

Leszek GIL*
Piotr IGNACIUK*
Andrzej NIEWCZAS**

BADANIA ZUŻYCIA ELEMENTÓW UKŁADU WTRYSKOWEGO SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM ZASILANEGO PALIWAMI ROŚLINNYMI

W artykule przedstawiono wyniki stanowiskowych badań zużycia tribologicznego sekcji tłoczących rzędowych pomp wtryskowych. Przeanalizowano charakter uszkodzeń zużyciowych tłoczka sekcji przy zasilaniu pompy wtryskowej standardowym olejem napędowym oraz biopaliwem na bazie estrów oleju lnianki. Badania przeprowadzono na pompach wtryskowych firmy MOTORPAL wykorzystywanych w silniku 4CT90.

Słowa kluczowe: zużycie tribologiczne, aparatura wtryskowa, silnik spalinowy, paliwa roślinne, właściwości tribologiczne

WSTĘP

Coraz szersze zastosowania paliw pochodzenia roślinnego wprowadzają nowe pytania między innymi o odmienne skutki ich stosowania zwłaszcza w różnych temperaturach otoczenia. Największe różnice dotyczą zmian lepkości i zachowania się paliwa w niskich temperaturach [7]. Szczególnie istotnym parametrem jest lepkość, która decyduje o jakości rozpylania paliwa oraz o jakości uszczelnienia i problemach smarowania par precyzyjnych [8]. Procesy tribologiczne stanowią jedną z głównych przyczyn uszkodzeń eksploatacyjnych aparatury wtryskowej silników o zapłonie samoczynnym. W silnikach ZS paliwo stanowi nie tylko medium energetyczne, ale też jest środkiem smarnym dla współpracujących elementów układu wtryskowego [5]. Jako czynnik smarujący paliwo powinno posiadać odpowiednią lepkość i smarność. Lepkość paliwa nie może być

* mgr inż. Leszek GIL, dr inż. Piotr IGNACIUK - Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

** prof. dr hab. inż. Andrzej NIEWCZAS - Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej; Wydział Transportu i Informatyki Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji w Lublinie

zbyt wysoka, ponieważ utrudnia to proces wtrysku, ale też nie powinna być zbyt niska z uwagi na warunki tworzenia filmu olejowego wpływającego na zużycie [6].

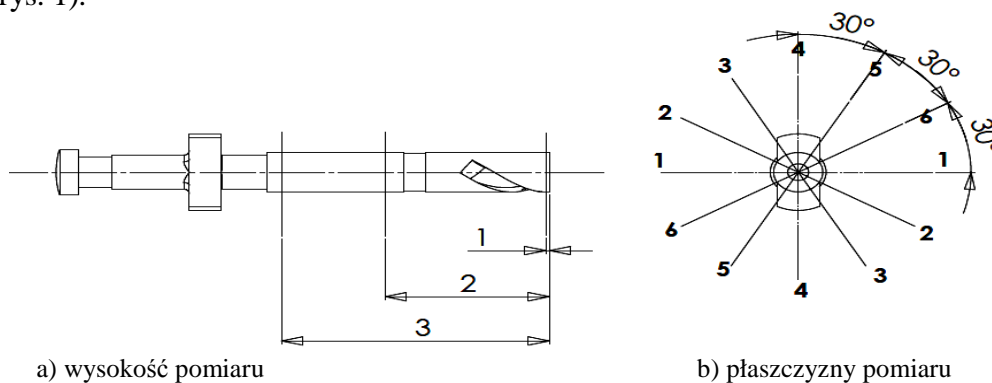
1. METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Ocena zużycia i naprawa pary precyzyjnej tłoczek - cylinderek jest przedsięwzięciem trudnym, wymagającym dobrej znajomości budowy i działania aparatury paliwowej oraz dużego doświadczenia w zakresie obróbki technologicznej współpracujących części. Badania zużyciowe precyzyjnie wykonanych par kinematycznych pompy wtryskowej związane z koniecznością jej demontażu zakłócają współpracę dopasowanych par i ograniczają możliwości dokładnej prognozy zużycia sekcji tłoczących. Pary precyzyjne wyróżniają się spośród innych podzespołów aparatury paliwowej bardzo dokładnym wykonaniem i małymi luzami [2]. W prezentowanej pracy do badań wykorzystano stanowisko, na którym dwie równoległe pracujące pompy wtryskowe zasilano różnymi paliwami. Jedna pompa zasilana była olejem napędowym, zaś druga specjalnie przygotowanymi do badań estrami oleju lnianki. W czasie badań zliczano ilość cykli pracy (obrotów), jaką wykonały pompy w czasie badań. Analizę uszkodzeń aparatury wtryskowej ograniczono do opisu mechanizmu zużycia sekcji tłoczących. Ustalono początkowe parametry geometryczne i funkcjonalne sekcji, które są podstawą do określenia zużycia tłoczków. W trakcie badań kontrolowano następujące parametry wpływające na prawidłowe funkcjonowanie aparatury wtryskowej:

- ciśnienie i temperaturę paliwa w układzie zasilania pomp wtryskowych;
- jakość rozpylania paliwa;
- prędkość obrotową pomp wtryskowych;
- szczelność połączeń w układzie paliwowym;
- natężenie prądu pobieranego przez silnik elektryczny napędzający badane pompy oraz temperaturę silnika.

Pomiary wielkości geometrycznych

Na początku badań zmierzono wybrane parametry geometryczne nowych sekcji wtryskowych. Określono wartości początkowe wymiarów elementów poddanych analizie zużycia. Następnie wykonano pomiary po przepracowaniu na stanowisku badawczym 20 mln cykli. Kolejne pomiary wykonano po przepracowaniu 60 mln cykli. Pomiary zostały wykonane w trzech strefach wysokości tłoczka sekcji wtryskowej, tj. nad krawędzią sterującą oraz w górnej i dolnej części prowadzącej. Średnice były mierzone na tłoczku co 30° (rys. 1).

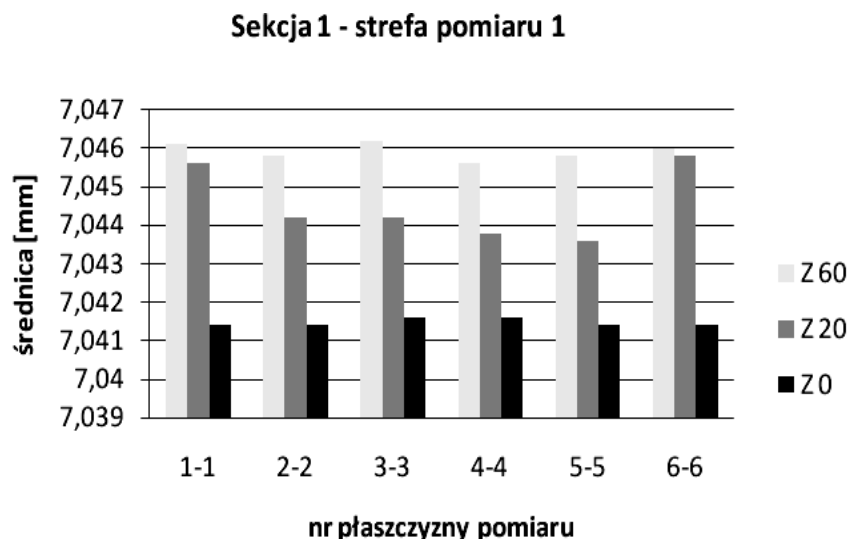


Rys. 1. Miejsca (strefy) pomiarów średnicy tłoczka sekcji wtryskowej

Źródło: Opracowanie własne

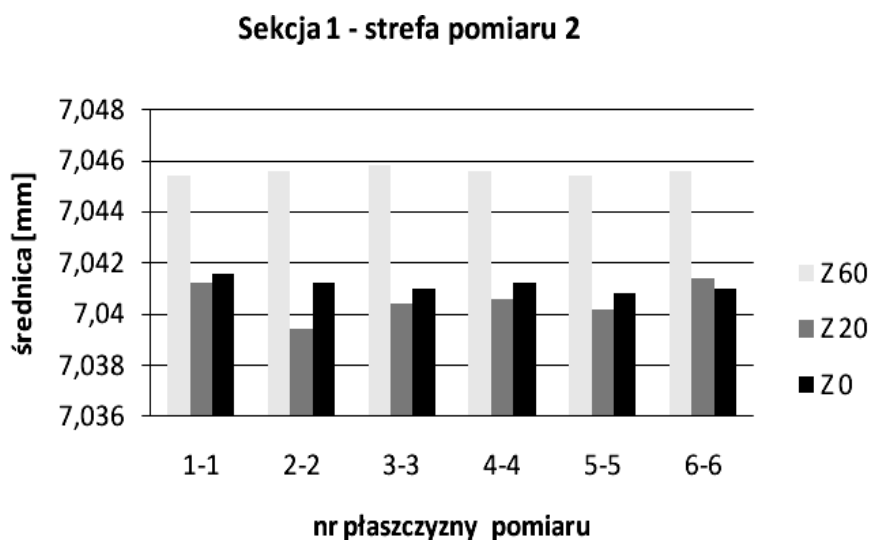
2. WYNIKI BADAŃ

Wybrane wyniki pomiarów z pomp wtryskowych zasilanych olejem napędowym (ON) i estrami lnianki (EL) przedstawiono na rysunkach 2-7.



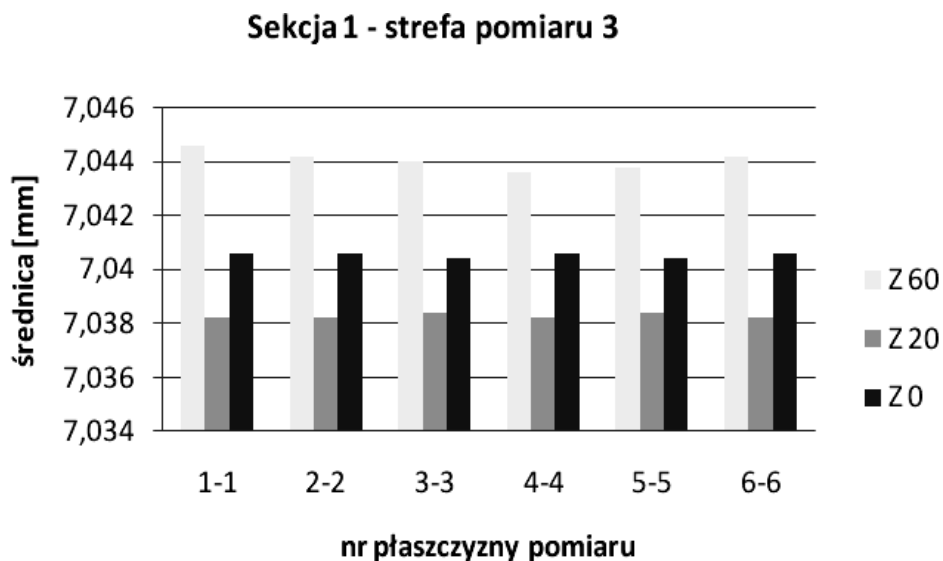
Rys. 2. Średnice nad krawędzią sterującą tłoczka 1 sekcji wtryskowej zasilanej ON; (Z 60) – 60 mln cykli, (Z 20) – 20 mln cykli, (Z 0) – 0 cykli

Źródło: Opracowanie własne



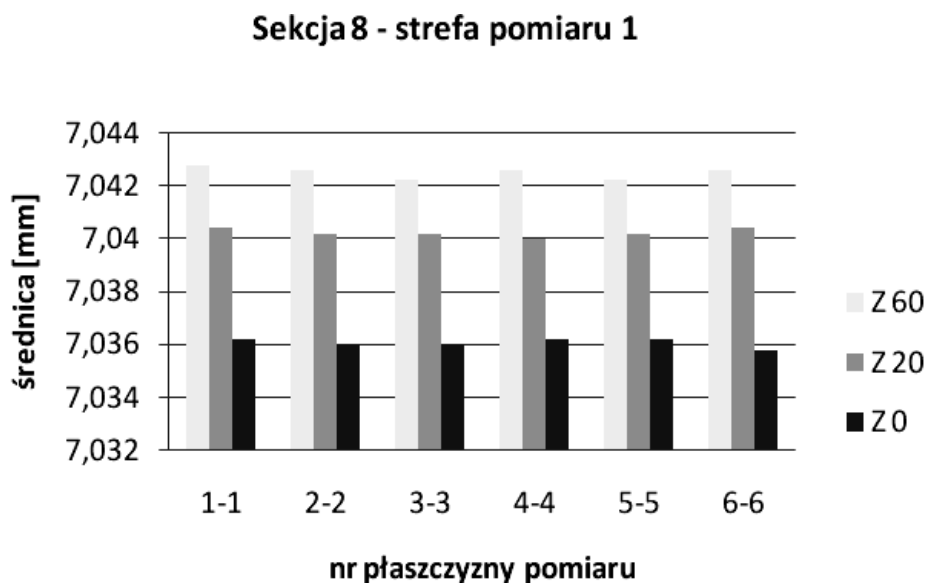
Rys. 3. Średnice na części prowadzącej tłoczka 1 sekcji wtryskowej zasilanej ON; (Z 60) – 60 mln cykli, (Z 20) – 20 mln cykli, (Z 0) – 0 cykli

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4. Średnice na części prowadzącej tłoczka 1 sekcji wtryskowej zasilanej ON; (Z 60) – 60 mln cykli, (Z 20) – 20 mln cykli, (Z 0) – 0 cykli

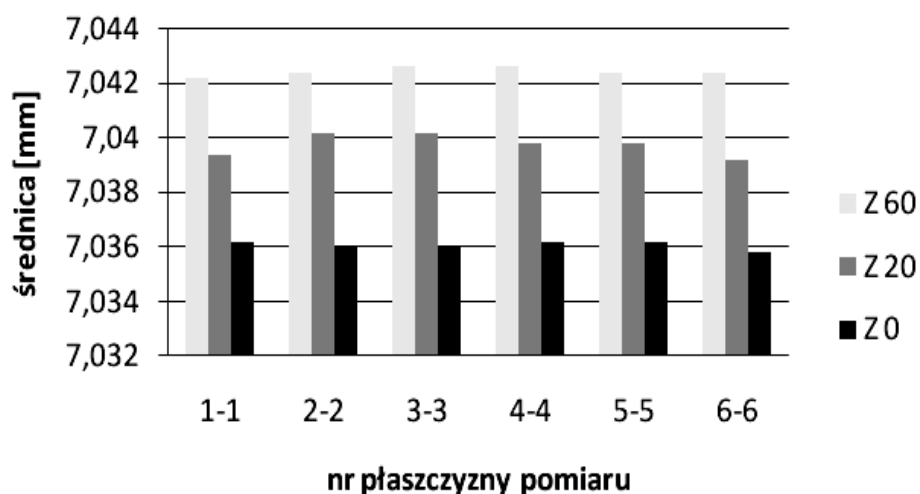
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5. Średnice nad krawędzią sterującą tłoczka 8 sekcji wtryskowej zasilanej EL; (Z 60) – 60 mln cykli, (Z 20) – 20 mln cykli, (Z 0) – 0 cykli

Źródło: Opracowanie własne

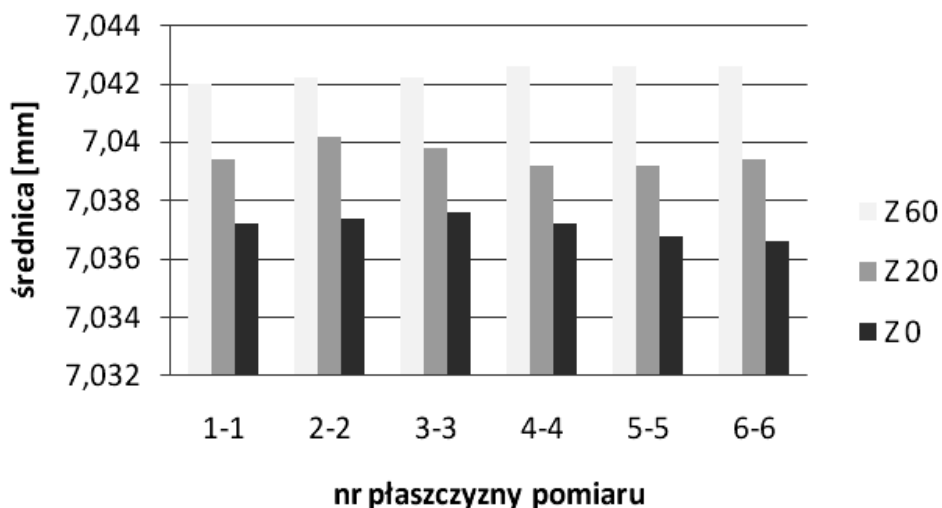
Sekcja 8 - strefa pomiaru 2



Rys. 6. Średnice na części prowadzącej tłoczka 8 sekcji wtryskowej zasilanej EL; (Z 60) – 60 mln cykli, (Z 20) – 20 mln cykli, (Z 0) – 0 cykli

Źródło: Opracowanie własne

Sekcja 8 - strefa pomiaru 3

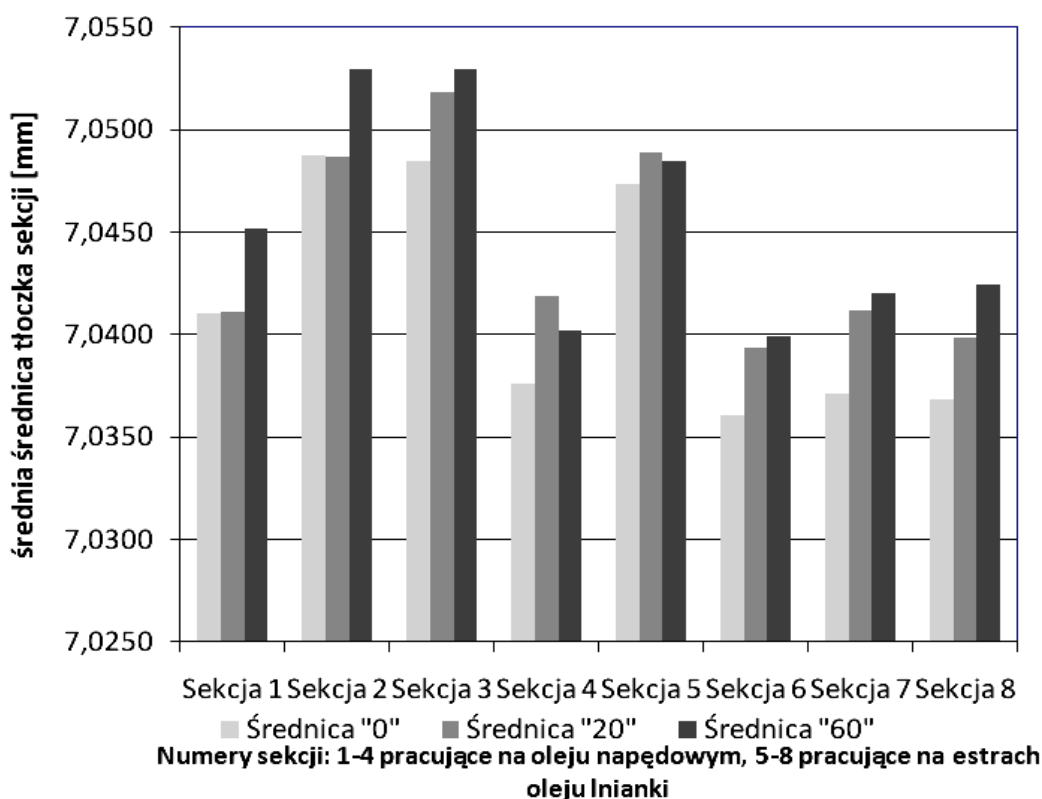


Rys. 7. Średnice na części prowadzącej tłoczka 8 sekcji wtryskowej zasilanej EL; (Z 60) – 60 mln cykli, (Z 20) – 20 mln cykli, (Z 0) – 0 cykli

Źródło: Opracowanie własne

3. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

Analizując zużycie tłoczków sekcji wtryskowych, można zaobserwować przyrosty ich średnic w czasie eksploatacji. Przyrosty te mogą być spowodowane powstawaniem laków na powierzchni tłoczka. Przyrost średnic jest obserwowany zarówno w sekcjach zasilanych estrami lnianki, jak i w sekcjach zasilanych standardowym olejem napędowym. Na rysunku 8 przedstawiono uśrednione wyniki pomiarów badanych sekcji wtryskowych dokumentujące przyrost średnic tłoczków. Największe przyrosty w przypadku zastosowania estrów lnianki występowały w przedziale czasu pracy (liczby cykli obciążenia) od 0 do 20 mln cykli. Natomiast w przypadku zastosowania oleju napędowego dwie sekcje wykazały największy przyrost średnic tłoczka w przedziale 0 do 20 mln cykli, natomiast pozostałe - w przedziale od 20 do 60 mln cykli.



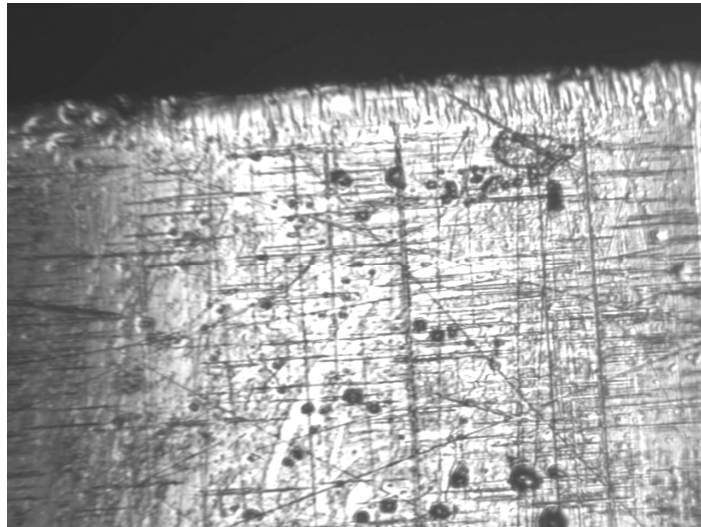
Rys. 8. Wyniki pomiarów średnic tłoczka pary precyzyjnej po długotrwałej pracy na stanowisku badawczym

Źródło: Opracowanie własne

Dodatkowo wykonano pomiary błędów okrągłości tłoczków oraz wybranych parametrów chropowatości powierzchni tłoczka. Uzupełniająco przeprowadzono obserwacje mikroskopowe powierzchni tłoczków (rys 9).

Analizując wyniki pomiarów mikrometrycznych i obserwacji mikroskopowych stwierdzono, że nie pozwalają one na miarodajną ocenę zużycia par precyzyjnych. W związku z powyższym rozszerzono zakres badań o pomiary szczelności sekcji tłoczących. Mierzono czas spadku ciśnienia w ustalonym przedziale ciśnień. Obserwowano monotoniczne zmniejszanie się czasu spadku ciśnienia w przedziałach pomiarowych

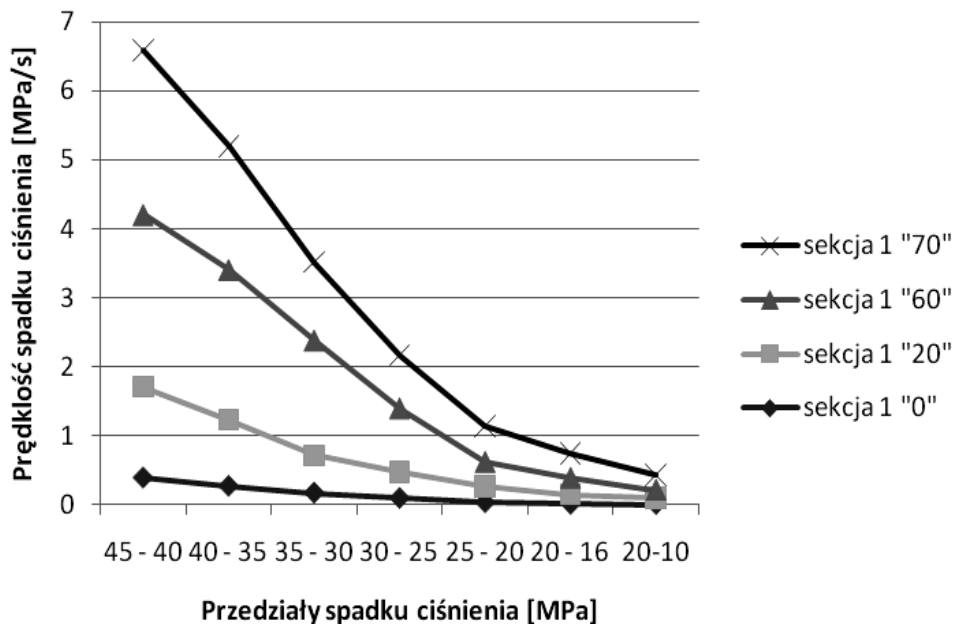
ustalonego ciśnienia. Wzrost prędkości spadku ciśnienia był tym większy, im dłuższy był czas uprzedniej pracy (liczby cykli obciążenia) sekcji tłoczących.



Rys. 9. Przykładowy obraz mikroskopowy tłoczka (powiększenie 125x)

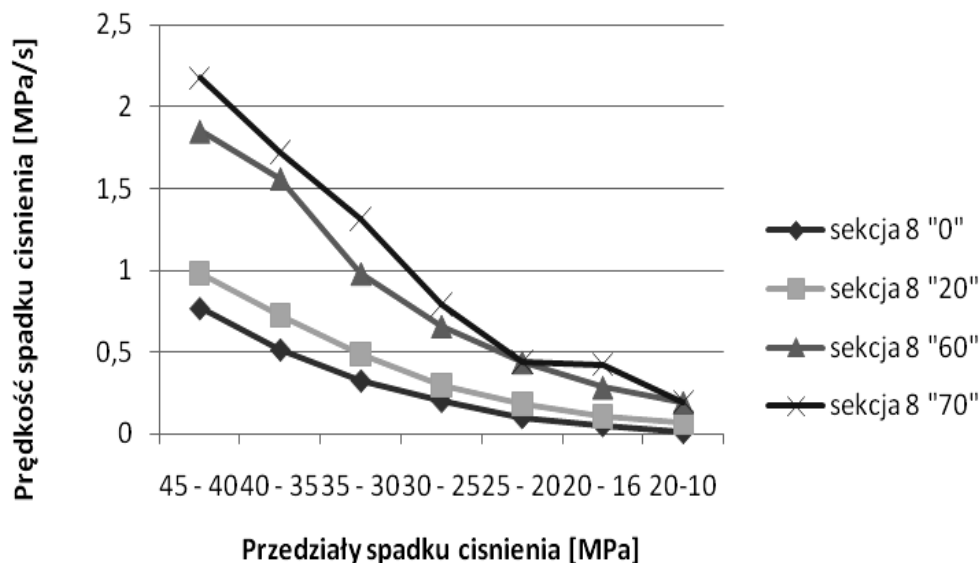
Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 10 przedstawiono charakterystyki zmian prędkości spadku ciśnienia w funkcji przedziału spadku ciśnienia wybranej sekcji tłoczącej zasilanej standardowym olejem napędowym, natomiast na rysunku 11 – analogicznie, przy zasilaniu estrami oleju lnianki.



Rys. 10. Charakterystyki zmian prędkości spadku ciśnienia wybranej sekcji tłoczącej (nr 1) zasilanej olejem napędowym (ON)

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 11. Charakterystyki zmian prędkości spadku ciśnienia wybranej sekcji tłoczącej (nr 8) zasilanej estrami oleju lnianki (EL)

Źródło: Opracowanie własne

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że zastosowanie estrów oleju lnianki jako paliwa w silniku ZS nie zwiększa zużycia elementów pary precyzyjnej pompy wtryskowej w stosunku do oleju napędowego.

Ponadto dokonano oceny charakteru procesu zużywania pary precyzyjnej oraz metodyki pomiarów zużycia. Nie stwierdzono mierzalnych efektów zużycia ściernego w postaci zmniejszenia średnicy tłoczka sekcji tłoczącej pomimo zastosowania bardzo dokładnej metody pomiarowej o dokładności 0,0002 [mm]. Natomiast zaobserwowano systematyczny przyrost średnicy tłoczka. Przyrost ten mógł być powodowany odkładaniem się warstwy laków powstających z paliwa na powierzchni mierzonych elementów.

Metody mikrometryczne uznano jako nieprzydatne w ocenie zużycia elementów sekcji tłoczącej. W szczególności dotyczy to pomiarów chropowatości (stosowanych np. w ocenie zużycia łożysk tocznych) oraz pomiarów mikrometrycznych średnicy elementu tłoczącego. Natomiast stwierdzono przydatność pomiarów szczelności do oceny zużycia pary precyzyjnej. W trakcie badań obserwowano systematyczny spadek szczelności sekcji. Uznano, że wynika on z lokalnych uszkodzeń powierzchni współpracujących elementów pary precyzyjnej cylinder-tłoczek wywołanych mikroskrąwaniem i bruzdowaniem przez ziarna zanieczyszczeń.

LITERATURA

- [1] Czechłowski M., Krysztofiak A., Adamski M., Antczak W., *Wpływ stosowania oleju rzepakowego jako paliwa na trwałość aparatury wtryskowej silników ZS*, [w:] „Inżynieria Rolnicza”, 12/2006.
- [2] Falkowski H., Janiszewski T., Łojek A., Michalski A., *Aparatura paliwowa silników wysokoprężnych, część II, naprawa*, WKiŁ, Warszawa 1985.

- [3] Falkowski H., Krępec T., *Obsługa i naprawa aparatury paliwowej silników wysokopięznych*, WKiŁ, Warszawa 1979.
- [4] Kałdoński T., *Badanie i modelowanie procesów zużywania ściernego hydraulicznych par precyzyjnych*, WAT, Warszawa 2008.
- [5] Niewczas A., Ignaciuk P., Gil L., *Metoda oceny zużycia tribologicznego sekcji tłoczących pomp wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym zasilanych biopaliwami*, [w:] „Bioagrotechnical systems engineering”, vol.6 (22), Płock 2010.
- [6] Sułek M. W., Kulczycki A., Małysa A., *Ocena smarności mieszanin estrów metylowych kwasów tłuszczowych otrzymywanych z olejów roślinnych w oleju napędowym*, [w:] „Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie”, 4/2009, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2009.
- [7] Szlachta Z., *Zasilanie silników wysokopięznych paliwami rzepakowymi*. WKiŁ, Warszawa 2002.
- [8] Zwierzycki W., *Paliwa, oleje, motoryzacyjne płyny eksploatacyjne*, Rafineria nafty „Glimar” S.A. w Gorlicach, współpraca wydawnicza: Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu, Radom 1998.

INVESTIGATION OF WEAR OF INJECTION SYSTEM COMPONENTS IN DIESEL ENGINE FUELED WITH VEGETABLE FUELS

Summary

The paper presents the results of test-stand experiments of the pumping sections of the in-line injection pumps. The analysis included damage of the piston occurring when the pump was supplied with regular diesel fuel and methyl esters of linseed dodder. The research was conducted with MOTORPAL injection pumps used in the 4CT90 diesel automotive engine.

Key words: *tribological wear, injection system, diesel engine, vegetable fuels, tribological properties*

Artykuł recenzował: prof. dr hab. inż. Janusz MYSŁOWSKI