

Elżbieta ZIĄBSKA<sup>1</sup>  
Zbigniew KĘSY<sup>1</sup>

## **CIECZ ELEKTROREOLOGICZNA JAKO CIECZ ROBOCZA SPRZĘGŁA HYDRAULICZNEGO**

W artykule rozważono problemy, jakie mogą pojawić się podczas eksploatacji sprzęgieł hydraulicznych z cieczami o sterowanych właściwościach reologicznych, skupiając się na małej powtarzalności reakcji cieczy elektoreologicznej na pole elektryczne, a następnie przedstawiono wyniki badań sprzęgła wiskotycznego z cieczą elektoreologiczną, dotyczące tej powtarzalności.

### **1. WSTĘP**

Jednym z kierunków prac badawczo–rozwojowych dotyczących maszyn i pojazdów stosowanych w budownictwie i górnictwie skalnym jest doskonalenie konstrukcji ich podzespołów, takich jak sprzęgła, hamulce czy przekładnie. W sprzęgłach hydraulicznych postęp dokonuje się w zakresie cieczy hydraulicznych. Coraz częściej, jako ciecze hydrauliczne są stosowane ciecze, których właściwości reologiczne mogą być sterowane za pomocą prądu elektrycznego.

Ciecze o sterowanych właściwościach reologicznych, nazywane potocznie cieczami inteligentnymi, dzieli się na ciecze elektoreologiczne, reagujące na obecność pola elektrycznego oraz ciecze magnetoreologiczne, reagujące na obecność pola magnetycznego [1],[2],[3]. Ciecze o sterowanych właściwościach reologicznych, stosowane w technice, są mieszaninami dwufazowymi: cząstek stałych i cieczy bazowej. Cząstki stałe mają średnicę do kilku mikrometrów i są wykonane, w przypadku cieczy elektoreologicznych, z materiałów polaryzujących się pod wpływem pola elektrycznego, a w przypadku cieczy magnetoreologicznych, z materiałów o właściwościach ferromagnetycznych. Są też ciecze ferromagnetyczne, których cząstki stałe, otrzymane z  $Fe_3O_4$ , mają średnicę kilku nm. Jako ciecz bazowa najczęściej stosowany jest olej silikonowy. Ciecze te zawierają również różnego rodzaju dodatki, między innymi zapobiegające sedymentacji i łączeniu się cząstek

---

<sup>1</sup> Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny,  
im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

stałych, dzięki czemu mogą być stosowane w szerokim zakresie temperatur i przy znacznych przyspieszeniach w kanałach i szczelinach przepływu.

W wyniku oddziaływania pola magnetycznego na ciecz magnetoreologiczną lub pola elektrycznego na cieczy elektroteologiczną pojawiają się, oprócz wywieranego ciśnienia, dodatkowe naprężenia styczne.

Wzrost naprężenia stycznego w cieczy o sterowanych właściwościach reologicznych pod wpływem działania pola elektrycznego lub magnetycznego uzasadnia się tworzeniem przez cząstki stałe struktur przestrzennych, utrudniających przepływ mieszaniny. Możliwy do uzyskania zakres zmian naprężeń stycznych, na które można wpływać za pomocą prądu elektrycznego przez wytworzenie jednego z pól fizycznych, pozwala na ponad stukrotną, precyzyjną i ciągłą zmianę momentów obrotowych przenoszonych przez sprzęgła.

W sprzęgłach z cieczami elektroteologicznymi, w celu wytworzenia pola elektrycznego, z reguły stosuje się elektrody, będące jednocześnie elementami części napędzającej i napędzanej sprzęgła. Natomiast, by wytworzyć pole magnetyczne w sprzęgłach z cieczami magnetoreologicznymi konieczne jest stosowanie dodatkowych elektromagnesów. Z tych powodów sprzęgła z cieczami elektroteologicznymi mają znacznie prostszą budowę. Wadą tych sprzęgieł są ich większe wymiary, w porównaniu ze sprzęgłami z cieczami magnetoreologicznymi, wynikające z faktu, iż maksymalne wartości naprężeń stycznych, możliwe do uzyskania podczas sterowania, są kilkakrotnie większe w cieczach magnetoreologicznych niż w cieczach elektroteologicznych.

Do chwili obecnej opracowano i zbadano szereg sprzęgieł i hamulców wykorzystujących cieczy elektroteologiczne lub magnetoreologiczne jako cieczy robocze [4-16]. Jednak w praktyce sprzęgła takie są stosowane sporadycznie [17], toteż brak jest doświadczeń wynikających z ich eksploatacji.

## 2. PROBLEMY ZWIĄZANE Z EKSPLOATACJĄ SPRZĘGIEŁ Z CIECZAMI ELEKTROREOLOGICZNYMI

Dotychczasowe prace badawczo-rozwojowe, mające na celu zastosowanie cieczy elektroteologicznych lub magnetoreologicznych jako cieczy roboczych w sprzęgłach hydraulicznych, skupiały się głównie na doborze właściwości elektrycznych i reologicznych cieczy oraz poszukiwaniu optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych sprzęgieł. Dla przykładu, rozważano zastosowanie na cząstki stałe cieczy elektroteologicznych różnych materiałów organicznych (skrobia, celuloza, polianilina, kauczuk) czy nieorganicznych (szkło, krzemionka, tlenki metali, polimery) oraz wykorzystanie różnych cieczy (nafta, parafina, oleje roślinne, oleje mineralne). W wyniku tych badań wytworzono, między innymi, ciecz elektroteologiczną, w której nie zachodzi zjawisko sedymentacji, gdyż obie fazy cieczy elektroteologicznej mają ten sam ciężar właściwy [18]. Konstruując sprzęgła, brano pod uwagę różne rodzaje sprzęgieł (sprzęgła wiskotyczne, sprzęgła hydrokinetyczne), różne kształty części napędzanej i napędzającej (tarczowe sprzęgła wiskotyczne, walcowe sprzęgła wiskotyczne), a także różne materiały na elektrody (metal, plastik pokryty folią metalową, metal pokryty bawełną). Ze względu na fakt, iż sprzęgła hydrauliczne z cieczami

elektroteologicznymi były dotychczas stosowane głównie w prototypach brak jest doświadczeń wynikających z długotrwałego stosowania tych sprzęgła.

Jak można sądzić, na podstawie analizy dotychczasowych badań nad zastosowaniem cieczy elektroteologicznych w różnych urządzeniach hydraulicznych, podczas eksploatacji sprzęgła hydraulicznych z tymi cieczami mogą pojawić się problemy związane z:

- trwałością cieczy elektroteologicznej,
- higroskopijnością cieczy elektroteologicznej,
- stałością reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne,
- powtarzalnością reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne.

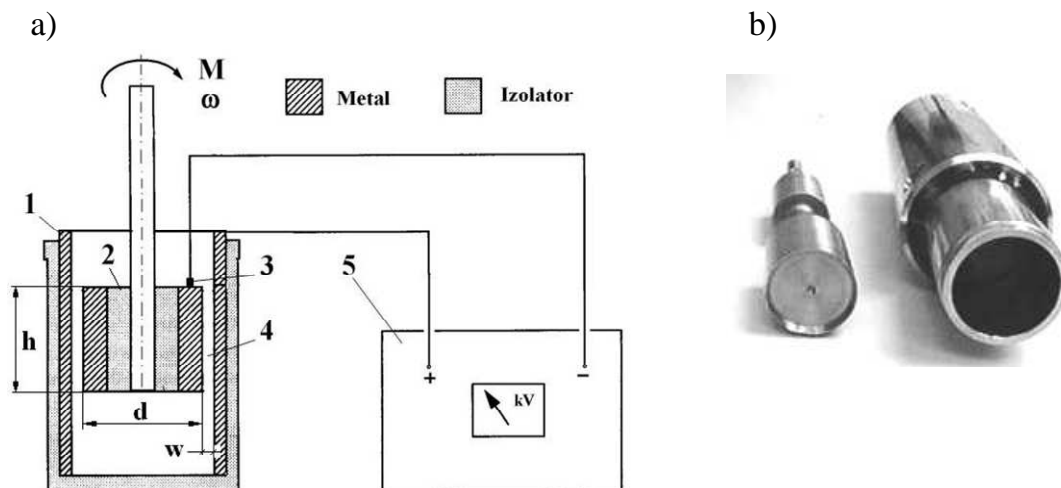
Z badań trwałościowych tłumika liniowego z cieczą magnetoreologiczną, przedstawionych w publikacjach [19],[20], wynika, że pierwszym objawem zużycia cieczy magnetoreologicznej jest wzrost wartości współczynnika lepkości dynamicznej w czasie, spowodowany uszkodzeniem cząstek stałych. Stopień zużycia cieczy magnetoreologicznej oceniono tu na podstawie stosunku energii, jaka została zamieniona na ciepło w czasie pracy urządzenia, do objętości cieczy znajdującej się w szczelinie roboczej objętej polem magnetycznym i podano, że dopuszczalne wartości tego stosunku dla cieczy magnetoreologicznej powinny się mieścić w zakresie od  $10^5 \text{J/cm}^3$  do  $10^7 \text{J/cm}^3$ . Na trwałość cieczy może też mieć istotny wpływ zjawisko starzenia się oleju, będącego cieczą bazową, szczególnie gdy podczas pracy sprzęgła występują częste przebicia elektryczne między elektrodami, podgrzewające miejscowo ciecz roboczą do bardzo wysokich temperatur [21].

Dwufazowa ciecz elektroteologiczna wykazuje właściwości higroskopijne, przy czym ze wzrostem zawartości wody w cieczy, rośnie zarówno naprężenie styczne w cieczy jak i prąd upływu. Dla przykładu, w pracy [22], dotyczącej badań hamulca wiskotycznego z cieczą elektroteologiczną LID 3354, stwierdzono, że po 20 godzinach pracy hamulca, na skutek pochłaniania przez ciecz wilgoci z otoczenia, wartość naprężeń stycznych w cieczy wzrosła o 16%, a wartość prądu upływu o 43%. Takie wartości naprężeń stycznych i prądu upływu utrzymywały się do końca badań.

Praca [23] była pierwszą publikacją, w której zwrócono uwagę na zmienną reakcję cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne. Autorzy tej publikacji zaobserwowali, że podczas przepływu cieczy elektroteologicznej przez zawór, do którego elektrod zostało przyłożone stałe napięcie, naprężenie styczne w cieczy rosło wolno z upływem czasu (w ciągu kilkudziesięciu sekund o kilkanaście procent), co objawia się wzrostem ciśnienia cieczy przed zaworem. Zmiany tego ciśnienia przypisano przechwytywaniu, przez uformowane już wcześniej struktury przestrzenne cząstek stałych, nowych cząstek napływających do zaworu wraz z cieczą. Zjawisko to znalazło również potwierdzenie w pracy [24], w której by uzyskać charakterystyki statyczne badanego sprzęgła hydrokinetycznego z cieczą elektroteologiczną przy stałym napięciu, stosowano uśrednienie wyników pomiarów w czasie.

Na małą powtarzalność reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne zwrócono uwagę w pracy [25], podczas badań cieczy elektroteologicznej ERF#6, prowadzonych za pomocą zmodyfikowanego reometru cylindrycznego Bohlin Visco 88 BV.

Na rysunku 1 pokazano schemat reometru oraz widok cylindrów pomiarowych.



Rys. 1. Reometr cylindryczny do badania cieczy elektreologicznych: a) schemat: 1 – cylinder zewnętrzny, 2 – cylinder wewnętrzny, 3 – szczotka elektryczna, 4 – szczelina robocza, 5 – zasilacz wysokiego napięcia, b) widok cylindrów

Fig. 1. Cylindrical rheometer for electrorheological fluid testing: a) scheme: 1 – external cylinder, 2 – internal cylinder, 3 – electric brush, 4 – working gape, 5 – high voltage unit, b) view of cylinders

Dane techniczne tego reometru podano w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne reometru cylindrycznego Bohlin Visco 88 BV  
Table 1. Technical data of cylindrical Bohlin Visco 88 BV rheometer

Nazwa parametru	Wartość
Średnica cylindra wewnętrznego d	20mm
Wysokość robocza cylindra wewnętrznego h	28mm
Szczelina między cylindrami w	1mm
Prędkość kątowna wirowania cylindra wewnętrznego $\omega$	$2 \div 104 \text{ rad/s}$
Wysokie napięcie przyłożone do cylindrów U	$0 \div 5 \text{ kV}$

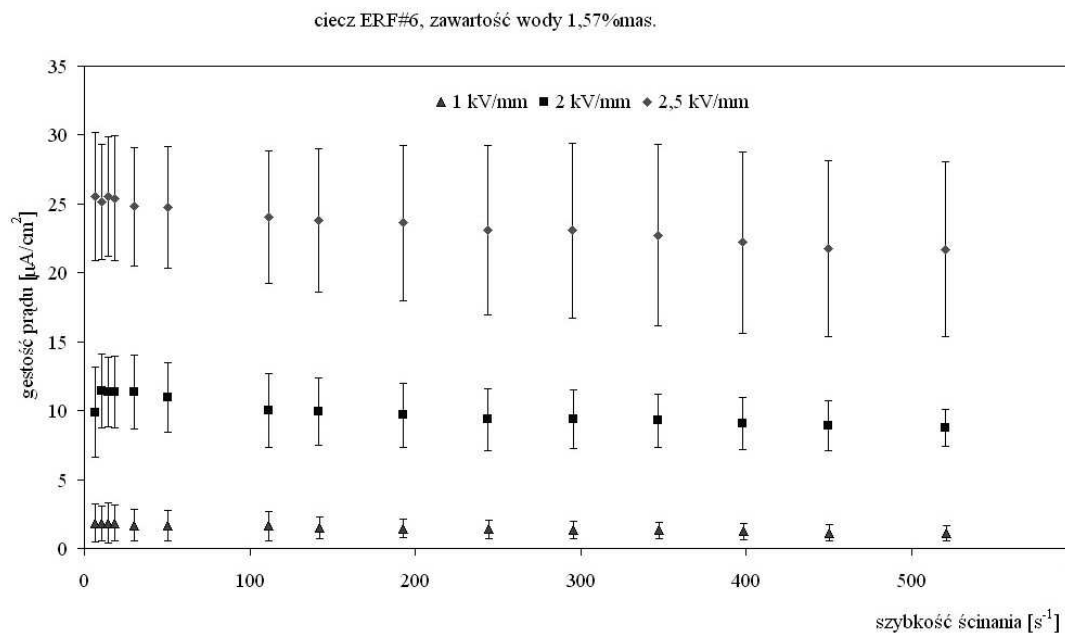
Celem badań było określenie charakterystyk elektrycznych i reologicznych cieczy ERF#6 przy ustalonych wartościach wysokiego napięcia U przyłożonego do cylindrów, na podstawie pomiarów natężenia prądu upływu I, prędkości kątowej  $\omega$  oraz momentu obrotowego M. Zmierzone wartości były następnie wykorzystywane do obliczenia gęstości prądu upływu J, szybkości ścinania  $\dot{\gamma}$ , naprężenia ścinającego w cieczy  $\tau$  oraz natężenia pola elektrycznego E, w oparciu o wzory:

$$J = \frac{I}{\pi d h}; \quad \dot{\gamma} = \frac{\omega d}{2w}; \quad \tau = \frac{2M}{\pi d^2 h}; \quad E = \frac{U}{w}, \quad (1)$$

gdzie: d – średnica cylindra wewnętrznego, h – wysokość cylindra wewnętrznego, w – szerokość szczeliny między cylindrami.

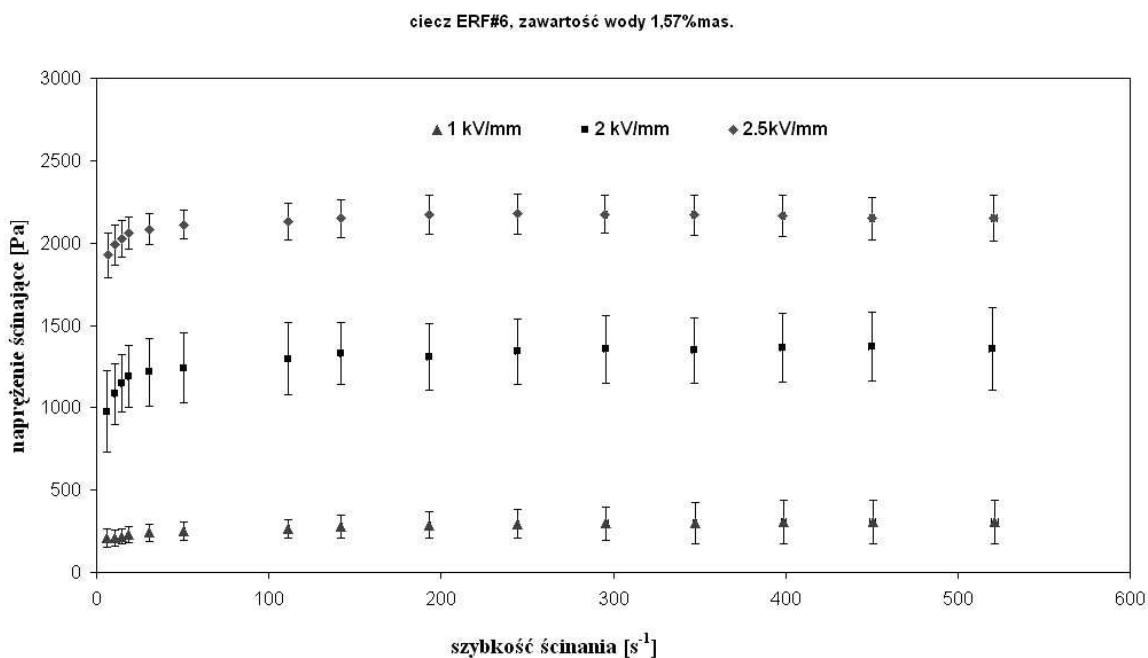
Na rysunku 2 pokazano zależność gęstości prądu upływu J od szybkości ścinania  $\dot{\gamma}$ , a na rysunku 3 zależność naprężenia ścinającego  $\tau$  od szybkości ścinania  $\dot{\gamma}$  dla trzech

różnych wartości natężenia pola elektrycznego  $E$  (1kV/mm; 2kV/mm, 2,5kV/mm), sporządzone na podstawie wielokrotnie powtarzanych pomiarów. Na rysunkach tych punkty oznaczają wartości średnie, a kreski poziome maksymalne odchylenie od wartości średniej. Jak wynika ze wzorów (1) oraz wartości podanych w tabeli 1:  $\omega = \dot{\gamma}/10$  rad/s.



Rys. 2. Zależność gęstości prądu upływu  $J$  od szybkości ścinania  $\dot{\gamma}$  [25]

Fig. 2. Relationship between current density  $J$  and share rate  $\dot{\gamma}$  [25]



Rys. 3. Zależność naprężenia ścinającego  $\tau$  od szybkości ścinania  $\dot{\gamma}$  [25]

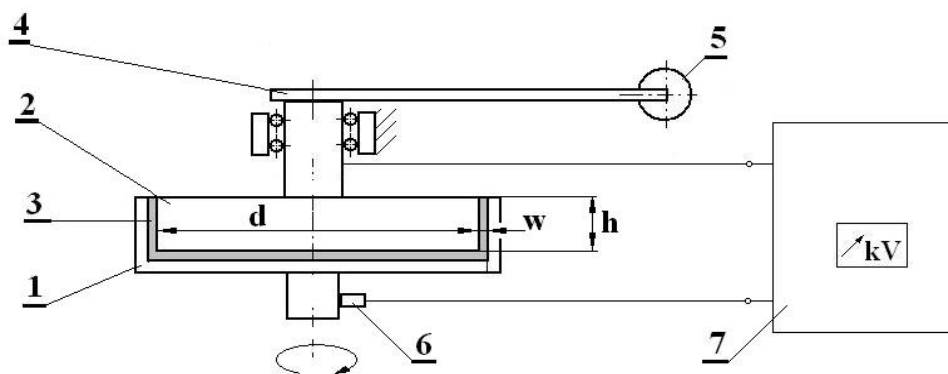
Fig. 3. Relationship between shear stress  $\tau$  and share rate  $\dot{\gamma}$  [25]

Jak wynika z rys. 2 oraz rys. 3 bezwzględne zmiany wartości zarówno gęstości prądu upływu, jak i naprężenia stycznego w zakresie prędkości kątowej od 0 do 60rad/s mogą przekraczać nawet 100%.

### 3. BADANIE POWTARZALNOŚCI REAKCJI CIECZY ELEKTROREOLOGICZNEJ NA POLE ELEKTRYCZNE W SPRZĘGŁE WISKOTYCZNYM

Badania powtarzalności reakcji cieczy elektoreologicznej na pole elektryczne przeprowadzono na stanowisku badawczym zawierającym sprzęgło wiskotyczne z cieczą ERF#6, o budowie podobnej do budowy reometru cylindrycznego. W celu modelowania początku rozruchu, w którym ze względu na największą prędkość względną, moment obrotowy przenoszony przez sprzęgło przyjmuje podczas rozruchu największą wartość, unieruchomiono stronę napędzaną sprzęgła. Część napędzająca sprzęgła była osadzona na wale silnika elektrycznego prądu zmiennego z regulowaną, za pomocą przemiennika częstotliwości, prędkością kątową  $\omega$ . Pomiar prędkości kątowej odbywał się z wykorzystaniem fotokomórki. Zakres regulacji obrotów silnika elektrycznego wynosił od 0 do 300rad/s. Część napędzana sprzęgła była ułożyskowana w obudowie zamocowanej do ramy stanowiska i połączona z dźwignią opierającą się na tensometrycznym czujniku siły. W połowie wysokości bocznej ścianki części napędzanej sprzęgła został wklejony termistor służący do pomiaru temperatury badanej cieczy. W celu wytworzenia w szczelinie pola elektrycznego, część napędzająca i napędzana były odizolowane elektrycznie i połączone z zaciskami zasilacza wysokiego napięcia. Oś silnika elektrycznego, napędzającego sprzęgło, była ustawiona pionowo, dzięki czemu nie było konieczne stosowanie uszczelnienia, co umożliwiło z kolei swobodny dostęp do szczeliny roboczej. Do gromadzenia i obróbki danych pomiarowych wykorzystywano komputer PC.

Na rysunku 4 pokazano schemat sprzęgła wiskotycznego, a jego dane techniczne przedstawiono w tabeli 2 [7].



Rys. 4. Sprzęgło wiskotyczne: 1 – cylinder zewnętrzny części napędzającej, 2 – cylinder wewnętrzny części napędzanej, 3 – szczelina robocza, 4 – dźwignia, 5 – czujnik ciśnienia, 6 – szczotka elektryczna, 7 – zasilacz wysokiego napięcia

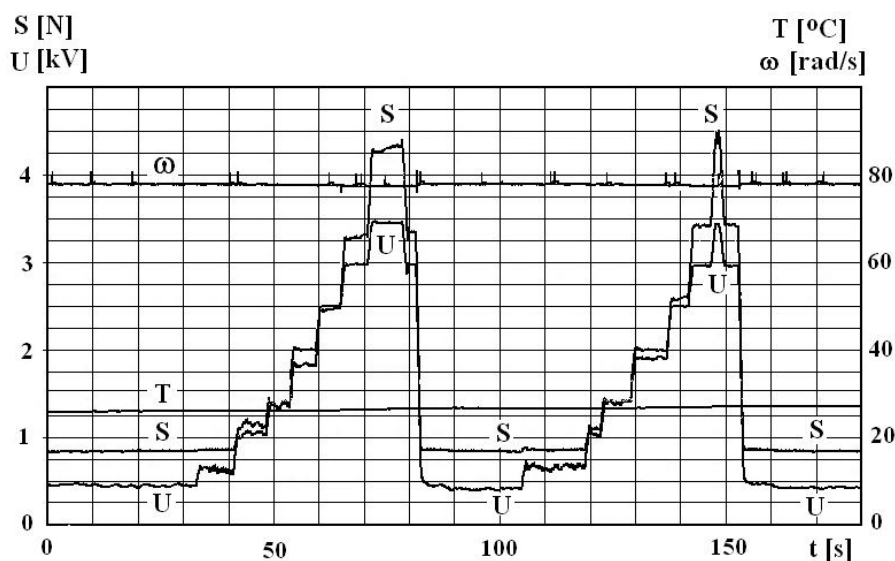
Fig. 4. Viscotic clutch: 1 – external cylinder of driving part, 2 – internal cylinder of driven part, 3 – working gap, 4 – lever, 5 – pressure sensor, 6 – electric brush, 7 – high voltage unit

Tabela 2. Dane techniczne stawiska ze sprzęgłem wiskotycznym  
 Table 2. Technical data of viscotic clutch test rig

Nazwa parametru	Wartość
Średnica cylindra wewnętrznego części napędzanej $d$	120mm
Wysokość robocza cylindra wewnętrznego części napędzanej $h$	29mm
Szczelina między cylindrami $w$	1mm
Prędkość kątowna wirowania cylindra wewnętrznego $\omega$	$0 \div 300\text{rad/s}$
Wysokie napięcie przyłożone do cylindrów $U$	$0 \div 5\text{kV}$

Badanie rozpoczynano od wypełnienia szczeliny roboczej cieczą ERF#6. Uruchamiano silnik elektryczny, ustalano prędkość kątową  $\omega$  części napędzanej sprzęgła i następnie zmieniano skokowo napięcie zasilania  $U$  w ustalonym zakresie. Dla każdej ustalonej wartości prędkości kątowej i napięcia zasilania mierzono siłę  $S$ , działającą na czujnik siły, oraz temperaturę cieczy roboczej  $T$ . Pomiar powtarzano kilkakrotnie dla tych samych wartości prędkości kątowej, wysokiego napięcia i temperatury. Mierzone wartości zapisywano w pamięci komputera, a następnie opracowywano i drukowano w formie wykresów. Pomiar wykonywano dla prędkości kątowych z zakresu od 50 do 150rad/s.

Na rysunku 5 pokazano, dla przykładu, wykres prezentujący dwukrotny pomiar siły  $S$  dla skokowych zmian napięcia od 0,5kV do 3,5kV przy stałej prędkości kątowej  $\omega=78\text{rad/s}$  oraz temperaturze  $T = 26^\circ\text{C}$ . Maksymalna moc przenoszona przez sprzęgło wynosiła 50W.



Rys. 5. Zależność siły  $S$  od czasu  $t$  dla  $\omega = 78\text{rad/s}$  oraz  $T = 26^\circ\text{C}$   
 Fig. 5. Relationship between force  $S$  and time  $t$  for  $\omega = 78\text{rad/s}$  and  $T = 26^\circ\text{C}$

Jak wynika z rysunku 5 różnice wartości siły  $S$ , przy takich samych wartościach wysokiego napięcia  $U$ , nie przekraczają kilkunastu procent. Podobne rezultaty otrzymano również dla pozostałych wartości prędkości kątowych objętych planem prowadzonych badań.

#### 4. DYSKUSJA I WNIOSKI

Należy sadzić, że problemy związane z trwałością cieczy o sterowanych właściwościach reologicznych zostaną rozwiązane przez zastosowanie odpowiednio dobranych materiałów na poszczególne fazy tej cieczy. Dla przykładu, podniesienie trwałości cieczy magnetoreologicznej stosowanej w tłumiku badanym w pracy [19] było możliwe przez zmianę składu chemicznego warstwy tworzącej otoczkę cząstek żelaza, mającą na celu zmniejszenie kruchości tej warstwy.

Sprzęgła z cieczami o zmiennych właściwościach reologicznych są z reguły sterowane, toteż zarówno pochłanianie przez ciecz wilgoci z otoczenia, jak i brak stałości reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne nie stanowią istotnego problemu, gdyż wolne zmiany wartości naprężenia stycznego mogą być skorygowane przez układ sterujący poprzez zmianę wartości wysokiego napięcia.

Jak wynika z porównania rezultatów przedstawionych badań, powtarzalność reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne w urządzeniu o większych gabarytach jest znacznie większa. Ze względu na fakt, iż wysokość szczeliny  $h$ , zarówno w reometrze cylindrycznym, przedstawionym na rysunku 1, jak i w sprzęgle wiskotycznym pokazanym na rysunku 4, była zbliżona, a szerokość szczeliny taka sama, można sądzić, że powtarzalność reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne jest związana z długością szczeliny roboczej. Koncepcję tą można uzasadnić w oparciu o mechanizm wzrostu naprężeń stycznych w dwufazowej cieczy elektroteologicznej, zgodnie z którym cząstki stałe, pod wpływem pola elektrycznego, tworzą w sposób losowy struktury przestrzenne, zwane łańcuchami, utrudniające przepływ cieczy. Zgodnie z tym mechanizmem im dłuższa jest szczelina robocza, tym większa jest liczba łańcuchów i struktura utworzona z cząstek stałych jest bardziej stabilna. Inną przyczyną większej powtarzalności reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne, występującej w urządzeniu o większych gabarytach, może być większy masowy moment bezwładności obracającego się cylindra, mający wpływ na tłumienie drgań przenoszonego momentu obrotowego.

Z przeprowadzonych badań wynika, że w sprzęgłach wiskotycznych z cieczą elektroteologiczną, które znajdują zastosowanie w praktyce w maszynach i pojazdach, nie powinny wystąpić istotne problemy z powtarzalnością reakcji cieczy elektroteologicznej na pole elektryczne.

#### LITERATURA

- [1] ŁAWNICZAK A., MILECKI A., 1999, *Ciecze elektro – i magnetoreologiczne oraz ich zastosowania w technice*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [2] KĘSY Z., 2009, *Modelowanie i badanie elektroteologicznych i magnetoreologicznych cieczy roboczych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej.
- [3] KRZTOŃ-MAZIOPA A., CISZEWSKA M., PŁOCHARSKI J., 2003, *Ciecze elektroteologiczne – materiały, zjawiska, zastosowanie*, Polimery, 11–12, 743 – 752.
- [4] CHOI S. B., CHEONG C. C., KIM G W., 1997, *Position Control of Tension in a Moving Tape Using an ER Brake Actuator*, Mechatronics, 7/1, 53 – 66.



- [5] KĘSY A., MIGUS M., 2010, *Dobór szerokości szczeliny roboczej sterowanego sprzęgła hydraulicznego*, *Hydraulika i Pneumatyka*, 1, 33 – 36.
- [6] KĘSY A., KĘSY Z., MIGUS M., 2007, *Zastosowanie cieczy nowego typu do zmiany momentu obrotowego w sprzęgle hydraulicznym*, *Problemy Eksploatacji*, 3, 95 – 112.
- [7] KĘSY Z., 2008, *Sprzęgła z cieczami elektro- i magnetoreologicznymi*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej.
- [8] KĘSY Z., 2008, *Rozwiązania konstrukcyjne sprzęgieł i hamulców hydrokinetycznych z cieczami roboczymi o sterowanych właściwościach reologicznych*, *Napędy i Sterowanie*, 10, 134 – 140.
- [9] KĘSY Z., 2008, *Zastosowanie hamulców hydraulicznych z cieczą o zmiennych właściwościach fizycznych w systemach naciągu wstęgi*, *Napędy i Sterowanie*, 5, 60 – 65.
- [10] KĘSY Z., OLSZAK A., 2004, *Badania eksperymentalne hamulca wiskotycznego z elektoreologiczną cieczą roboczą*, *Hydraulika i Pneumatyka*, 5, 9 – 13.
- [11] LI H. W., DU H., 2003, *Design and Experimental Evolution of a Magnetoreological Brake*, *Int. J. Advanced Manufacturing in Technology*, 21, 508 – 515.
- [12] NAKAMURA T., SAGA N., NAKAZAWA M., 2004, *Variable Viscous Control of a Homogeneous ER Fluid Device Considering its Dynamic Characteristics*, *Mechatronics*, 14, 55 – 68.
- [13] OLSZAK A., KĘSY Z., 2009, *Przegląd sprzęgieł i hamulców hydraulicznych z cieczami o sterowanych właściwościach reologicznych*, *Napędy i Sterowanie*, 2, 70 – 77.
- [14] PAPADOPOULOS C. A., 1998, *Brakes and Clutches Using ER Fluids*, *Mechatronics*, 8, 719 – 726.
- [15] PARK E. J., DA LUZ L. F. SULEMAN A., 2007, *Multidisciplinary Design Optimization of an Automotive Magnetoreological Brake Design*, *Computers and Structures*.
- [16] TAN K. P., STANWAY R., BULLOUGH W. A., 2007, *Braking responses of inertia/load by using an electro-rheological (ER) brake*, *Mechatronics*, 17, 277 – 289.
- [17] SMITH A. L., ULICNY J. C., KENNEDY L. C., 2007, *Magnetorheological Fluid Fan Drive for Trucks*, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 18/12, 1131 – 1136.
- [18] Firma Smart Technology Ltd., Wielka Brytania, 2004, *Materiały informacyjne firmy*, [www.smarttec.co.uk](http://www.smarttec.co.uk).
- [19] CARLSON J. D., 2001, *What makes a good MR Fluid?*. 8<sup>th</sup> International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Nice, July 9 – 13/2001.
- [20] CARLSON D. J., 2004, *MR Fluids and Devices in the Real World*, 9<sup>th</sup> International Conference on “Electro-Rheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and Associated Technology”. Beijing, 531 – 538.
- [21] ZIĄBSKA E., MUSIAŁEK I., OLSZAK A., KĘSY Z., 2012, *Koncepcja oceny trwałości elektoreologicznych cieczy roboczych*, Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne”, Wrocław, 181 – 189.
- [22] KĘSY Z., 2011, *Badanie trwałości hamulca wiskotycznego z cieczą elektoreologiczną*, *Hydraulika i Pneumatyka*, 4, 10 – 13.
- [23] ZHU S., FUJITA T., WANG Q., LIU K., DODDIBA G., 2004, *The Concomitant Effect of Electrorheological fluid in a Control Flow Field*, 9<sup>th</sup> International Conference on “Electro-Rheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and Associated Technology”, Beijing.
- [24] MADEJA J., 2005, *Kształtowanie charakterystyk sprzęgła hydrokinetycznego za pośrednictwem elektoreologicznej cieczy roboczej*, Rozprawa doktorska, Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Radom.
- [25] PŁOCHARSKI J. i inni, 2006, *Opracowanie cieczy elektoreologicznych do zastosowania w zaawansowanej technice*, Projekt badawczy PW-004/ITE/05/2005, Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny.

## ELECTORHEOLOGICAL FLUID AS WORKING FLUID OF HYDRAULIC CLUTCH

Unstable reaction of the electrorheological fluid on electric field can be one of a maintenance problems which can appear during the application of clutches with electrorheological fluid in machines and vehicles. Presented in the literature tests results of an electrorheological fluid, carried out on the cylindrical reometer, showed that the increase in the shear stress of the fluid due to the application of an electrical field can be different for the same test parameters (over 100%). In order to asses of level of the unstable reaction of the electrorheological fluid on electric field, the ERF#6 electrorheological fluid was tested as a working fluid in a viscotic clutch. The viscotic clutch design was similar to the cylindrical rheometer design. In conclusion it was stated that for the viscotic clutch, the level of the unstable reaction of the electrorheological fluid on electric field is much smaller (less than 10%) in comparison with the cylindrical rheometer.