

# Haptyczny interfejs asystujący z cieczą MR

Paweł Bachman, Piotr Gawłowicz

Politechnika Poznańska\*, Uniwersytet Zielonogórski

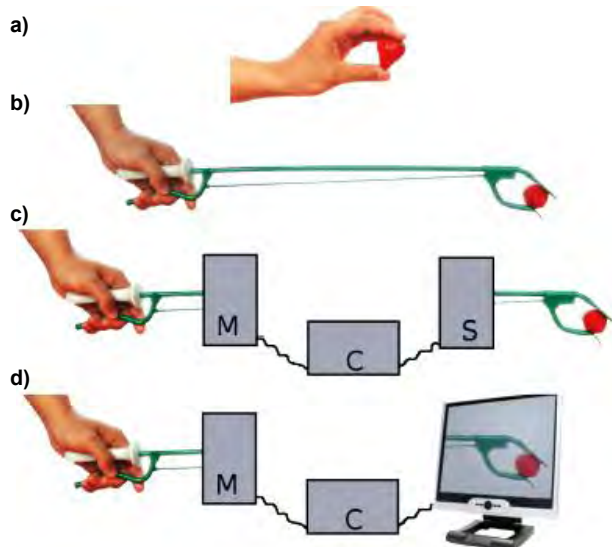
**Streszczenie:** W artykule opisano układy sterowania z zastosowaniem urządzeń dotykowych oraz podstawowe właściwości cieczy magnetoreologicznych. Przedstawiono wyniki badań zależności momentu hamującego od prądu płynącego przez cewki hamulca magnetoreologicznego dżojstika. Końcową część artykułu stanowi opis budowy i sposobu badań elektrycznego napędu liniowego z silnikiem prądu stałego, sterowanego przy pomocy dżojstika dotykowego z obrotowym hamulcem magnetoreologicznym.

**Słowa kluczowe:** urządzenia dotykowe, sterowanie, siłowe sprzężenie zwrotne, ciecz magnetoreologiczna

## 1. Wprowadzenie

Urządzenia dotykowe (ang. *haptic devices*) służą do przekazywania bodźców dotykowych ze sterowanego obiektu do użytkownika. Bodźcem tym może być np. siła, kształt lub masa itp. [1–3].

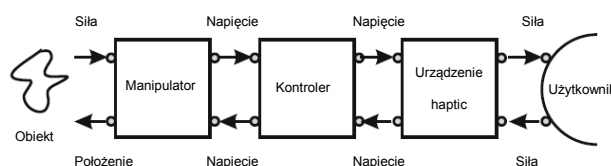
Formy interakcji człowieka z przedmiotem za pomocą zmysłu dotyku opisano w publikacji [5]. Pierwszą z nich (rys. 1a) jest kontakt bezpośredni, podczas którego człowiek dotyka przedmiot ręką. W przypadku drugim (rys. 1b) następuje kontakt pośredni, poprzez narzędzie. Możliwy jest też kontakt poprzez narzędzie, lecz na odległość (rys. 1c), za pośrednictwem sterowników chwytaka (*S – slave*) oraz uchwyty (*M – master*) oraz specjalnego kontrolera (*C*). Taki typ kontaktu nazywany jest teleoperacją. W ostatnim przypadku (rys. 1d) widoczny jest przedmiot oraz chwytak zamodelowany na ekranie komputera. Taki rodzaj kontaktu nazywany jest pracą w wirtualnej rzeczywistości.



Rys. 1. Różne formy interakcji za pomocą dotyku [5]

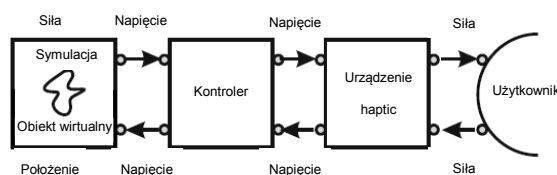
Fig. 1. Different forms of interaction through sense of touch

Schemat blokowy układu sterowania odpowiadający sytuacji z teleoperacją (rys. 1c) pokazany jest na rys. 2. Na rys. 3 przedstawiony jest schemat blokowy układu do współpracy z wirtualną rzeczywistością (jak na rys. 1d).



Rys. 2. Schemat interfejsu haptic w teleoperatorze [5]

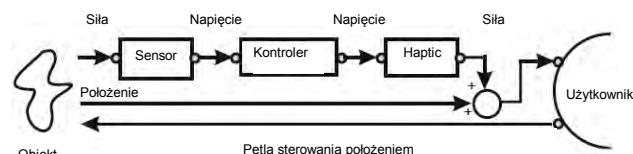
Fig. 2. Diagram of the haptic interface for teleoperator



Rys. 3. Schemat interfejsu haptic współpracującego z wirtualną rzeczywistością [5]

Fig. 3. Diagram of the haptic interface for virtual reality

W publikacji [5] opisano jeszcze jeden możliwy układ pracy interfejsu dotykowego. Jest to tzw. układ dotykowy asystujący, który zbudowany jest na bazie zwykłego układu regulacji (np. położeniem) z dodatkowym sygnałem informującym o sile, na jaką napotyka sterowane urządzenie, pochodzącym np. z siłowego sprzężenia zwrotnego (rys. 4). Właśnie taki układ zostanie zastosowany do sterowania napędem prądu stałego z przekładnią liniową, opisany w artykule.



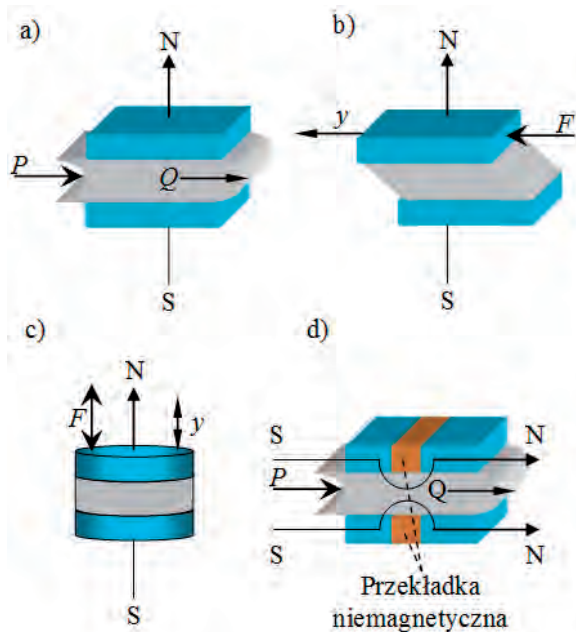
Rys. 4. Schemat asystującego interfejsu haptic [5]

Fig. 4. Diagram of assistant haptic interface

## 2. Układy z cieczą MR

Wyróżnia się cztery modele pracy układów z cieczą MR [4, 7, 9, 11, 12].

Model zaworowy (ang. *valve mode*), w którym ciecz przepływa przez wąską szczelinę (rys. 5a), a poprzeczne pole magnetyczne przez zmianę naprężenia stykowego cieczy hamuje ten przepływ.



Rys. 5. Modele pracy cieczy MR: a) model zaworowy; b) model sprzęgłowy; c) ze ściskaniem cieczy; d) zaciskowy

Fig. 5. Operation modes of MR fluid: a) valve mode; b) direct shear mode; c) squeeze mode; d) pinch mode

Model sprzęgłowy (ang. *direct shear mode*), w którym ciecz MR umieszczona jest między dwoma płaszczyznami, z których jedna jest nieruchoma, a druga przesuwa się w płaszczyźnie równoległej (rys. 5b). Ciecz MR poddawana jest w tym przypadku ścinaniu.

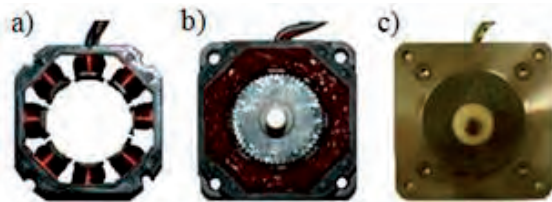
Model ze ściskaniem (rozciąganiem) cieczy (ang. *squeeze mode*) (rys. 5c), w którym ciecz umieszczona jest między dwoma zbliżającymi się do siebie bądź oddalającymi się płaszczyznami.

Model zaciskowy (ang. *pinch mode*) (rys. 5d), w którym, podobnie jak w modelu zaworowym, ciecz przepływa przez wąską szczelinę, z tym że linie pola magnetycznego skierowane są w tym wypadku równoległe do kierunku przepływu. Na skutek zastosowania przekładki niemagnetycznej linie pola zamykają się przez ciecz MR powodując zmniejszenie średnicy przewodu i hamowanie przepływu.

W hamulcu magnetoreologicznym zastosowanym do budowy badanego dźwojstika wykorzystywany jest model sprzęgłowy (rys. 5b).

### 3. Badanie hamulca MR

Do budowy dźwojstika użyto hamulec MR (rys. 6). Po wypełnieniu przestrzeni między cewkami (rys. 6a) masą uszczelnia-

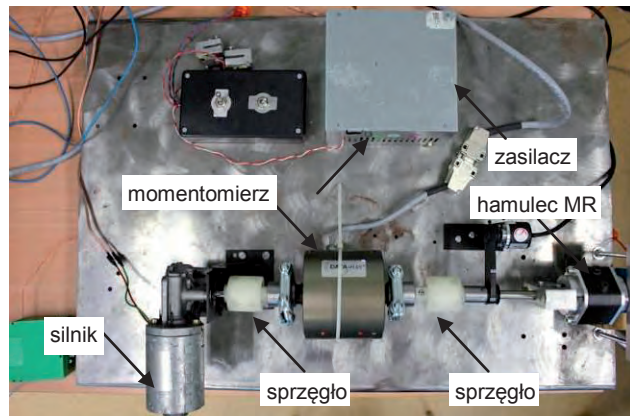


Rys. 6. Budowa hamulca MR: a) widok cewek, b) wnętrze hamulca, c) widok zewnętrzny

Fig. 6. Construction of MR Brake: a) view of the coils, b) the interior of the brake, c) exterior view

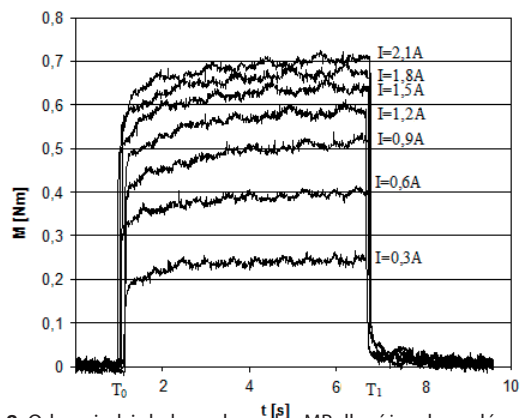
jącą wirnik umieszczono w stojanie (rys. 6b) i zalano cieczą MR, na osi umieszczono po obu stronach oringi uszczelniające i po uszczelnieniu połączenia między korpusem a pokrywką skrócono obie części śrubami.

Badania wykonano na stanowisku wyposażonym w optyczny momentomierz dynamiczny firmy KTR DATA-FLEX 22/20. Widok stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Widok stanowiska pomiarowego

Fig. 7. View of measuring stand



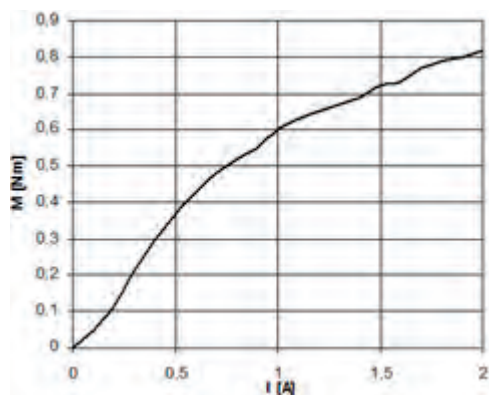
Rys. 8. Odpowiedzi skokowe hamulca MR dla różnych prądów

Fig. 8. MR brake step response for different currents

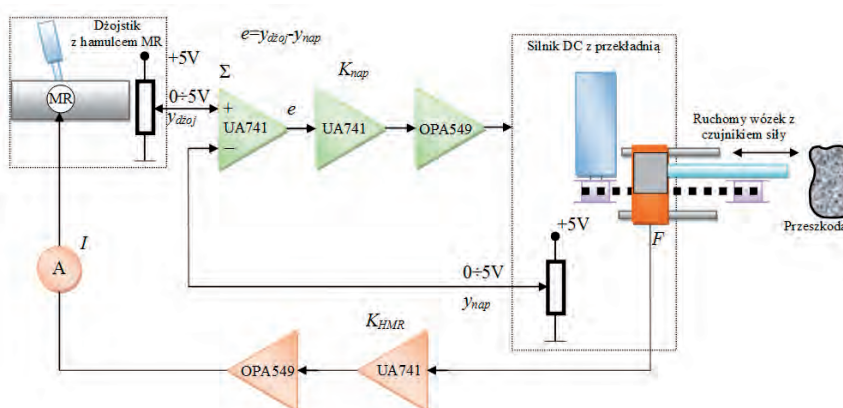
Pomiary wykonywane były przy pomocy komputera PC z kartą RT-DAC. Częstotliwość próbkowania 100 sampli/s. Czas  $T_0$  odpowiadał włączeniu hamulca,  $T_1$  – wyłączeniu (rys. 8). Maksymalna wartość momentu hamującego, jaką można otrzymać dla poszczególnych prądów jest nieco większa (rys. 9), ponieważ odczyt odbywał się dopiero po nasyceniu się układu i ustabilizowaniu wartości momentu, co miało miejsce po znacznie dłuższym czasie (około 20 s), niż pokazany na rys. 8. W dźwojstiku, aby zwiększyć moment hamujący zastosowano przekładnię zębatą zwiększającą moment trzykrotnie.

### 4. Opis budowy stanowiska badawczego

Na rys. 10 przedstawiono uproszczony schemat elektryczny stanowiska. Składa się on z dwóch układów. Pierwszy z nich to układ sterowania położeniem napędu, w skład którego wchodzi potencjometry pomiaru położenia dźwojstika  $y_{dźwoj}$



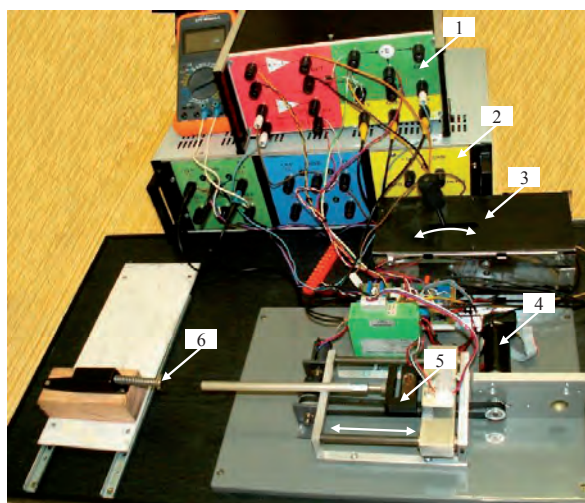
Rys. 9. Zależność momentu hamującego hamulca od prądu  
 Fig. 9. The brake braking torque from current dependence



Rys. 10. Uproszczony schemat elektryczny stanowiska  
 Fig. 10. Simplified electrical diagram of the measuring system

i napędu elektrycznego  $y_{nap}$ , sumator wytwarzający uchyb regulacji ( $\mu A741$ ), regulator proporcjonalny ( $\mu A741$ ) oraz operacyjny wzmacniacz mocy sterujący silnikiem DC (OPA549).

Drugi układ odpowiada za sterowanie hamulcem MR. Składa się on z czujnika siły umieszczonego na ruchomym elemencie napędu elektrycznego oraz regulatora proporcjonalnego ( $\mu A741$ ) i operacyjnego wzmacniacza mocy



Rys. 11. Widok stanowiska badawczego  
 Fig. 11. View of the research station

(OPA549) sterującego napięciem podawanym na cewki hamulca MR.

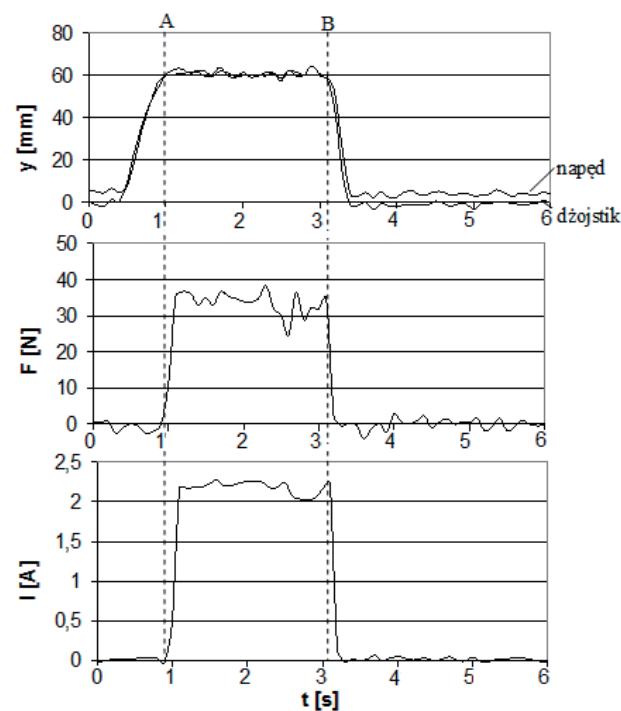
Widok stanowiska z dźwojstkiem 3 i badanym napędem 4 przedstawiono na rys. 11. Silnik DC z przekładnią, poprzez koło pasowe porusza w nim „wózek” umieszczony na prowadnicach. Na wózku tym zamontowany jest czujnik siły z końcówką 5 uderzający w przeszkodę 6. Wzmacniacze mocy umieszczone są w obudowie 1 a zasilacz w 2.

## 5. Badania napędu DC z asystującym interfejsem haptic

Podobnie jak w pkt. 3 pomiary wykonywane były przy pomocy wejść analogowych karty RT-DAC z programem MATLAB. Sygnałami mierzonymi były napięcie wejściowe (przeliczone w programie na prąd), siła oraz położenie dźwojstka i napędu elektrycznego. Mierzone wartości zapamiętywano w postaci danych tekstowych w pamięci programu MATLAB, a następnie eksportowano do arkusza obliczeniowego Excel. Badania wykonano dla trzech różnych rodzajów obciążenia.

### 5.1. Badanie zderzenia napędu z przeszkodą stałą

W tym przypadku (rys. 12) widać, że napęd porusza się do momentu, aż uderzy w przeszkodę (linia przerywana A). Wtedy zatrzymuje się, a czujnik siły wytwarza napięcie, które po przejściu przez regulator podawane jest na cewki hamulca MR powodując blokadę dźwoj-



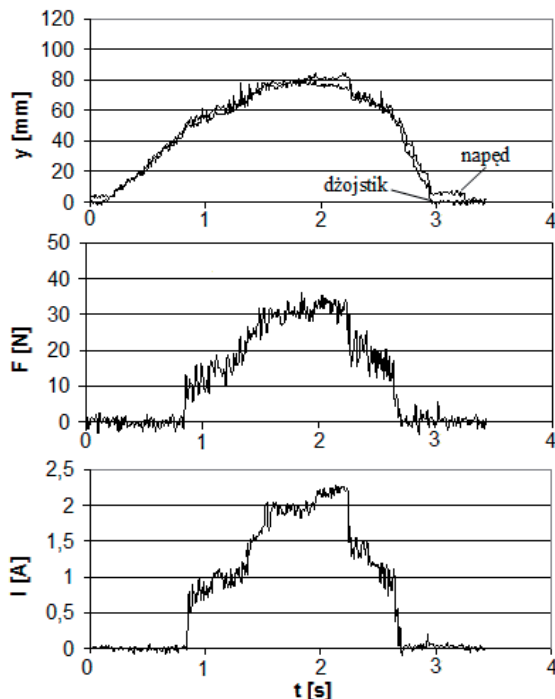
Rys. 12. Przebiegi w układzie podczas zderzenie napędu z przeszkodą stałą

Fig. 12. Courses in the system during the drive collision with the constant obstacle

stika. W momencie cofnięcia dźwistika (linia przerywana B), siła maleje i możliwe jest dalsze poruszanie dźwistkiem.

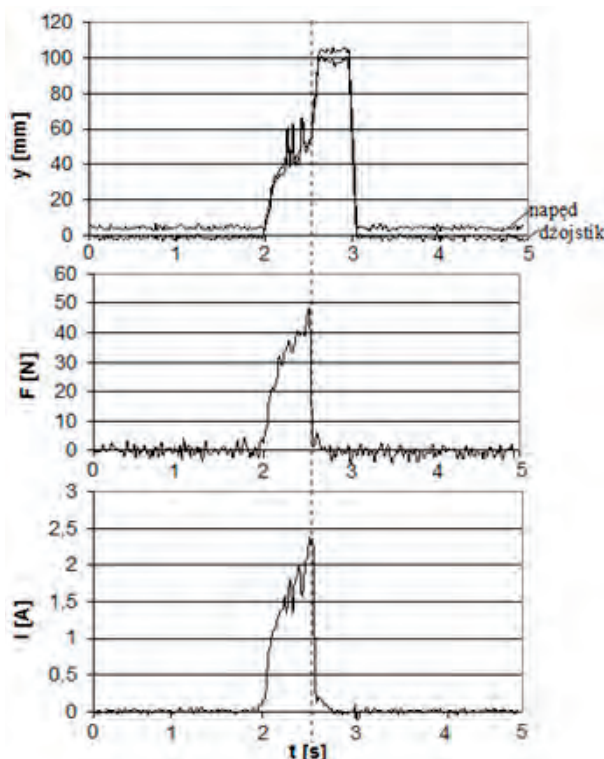
## 5.2. Badanie ściskania sprężyny

W przypadku, gdy napęd ścisną sprężynę (rys. 13) prąd płynący przez cewki hamulca MR jest proporcjonalny do siły nacisku, a osoba sterująca dźwistkiem wyczuwa narastającą



Rys. 13. Przebiegi w układzie podczas ściskania sprężyny

Fig. 13. Courses in the system during the springs compression



Rys. 14. Przebiegi w układzie podczas rozrywania materiału

Fig. 14. Courses in the system during the rupture of the material

cy opór. W momencie cofnięcia dźwistika siła zmniejsza się, a opór dźwistika stopniowo maleje.

## 5.3. Badanie procesu przerywania materiału

W trzecim przypadku końcówka napędu miała za zadanie rozerwać folię (rys. 14). W związku z tym, że jest to materiał elastyczny, w początkowej fazie zrywania folia rozciągała się i stawiała spory opór. Wyczuwalne to było jako wzrost siły hamującej dźwistka. W momencie przerywania (zaznaczone linią przerywaną) siła i prąd płynący przez hamulec MR zmalały do zera, a osoba sterująca przestała wyczuwać opór.

## 6. Podsumowanie

Mimo, że zbudowane urządzenie posiada niewielkie wady: np. silnik nie osiąga precyzyjnie położenia zadanego (np. rys. 12), podczas ściskania sprężyny oraz rozrywania występują w napędzie oscylacje, spowodowane zastosowaniem do sterowania prostego regulatora (rys. 13, rys. 14), z powyższych badań można wywnioskować, że zbudowane na bazie hamulca MR półaktywne urządzenie dotykowe nadaje się do przekazywania operatorowi sił występujących w układzie za pomocą zmysłu dotyku. Obecnie prowadzone są prace badawcze nad budową aktywnych urządzeń dotykowych mogących znaleźć zastosowanie do sterowania w szerokiej gamie układów, zarówno elektrycznych jak i elektrohydraulicznych.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2012 jako projekt badawczy „Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do nadzorowania pracy urządzeń mechatronicznych z napędami elektrohydraulicznymi sterowanymi bezprzewodowo”.

## Bibliografia

1. Bachman P., Chciuk M.: *Zastosowanie cieczy magneto-reologicznych w urządzeniach dotykowych*. Seminarium naukowo-techniczne – TECHNICON '05: targi nauki i techniki, Gdańsk 2005.
2. Bachman P.: *Zastosowanie dźwistka dotykowego z cieczą magneto-reologiczną do sterowania wirtualnego modelu napędu hydraulicznego*. „Pomiary, Automatyka Robotyka”, no 2, Warszawa 2008.
3. Chciuk M.: *Sterowanie ramieniem robota przy pomocy wielosiowego dźwistka dotykowego z cieczą magneto-reologiczną i siłowym sprzężeniem zwrotnym*. „Pomiary Automatyka Robotyka” no 2, Warszawa 2008.
4. Heinonen J.: *Preliminary Study of Modelling Dynamic Properties of Magnetorheological Fluid Damper*. online [www.vtt.fi].
5. Kern T. A.: *Engineering – Haptic devices*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
6. Klomp F.M.: *Haptic Control for Dummies: An introduction and analysis*. Master's Thesis, Eindhoven, August, 2006.
7. Lewandowski D.: *Właściwości tłumiące kompozytów magneto-reologicznych. Badania, modele, identyfikacja*.

- kacja*. praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2005.
8. Milecki A.: *Liniowe serwonapędy elektrohydrauliczne*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2003.
  9. Milecki A., Ławniczak A.: *Ciecze elektro- i magnetoreologiczne oraz ich zastosowania w technice*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
  10. Milecki A.: *Wybrane metody poprawy właściwości liniowych serwonapędów elektrohydraulicznych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
  11. Myszkowski A.: *Konstrukcja i badania hamulca wahadłowego z cieczą magnetoreologiczną*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 2007.  
[www.lord.com] – LORD Corporation – Adhesives, Coatings, Vibration and Motion Control, and Magnetically Responsive Technologies. ■

### Haptic assisting interface with the MR fluid

**Abstract:** The paper control systems using haptic devices and the basic properties of magneto-rheological fluids described. The study braking torque depending of current flowing through the magnetorheological brake coil are presented. The final part of the article construction and testing of electric linear actuator with DC motor controlled with a haptic joystick with magnetorheological rotary brake described.

**Keywords:** haptic device, control, force feedback, magnetorheological fluid

### mgr inż. Paweł Bachman

Asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: mechatronika, sterowanie. Jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.

*e-mail:* P.Bachman@eti.uz.zgora.pl



### dr Piotr Gawłowicz

Starszy wykładowca Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: robotyka, mechatronika, sztuczna inteligencja.

*e-mail:* P.Gawłowicz@eti.uz.zgora.pl

