

UKŁAD HYDRAULICZNY Z ELEMENTAMI WYKONANYMI Z TWORZYW SZTUCZNYCH

HYDRAULIC SYSTEM WITH PARTS MADE OF PLASTICS

Justyna Krawczyk, Jarosław Stryczek - Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska

W artykule przedstawiono układ hydrauliczny, w którym podstawowe elementy, takie jak pompa gerotorowa, cylinder hydrauliczny, zawór maksymalny, rozdzielacz lub co najmniej ich kluczowe części będą wykonane z tworzyw sztucznych. Przedstawione zostały wyniki badań podstawowego elementu układu - pompy gerotorowej z kołami zębatymi z tworzywa sztucznego. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają możliwość stosowania tworzywa sztucznego jako materiału konstrukcyjnego w hydraulice.

Słowa kluczowe: pompa gerotorowa, cykloidalne koła zębate, tworzywa sztuczne

Paper presents the hydraulic system in which the basic elements such as gerotor pump, hydraulic cylinder, pressure relief valve, divider, or at least their crucial parts are made of plastics. Paper presents the test results of an essential element of this system - the gerotor pump with gears made of plastics. The findings of this study confirm the possibility of using plastics as a structural material in the hydraulics.

Key words: gerotor pump, cycloidal gears, plastics

Wprowadzenie

Tworzywa sztuczne jako materiał konstrukcyjny są coraz częściej stosowane w budowie maszyn oraz urządzeń hydraulicznych. Wykonuje się z nich między innymi takie elementy jak korpusy pomp, rury cylindrów czy koła zębate [1, 4,5].

Stosowanie tworzyw sztucznych pozwala na uzyskanie wielu zalet konstrukcyjnych. Możliwe jest znaczne zmniejszenie masy wytworzonego elementu, zwiększenie jego zdolności do tłumienia drgań, poprawa własności tribologicznych elementów współpracujących oraz ograniczenia hałasu.

Stosowanie tworzyw sztucznych jest także korzystne pod względem technologicznym i ekonomicznym. Wykonywanie elementów metodą wtrysku pozwala na uzyskanie skomplikowanych kształtów. Metoda ta pozwala także na obniżenie kosztów wytwarzania i kosztów materiałowych.

Jednak, jak każdy materiał, także tworzywa sztuczne mają swoje wady. Wytworzone elementy mają mniejszą wytrzymałość oraz niższy zakres obciążalności, a w trakcie eksploatacji w wyniku działania temperatury oraz obecności wody w czynniku roboczym może pojawić się niestabilność wymiarowa.

Pomimo istniejących trudności trend do stosowania tworzyw sztucznych jako materiału konstrukcyjnego jest coraz bardziej widoczny. W związku z tym, zespół badawczy Fluid Power Research Group (www.fprg.pwr.wroc.pl) z Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn na Politechnice Wrocławskiej podjął prace mające na celu zaprojektowanie i wykonanie kompletnego układu hydraulicznego, w którym podstawowe

elementy takie jak pompa, zawory, cylinder hydrauliczny lub co najmniej ich kluczowe części będą wykonane z tworzyw sztucznych.

W artykule zaprezentowano koncepcję takiego układu oraz wyniki badań jego podstawowego elementu jakim jest pompa zębata gerotorowa.

Układ hydrauliczny z elementami wykonanymi z tworzyw sztucznych

Na rysunku 1 przedstawiono widok układu hydraulicznego składającego się z pompy (1), cylindra (4), zaworu maksymalnego (2) i rozdzielacza (3).

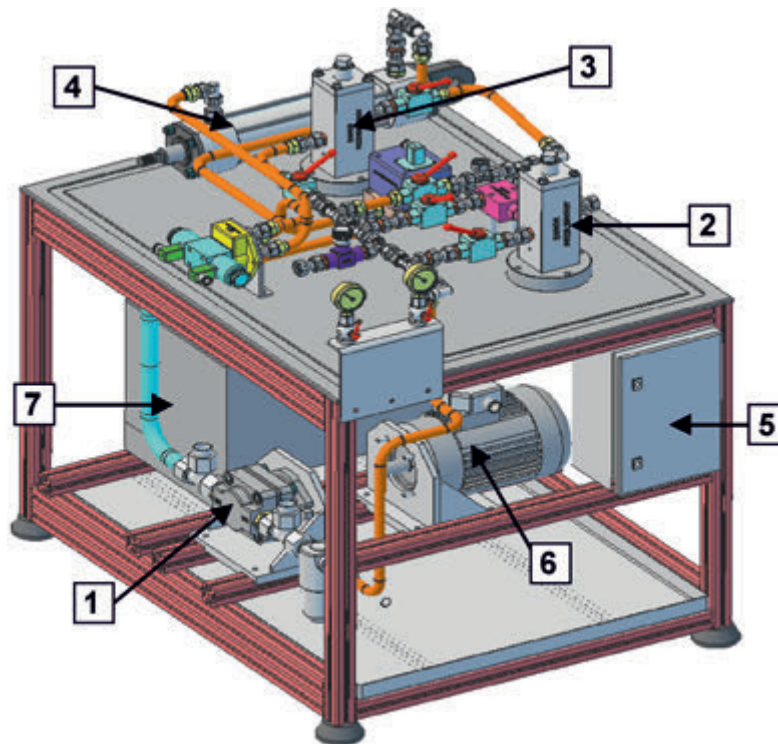
Tworzywo sztuczne zostanie wykorzystane do wykonania podstawowych części elementów wchodzących w skład tego układu.

Rysunek 2 przedstawia eksperymentalną pompę gerotorową, w której zespół kół o zazębieniu wewnętrznym cykloidalnym wykonany jest z tworzywa sztucznego.[1, 2]

Rysunku 3 przedstawia cylinder hydrauliczny. Tworzywo sztuczne zostało użyte do wykonania rury, głowicy oraz tłoczyska. Tłok cylindra wykonany będzie ze stali nierdzewnej.

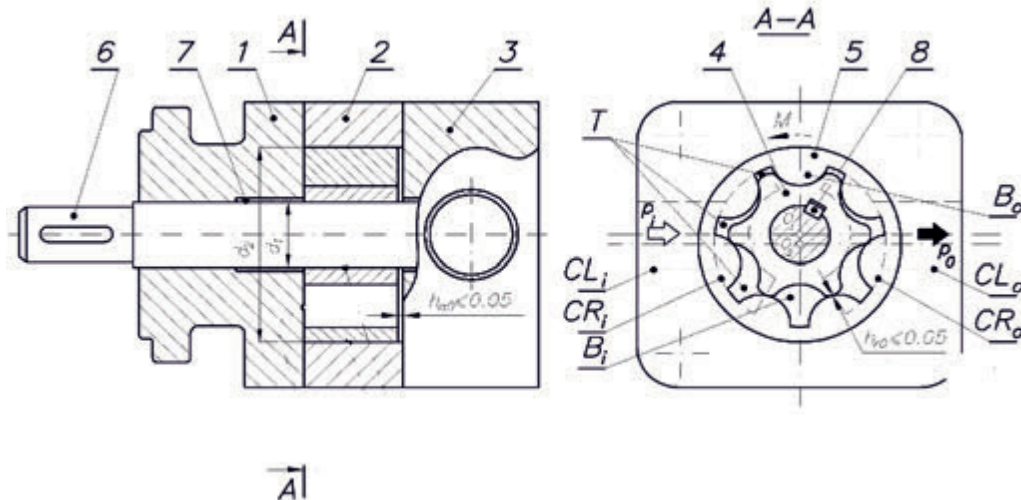
Na rysunku 4a przedstawiono zawór maksymalny zaś na rysunku 4b pokazano rozdzielacz dwudrogowy dwupołożeniowy (2/2) sterowany pneumatycznie. W zaworach tworzywo zostanie zastosowane do wykonania korpusów oraz elementów zamykających, którymi są grzybki zaworów.

Układ opisany powyżej będzie pełnił rolę stanowiska ba-



Rys. 1. Widok układu hydraulicznego; 1 – pompa, 2 – zawór maksymalny, 3 – rozdzielacz, 4 – cylinder hydrauliczny, 5 – skrzynka elektryczna, 6 – silnik napędowy, 7 – zbiornik

Fig. 1. A view of the hydraulic system; 1 - pump, 2 - pressure relief valve, 3 - divider, 4 - hydraulic cylinder, 5 - electric box, 6 - motor, 7 - tank



Rys. 2. Eksperymentalna pompa gerotorowa; 1,2,3 – części korpusu, 4,5 – koła zębate, 6 – wał napędowy, 7 – łożysko, 8 – wpust T – komory międzyzębne, CL_i , CR_i , B_i – kanał, komora i mostek wejściowy, CL_o , CR_o , B_o – kanał, komora i mostek wyjściowy, p_i – ciśnienie na wejściu z pompy

Fig. 2. Experimental gerotor pump; 1,2,3 - part of the body, 4,5 - gears, 6 - drive shaft, 7 - bearing, 8 - key T - internal tooth chamber, CL_i , CR_i , B_i - input channel, chamber and bridge, CL_o , CR_o , B_o - output channel, chamber and bridge, p_i - input pressure, p_o - outlet pressure



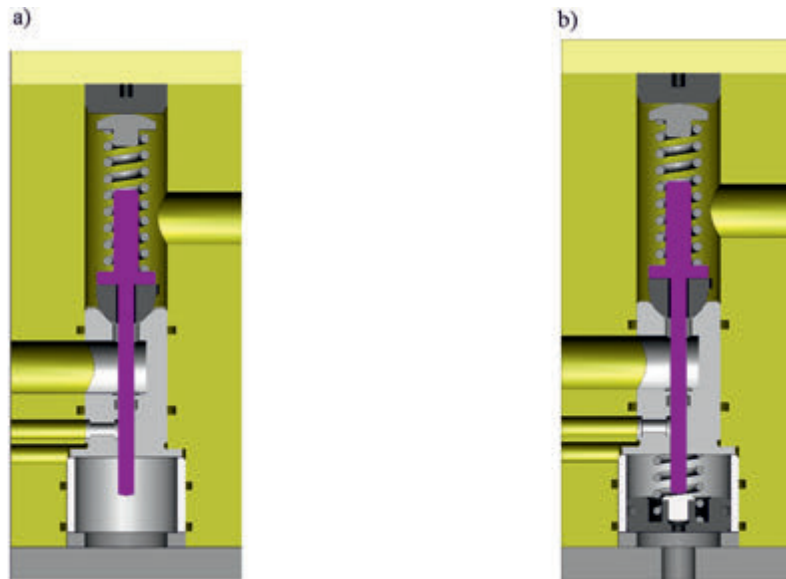
Rys. 3. Cylinder hydrauliczny
Fig. 3. Hydraulic cylinder

dawczego, zarówno do badań poszczególnych elementów, jak i pracy całego układu jako jednostki.

Pompa gerotorowa z zespołem kół wykonanym z tworzyw sztucznych

Prace rozpoczęto od zaprojektowania i wykonania pompy gerotorowej wraz z zespołem kół zębatach. Przyjęto, że w pompie elementem wykonanym z tworzyw sztucznych będzie zespół kół zębatach. Korpus, łożysko i wał będą wykonane z metali.

Proces projektowania zespołu kół zębatach został podzielony na cztery etapy. Etap pierwszy obejmował analizę i dobór tworzywa sztucznego. Brane były pod uwagę takie własności



Rys. 4. a) Zawór maksymalny i b) rozdzielacz (2/2)
Fig. 4. a) Pressure relief valve and b) divider (2/2)

jak granica plastyczności, moduł Younga, temperatura pracy, skurcz i współczynnik absorpcji wody. Ważna również była cena tworzywa oraz jego dostępność na rynku. Jako tworzywo sztuczne wybrany został PPS z dodatkami wzmacniającymi wytrzymałość. W tabeli 1 przedstawiono jego podstawowe właściwości.

Tab. 1. Własności polifenylenosulfenu (PPS)
Tab. 1. Properties of polifenylenosulfenu (PPS)

| Lp. | Nazwa parametru | Symbol | Wartość |
|-----|-----------------------------------|--------|---------------------|
| 1. | Granica plastyczności | Re | 180 [MPa] |
| 2. | Moduł Younga | E | 16000 [MPa] |
| 3. | Maksymalna temperatura pracy | T | 160 [°C] |
| 4. | Skurcz | | 0,005 [cm/cm] |
| 5. | Współczynnik wydłużenia liniowego | | 5,2 [$10^{-5}/K$] |
| 6. | Współczynnik absorpcji wody | | 0,02 [%] |

W drugim etapie zaprojektowany został zespół kół zębanych. Koła zaprojektowano według wytycznych sformułowanych na podstawie [1, 2]. W związku z tym przyjęto:

- mały współczynnik wysokości zęba zapewniający dużą sztywność zęba,
- 3 wpusty do przenoszenia momentu obrotowego, tak aby naprężenia rozkładały się równomiernie,
- zaokrąglone naroża w wpustach i rowkach wpustowych,

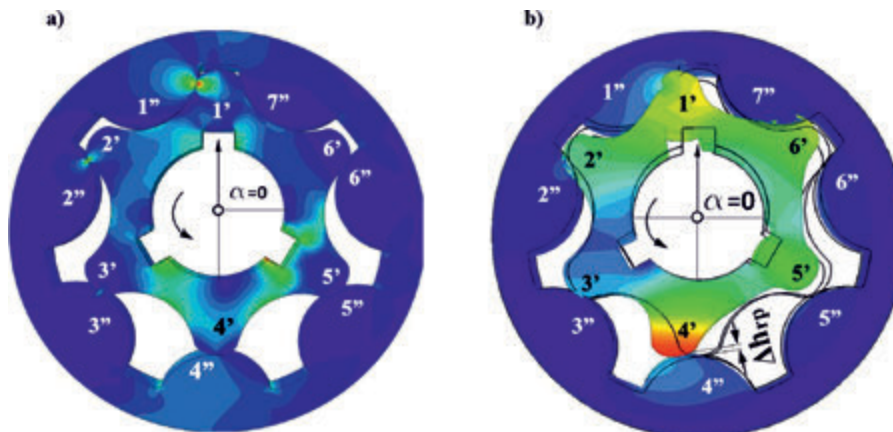
aby wyeliminować działanie karbu,

- zaokrąglone naroża u podstawy zęba w kole zewnętrznym, aby wyeliminować działanie karbu.

W pracy [1, 2] zbadano naprężenia i odkształcenia w kołach zębatych z tworzywa sztucznego wykorzystując metodę MES [6]. Wykazano, że koła zębata można obciążać ciśnieniem ro-

boczym $p = 4 - 6$ [MPa], przy którym ani naprężenia (rys. 5a) ani odkształcenia (rys. 5b) nie przekraczają wartości dopuszczalnych. Dodatkowo na rysunku 5b widać, że odkształcenia kół powiększają luz promieniowy Δh_{rp} , który rośnie wraz ze wzrostem ciśnienia obciążającego pompę. W pracy [1] ustalono, że luz ten dla zakładanego ciśnienia roboczego $p = 4 - 6$ [MPa] nie powinien przekraczać wartości $\Delta h_{rp} = 0,10$ [mm].

W etapie trzecim wykonano zespół kół. Został on wy-



Rys. 5. Rozłożenie (a) naprężeń i (b) deformacji w kołach [2]
Fig. 5. The distribution of (a) stress and (b) deformation of in the gears [2]

konany metodą wtrysku w laboratorium Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji na Politechnice Wrocławskiej wykorzystując formę wtryskową własnej konstrukcji [2]. Na rysunku 6 przedstawiono gotowy zespół kół.



Rys. 6. Zdjęcie kół z PPS
Fig. 6. Photo of gears made of PPS

Ostatnim, czwartym etapem było przeprowadzenie badań eksperymentalnych. Badania miały na celu określenie sprawności objętościowej pompy zawierającej koła wykonane z PPS oraz określenie rzeczywistego zakresu ciśnień jakimi można obciążać takie koła. Rysunek 7 przedstawia kompletną pompę gerotorową zawierającą koła zębate wykonane z PPS.

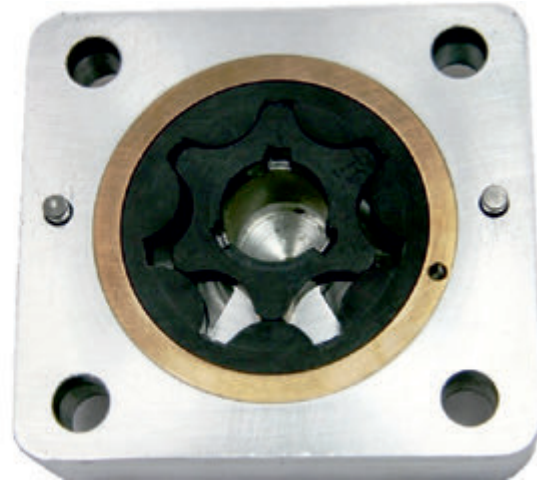
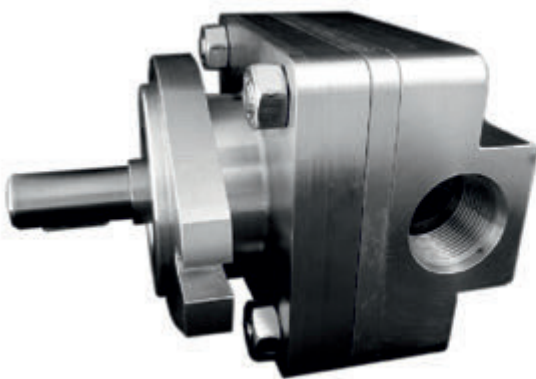
Badania eksperymentalne pompy gerotorowej z kołami zębatymi wykonanymi z PPS

Program badań pompy gerotorowej uwzględniał:

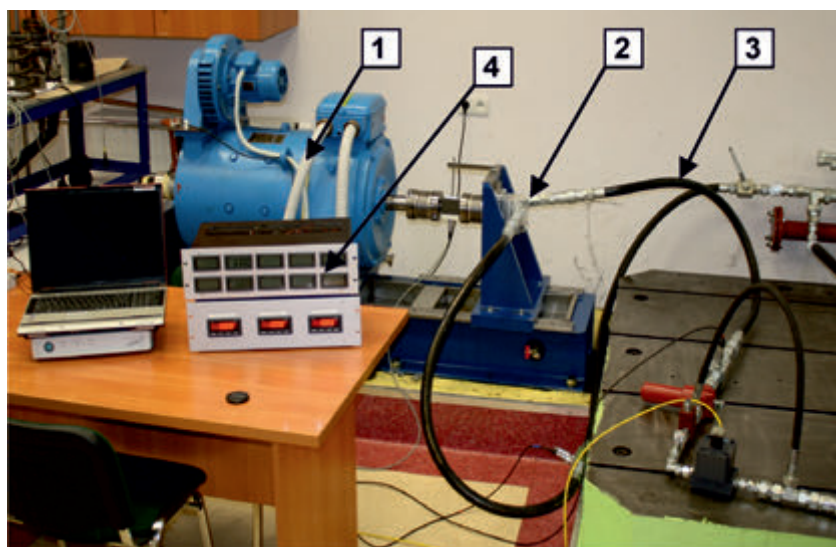
- wyznaczenie charakterystyk sprawności objętościowej pompy w zależności od różnych wartości prędkości obrotowej oraz różnych wartości ciśnienia roboczego,
- zbadanie wpływu zmiany materiału kół na charakterystyki pompy,
- zbadanie wpływu zmiany temperatury na charakterystyki pompy.

Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku badawczym (rys. 8) w laboratorium Zakładu Podstaw Konstrukcji i Tribologii Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej.

Stanowisko badawcze składa się z silnika napędowego (1), badanej pompy (2), układu hydraulicznego obciążającego



Rys. 7. Widok pompy gerotorowej z kołami zębatymi wykonanymi z PPS
Fig. 7. View of gerotor pump with gears made of PPS



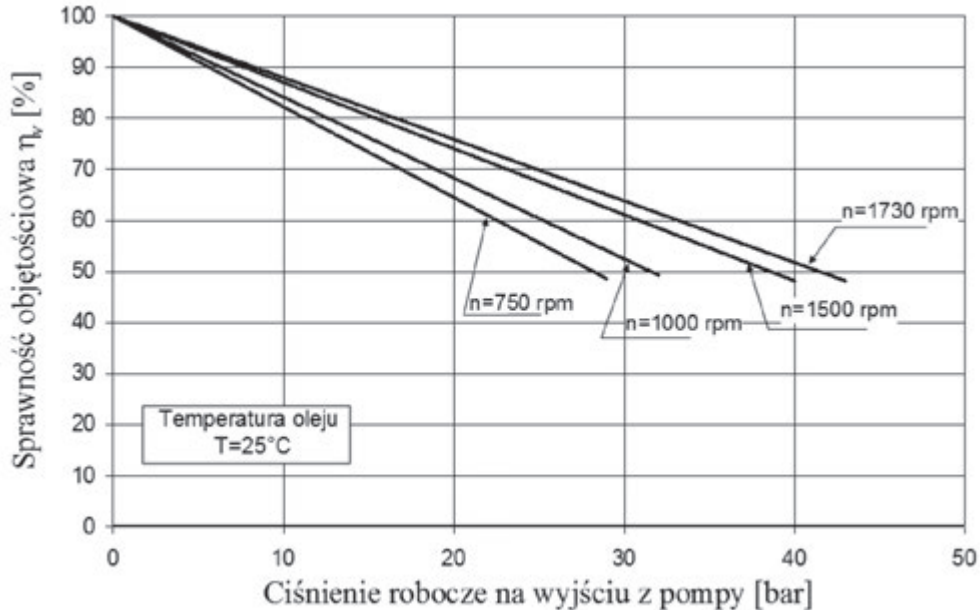
Rys. 8. Stanowisko badawcze w Laboratorium ZPKMiT 1 – silnik napędowy, 2 – badana pompa, 3 – układ hydrauliczny obciążający, 4 – aparatura pomiarowa

Fig. 8. The test stand in the ZPKMiT laboratory 1 - motor, 2 - the test pump, 3 - the loading hydraulic system 4 - measuring equipment

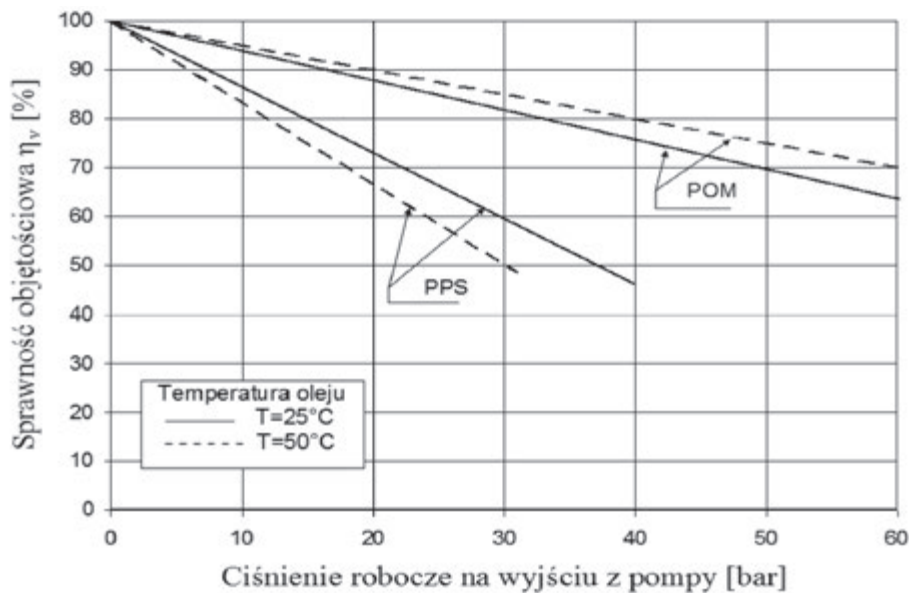
(3) oraz aparatury pomiarowej (4). Czynnikiem roboczym był olej hydrauliczny.

Wyniki badań sprawności objętościowej pompy z kołami wykonanymi z PPS pokazano na rysunku 9.

użyte koła wykonane z PPS. Pompa z powodzeniem pracowała w zakresie ciśnienia roboczego 0 – 4 [MPa]. Podwyższenie temperatury oleju z $T=25^{\circ}\text{C}$ do $T=50^{\circ}\text{C}$, nie wpłynęło na polepszenie sprawności pompy. PPS jest bardziej stabilnym



Rys. 9. Sprawność objętościowa pompy z kołami wykonanymi z PPS
Fig. 9. Volumetric efficiency of pump with gears made of PPS



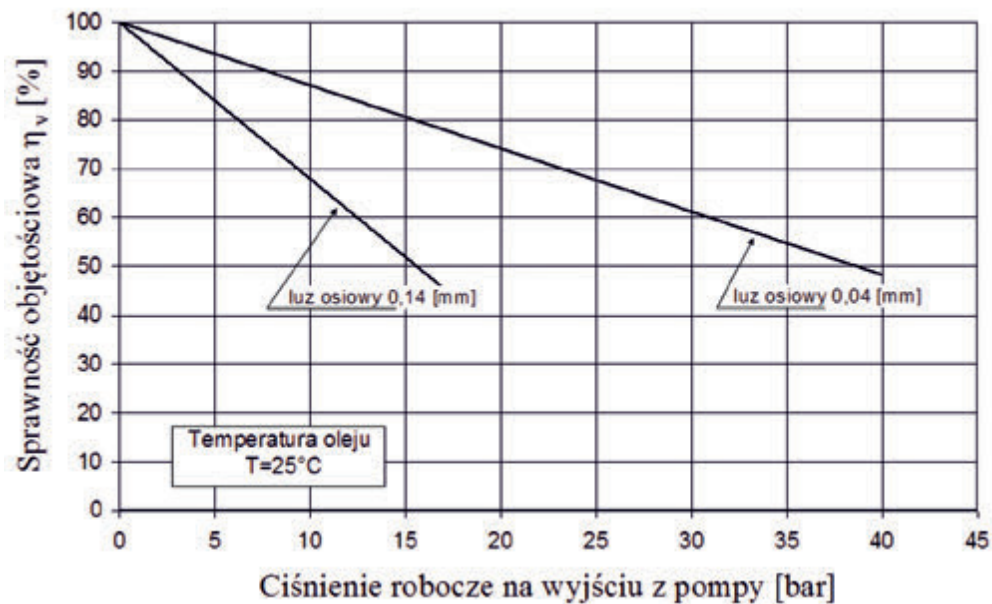
Rys. 10. Porównanie sprawności objętościowej pompy gerotorowej z kołami z POM i PPS
Fig. 10. Comparison of the volumetric efficiency of the gerotor pump with gears made of POM and PPS

Z rysunku 9 wynika, że pompa z powodzeniem może pracować w zakresie prędkości obrotowej 750 – 1730 obr./min. Maksymalna wartość ciśnienia roboczego 4,3 [MPa] została uzyskana przy najwyższej prędkości 1730 obr./min.

Rysunek 10 przedstawia porównanie wyników badań sprawności objętościowej kół wykonanych z POM oraz kół wykonanych z PPS, przy różnych temperaturach czynnika roboczego. W pierwszej fazie do badań zostały wykorzystane koła wykonane z POM. Pompa pracowała w zakresie ciśnienia roboczego 0 - 6 [MPa]. Podwyższenie temperatury oleju z $T=25^{\circ}\text{C}$ do $T=50^{\circ}\text{C}$, spowodowało podwyższenie wydajności objętościowej. Było to spowodowane zwiększeniem wymiarów kół w wyniku działania temperatury, dzięki czemu luzy osiowe i promieniowe się zmniejszyły, co doprowadziło do samo uszczelnienia się pompy. [2] W drugiej fazie do badań zostały

użyte koła wykonane z PPS. Pompa z powodzeniem pracowała w zakresie ciśnienia roboczego 0 – 4 [MPa]. Podwyższenie temperatury oleju z $T=25^{\circ}\text{C}$ do $T=50^{\circ}\text{C}$, nie wpłynęło na polepszenie sprawności pompy. PPS jest bardziej stabilnym

materiałem, nie zmienia ona swoich wymiarów pod wpływem temperatury. Na rysunku 11 pokazano wyniki badań sprawności objętościowej pompy z kołami z PPS przy różnych luzach osiowych. Rysunek pokazuje, że zmniejszenie luzu spowodowało zwiększenie sprawności pompy o 100%. PPS jako materiał jest bardziej stabilny niż wcześniej badany POM, ma on bardzo niski współczynnik absorpcji wody oraz niską rozszerzalność cieplną, w trakcie pracy koła nie zmieniły swoich wymiarów. Fakt ten daje możliwość planowania luzów z większą dokładnością już na etapie projektowania, gdyż w przypadku PPS dokładność wykonania elementów ma znaczący wpływ na osiągnięcia pompy.



Rys. 11. Sprawność objętościowa pompy gerotorowej z kołami z PPS, przy różnych luzach osiowych
 Fig. 11. Volumetric efficiency of gerotor pump with gears made of PPS at different axial clearances

Podsumowanie

Badania teoretyczne i eksperymentalne pompy gerotorowej z kołami zębatymi z tworzyw sztucznych, potwierdzają, iż tworzywa sztuczne jako materiał konstrukcyjny może być stosowany w hydraulice. Pompa z powodzeniem pracowała przy prędkościach obrotowych do 1730 obr./min, przy zakresie ciśnienia roboczego na wyjściu z pompy ($p = 4 - 5$ [MPa]) i w różnych temperaturach oleju hydraulicznego ($T = 25^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$). Zarówno POM jak i PPS mogą być stosowane do wytwarzania elementów maszyn hydraulicznych. POM okazał się materiałem mniej stabilnym. Pod wpływem temperatury w kołach wykonanych z POM pojawiła się niestabilność wymiarowa. Jednakże spowodowało to samo uszczelnienie pompy i poprawienie jej charakterystyk. W przypadku PPS rozwiązania konstrukcji zespołu kół, a także dokładność wykonania, mają znaczący wpływ na parametry techniczne pompy. Jest on materiałem bardziej stabilnym, nie rozszerza się pod wpływem temperatury, dlatego też należy dokładniej planować luzy już na etapie projektowania.

Wyniki badań potwierdzają, iż przyjęty tok postępowania przy projektowaniu kół zębatych z tworzyw sztucznych sprawdził się i że w dalszych fazach badań należy go nadal stosować.

Literatura

- [1] Biernacki K., Stryczek J., *Analysis of stress and deformation in plastic gears used in gerotor pumps*. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, October 2010, vol. 45, Issue 7, pages 465-479
- [2] Stryczek J., Bednarczyk S., Biernacki K., *Application of plastics in manufacture of the gerotor pump*, The Twelfth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 18-20.2011, Tampere, Finland
- [3] Stryczek J., Bednarczyk S., Biernacki K., Wołodźko J., *Koncepcja układu hydraulicznego z elementami wykonanymi z tworzyw sztucznych.*, Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne 2012, SIMP, Maj 16-18.2012, Wrocław
- [4] Bonanno A., *Materiali plastici, caratte ristiche a limitti.*, Oleodinamica Pneumatica, aprile 2008, p-p 68-73.
- [5] Belzowski, A. ; Stróżyk, P., *Assessment of repair reinforcement of polyester-glass fibre pipe*. KOMPOZYTY Nr 2/2008, pages. 179-184
- [6] Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T., *Advanced finite element method in the load – bearing structures*, Publishing House of Wrocław University of Technology, Wrocław 2000