola magnetycznego cewki elektromagnetyczne. Magnesy stałe 12 wytwarzają pole magnetyczne, które oddziałuje na elastomer magnetoreologiczny 2, zmieniając jego właściwości reologiczne. Wytworzone przez magnesy stałe pole magnetyczne działa na elastomer magnetoreologiczny 2 tak, że przyciąga go z siłą powodującą wzrost siły docisku (w obszarze oddziaływania magnetycznego) między powierzchnią wewnętrzną korpusu 1 i powierzchnią elastomeru 2. Siła potrzebna do wsuwania i wysuwania tłoczyska 4 jest wynikiem tych oddziaływań oraz współczynnika tarcia między elastomerem 2 a powierzchnią wewnętrzną korpusu 1. Sterowanie parametrami tłumika odbywa się przez pole magnetyczne generowane przez magnesy stałe 12, działające na elastomer 2. W konstrukcji tłumika znajduje się również tuleja 5, w której osadzone są magnesy stałe 12. Pierścień teflonowy 11 zapewnia pozycjonowanie tłoczyska 4 w tulei 5. Podkładka 10 eliminuje luz między elastomerami.

W konstrukcji wykorzystano:

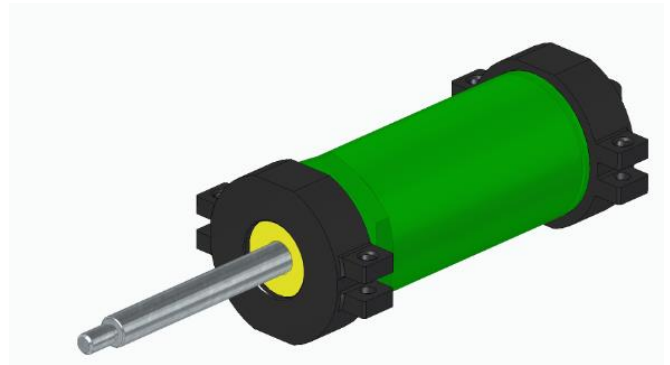
- 8 szt. magnesów neodymowych, w tym 4 szt. z biegunami N-S oraz 4 szt. z biegunami S-N,
  - wielofazowy kompozyt magnetoreologiczny o oznaczeniu 6M.
- Części i materiały zostały poprawnie wykonane, a konstrukcja tłumika wyróżnia się dużą sztywnością.

Widok złożonego prototypu tłumika magnetoreologicznego został przedstawiony na rys. 5.

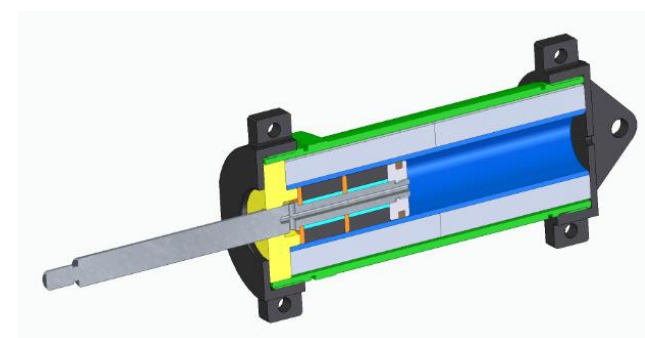
Model geometryczny 3D prototypu tłumika przedstawiono na rys. 6 (przekrój) oraz na rys. 7 (widok).



Rys. 5. Widok prototypu tłumika z elastomerem wielofazowym

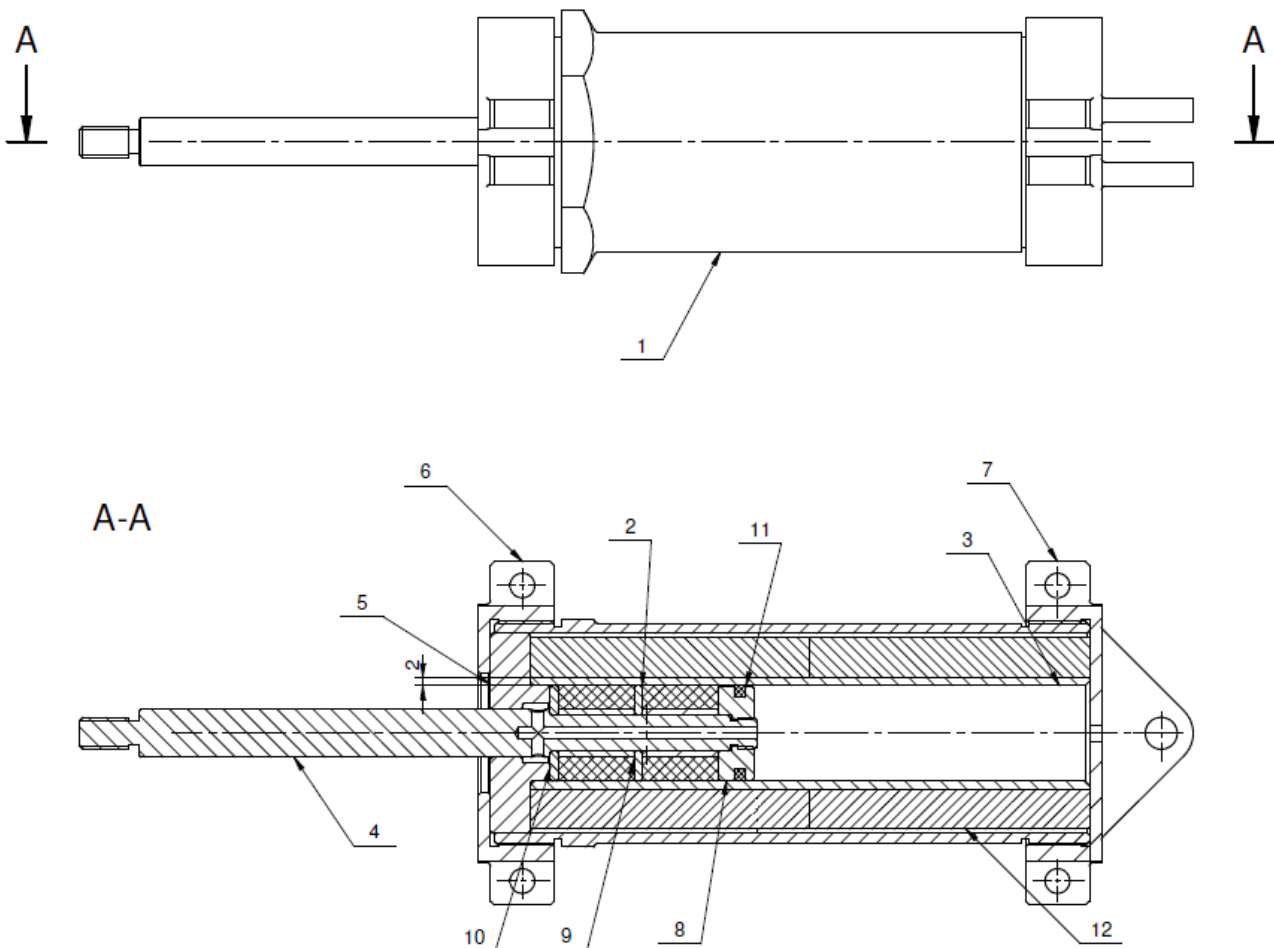


Rys. 7. Model 3D tłumika magnetoelastycznego (widok)



Rys. 6. Model 3D tłumika magnetoelastycznego (przekrój)

Prezentowane rozwiązanie tłumika magnetoelastycznego nie wymaga zewnętrznego zasilania prądowego. Elastomery magnetoelastyczne mają znacznie krótszą historię niż cieczy magnetoelastyczne, przez co także ustępują im w ilości aplikacji przemysłowych. Jednakże prowadzone są intensywne prace badawczo-rozwojowe nad elastomerami magnetoelastycznymi jak i zastosowaniem elastomerów magnetoelastycznych w tłumikach czy też wibroizolatorach. Prace badawczo-rozwojowe nad nowym rozwiązaniem tłumika magnetoelastycznego wciąż trwają.



Rys. 8. Schemat konstrukcyjny tłumika z elastomerem magnetoelastycznym: 1- korpus, 2 – elastomer wielofazowy; 3 – tuleja główna; 4 – tłoczyko; 5 – tuleja; 6 – nakrętka przednia; 7 – nakrętka z uszami; 8 – nakrętka; 9 – tulejka; 10 – podkładka; 11 – pierścień teflon; 12 – magnes

## Dyskusja i podsumowanie

Proponowane rozwiązanie konstrukcyjne tłumika magnetoreologicznego jest kontynuacją dotychczasowych osiągnięć naukowych i badawczych jakie zostały wykonane wcześniej, w ramach realizacji własnych prac statutowych w Instytucie Lotnictwa. W konstrukcjach inżynierskich, które są związane z bardzo różnymi dziedzinami działań technicznych, możliwość zmian charakterystyk urządzeń tłumiących, odgrywa ważną rolę, zarówno w procesach pochłaniania i rozpraszania energii. Końcowym efektem realizacji prac badawczych będzie opracowanie rodziny bardzo nowoczesnych, spełniających wielokryterialne warunki optymalizacji, prototypów tłumików elastomerowych z materiałem magnetoreologicznym, które znaleźć mogą zastosowanie w bardzo wielu rozwiązaniach, w szczególności w przemyśle lotniczym, a być może także w innych dziedzinach techniki.

W zakresie naukowo-badawczym (teoretycznym) prace nad prototypem tłumika mają zasięg międzynarodowy, ponieważ są realizowane przez renomowaną i uznaną na arenie międzynarodowej jednostkę naukowo-badawczą, pod kierunkiem kadry naukowej o ustalonej renomie. Wyniki prac badawczych są skierowane do odbiorcy polskiego, ale również do zagranicznego. Rezultaty badań mogą znaleźć komercyjne zastosowanie w przemyśle.

W wielu ośrodkach uniwersyteckich, w tym również w Polsce, trwają intensywne prace nad wdrożeniem do praktyki eksploatacji tłumików magnetoreologicznych w celu zmniejszenia siły odrzutu działającej na ramię żołnierza podczas strzelania z broni małokalibrowej. W efekcie wpływa to na poprawę celności broni. W Politechnice Warszawskiej jest realizowanych wiele prac dotyczących tłumików magnetoreologicznych, w których konstruuje się nowe rozwiązania tłumików z cieczą magnetoreologiczną, jak również poszukuje się aplikacji dla nowych rozwiązań, takich jak stabilizatory czy urządzenia do rehabilitacji. Wiele urządzeń magnetoreologicznych zaprojektowanych i wykonanych w Instytucie Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej zastosowano w różnorodnych urządzeniach mechanicznych, takich jak np. pochłaniacze 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. W budowie maszyn przeznaczonych do mechanizacji prac budowlanych tłumiki magnetoreologiczne spełniają rolę eliminatorów drgań lemieszki koparek, a także wysięgników sterowanych hydraulicznie. 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.

Tłumiki z elastomerem wielofazowym mogą zastąpić stosowane obecnie rozwiązania, lub uzupełnić o nowe innowacyjne rozwiązania wykorzystujące nowoczesne technologie materiałowe. Producentom pojazdów i statków powietrznych poszukują nowych rozwiązań absorpcji i rozpraszania energii, które mogą poprawić bezpieczeństwo użytkownika lub operatora w warunkach pracy.

Proponowane nowe rozwiązanie tłumika magnetoreologicznego będzie przydatne w aplikacyjnym rozwiązywaniu problemów drganiowych, w szczególności drgań shimmy. Przewiduje się, że zaprojektowanie, przebadanie i późniejsze wprowadzenie do eksploatacji nowatorskich, wysoko innowacyjnych tłumików pozwoli podnieść poziom bezpieczeństwa środków transportu.

Biorąc pod uwagę obecny stan techniki, proponowane w artykule rozwiązanie jest oryginalne przez zastosowanie nowego rodzaju elastomeru, oraz wykorzystanie magnesów stałych do strojenia pracy tłumika bez stosowania cewek elektromagnetycznych oraz zewnętrznego źródła prądowego.

Przydatność aplikacyjna proponowanych rozwiązań tłumików zostanie potwierdzona rezultatami badań eksperymentalnych, które powinny być rozdzielone na grupę badań, które dotyczą elementów składowych tłumika oraz badania dotyczące finalnych konstrukcji prototypów tłumików elastomerowych z materiałem magnetoreologicznym. Badania pozwolą określić optymalne parametry pracy tłumika.

## 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.

## Prototype of a magnetorheological damper

Paper discussed the State of the Art focused on magnetorheological dampers. Then the new construction solution of a damper with a magnetorheological elastomer was presented. The magnetorheological damper was designed in the Institute of Aviation and was intellectually protected in the Polish Patent Office. The article ends with conclusions.

**Keywords:** prototype, magnetorheological damper, magnetorheological elastomer.

## Autor:

dr inż. **Paweł Skalski** – Instytut Lotnictwa, Centrum Transportu i Konwersji Energii, Zakład Transportu, pawel.skalski@gmail.com