

METHODOLOGY OF DURABILITY TEST OF DIESEL ENGINE INJECTION SYSTEMS

Marek Rajewski, Jerzy Walentynowicz

Military University of Technology
Faculty of Mechanics

ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw Poland
tel./fax: +48 22 6839546

e-mai: j.walentynowicz@wme.wat.edu.pl, m.rajewski@wme.wat.edu.pl

Abstract

Original test stands for durability tests of injection system are presented. Every power systems, control systems and check systems are described in detail. On this stand can be investigated eight completed injection systems simultaneously. Using board computers programs the speed run and position of governor lever are programmed. The temperatures of fuel are recorded from many points of injection system. Durability tests of injection systems from selected military vehicles were made on this stand. Methodology of durability test of complete injection systems for selected diesel engines was presented. Investigations are made in accordance with test AEP-5, defined in NATO Standard STANAG 4195. Methods of current checking of technical condition of injection systems during investigations. Components of the single segment of the research stand, Examples of propulsion systems of injection pumps, Injectors sets, Fuel system of the investigation stand, Fuel flow measurement system, Investigation of technical state of pressure sets, Fuel temperature in the first sections of injecting pumps of two engines are demonstrated in the paper. Performed original stand for research durability injection' systems of engines with the self-ignition it realized all established requirements and remained prosperously put-upon during durability research.

Keywords: combustion engines, injection systems, durability test

METODYKA BADAŃ TRWAŁOŚCIOWYCH UKŁADÓW WTRYSKOWYCH SILNIKÓW O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Streszczenie

W referacie przedstawiono oryginalne stanowisko do badań trwałościowych układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym. Opisano poszczególne układy napędu, sterowania i bieżącej kontroli pracy układów wtryskowych. Na stanowisku można jednocześnie badać osiem kompletnych układów wtryskowych. Programowane są przebiegi prędkości obrotowej i położenia dźwigni regulatora pompy wtryskowej. W sposób ciągły rejestrowana jest temperatura w wielu miejscach układu wtryskowego. Przedstawiono również metodykę badań trwałościowych układów zasilania wybranych silników o zapłonie samoczynnym. Badania prowadzone są w oparciu o test AEP-5, zdefiniowany w porozumieniu normalizacyjnym STANAG 4195. Opisano metody bieżącej kontroli stanu technicznego układów wtryskowych podczas badań. Zespoły pojedynczego segmentu stanowiska badawczego, Rozwiązania napędów pomp wtryskowych, Zespoły wtryskiwaczy, Układ paliwowy stanowisk badawczego, Układ pomiaru przepływu paliwa, Badania stanu technicznego zespołu tłoczącego, Przebieg temperatury paliwa w pierwszej sekcji pompy wtryskowej dwu silników są przedstawione w artykule. Wykonane, oryginalne stanowisko do badania trwałości układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym spełniło wszystkie założone wymagania i zostało z powodzeniem wykorzystane podczas badań trwałościowych wybranych układów wtryskowych silników pojazdów wojskowych.

Słowa kluczowe: tłokowe silniki spalinowe, badania trwałościowe, układy wtryskowe

1. Wstęp

Trwałość zespołów silników spalinowych zależy od warunków pracy, czyli od przebiegu zmian obciążenia i prędkości obrotowej. Nie bez znaczenia są także zmiany warunków współpracy elementów silników, które mogą ulegać zmianie przy demontażu i powtórny montażu.

Okoliczności takie występują w przypadku badań trwałościowych i niezawodnościowych układów wtrysku paliwa. Badania takie prowadzone na stanowisku dynamometrycznym byłyby niewątpliwie najbardziej powtarzalne i zbliżone do warunków użytkowania silników, jednak byłyby kosztowne, albowiem zawierałyby one również cenę zużytych silników, awarii, spalonego paliwa i wyposażenia hamowni. Dlatego uzasadnione wydaje się prowadzenie takich badań na specjalizowanych stanowiskach symulujących w możliwie najbardziej dokładny sposób pracę układu wtryskowego na silniku. Opracowanie metodyki badań trwałościowych układów wtryskowych było celem przedstawionej pracy. Osiągnięcie celu badań wymagało rozwiązania następujących problemów:

- określenie i odtworzenie zmian prędkości obrotowej pompy wtryskowej i przebiegu dawkowania paliwa, występujących w pojeździe,
- konieczność realizacji wielu powtarzalnych cykli pracy układu wtryskowego,
- dokonania wyboru metod oceny bieżącego i okresowego zużycia elementów układu wtryskowego,
- prowadzenia kontroli właściwości paliwa w trakcie prób i oceny ich zmian.

Objektami badań były układy zasilania silników stosowanych do napędu samochodów ciężarowych i pojazdów specjalnych.

2. Stanowisko badawcze

Założono, że stanowisko badawcze powinno składać się z niezbędnej liczby oddzielnych segmentów z układami wtryskowymi, o niezależnym napędzie i sterowaniu. Każdy segment o zbliżonej budowie składał się z następujących układów:

- kompletnego układu wtryskowego,
- układu sterowania silnikiem elektrycznym napędzającym pompę wtryskową i paliwową,
- układu sterującego położeniem dźwigni regulatora,
- układu kontroli pracy stanowiska składającego się z mierników temperatury oraz układów do pomiarów przecieków paliwa z wtryskiwaczy.

Ogólny widok stanowiska przedstawiono na rysunku 1. Widoczne są na nim dwa rzędy silników elektrycznych napędzających poszczególne układy wtryskowe



Rys. 1. Ogólny widok stanowiska badawczego
Fig. 1. View of test stand

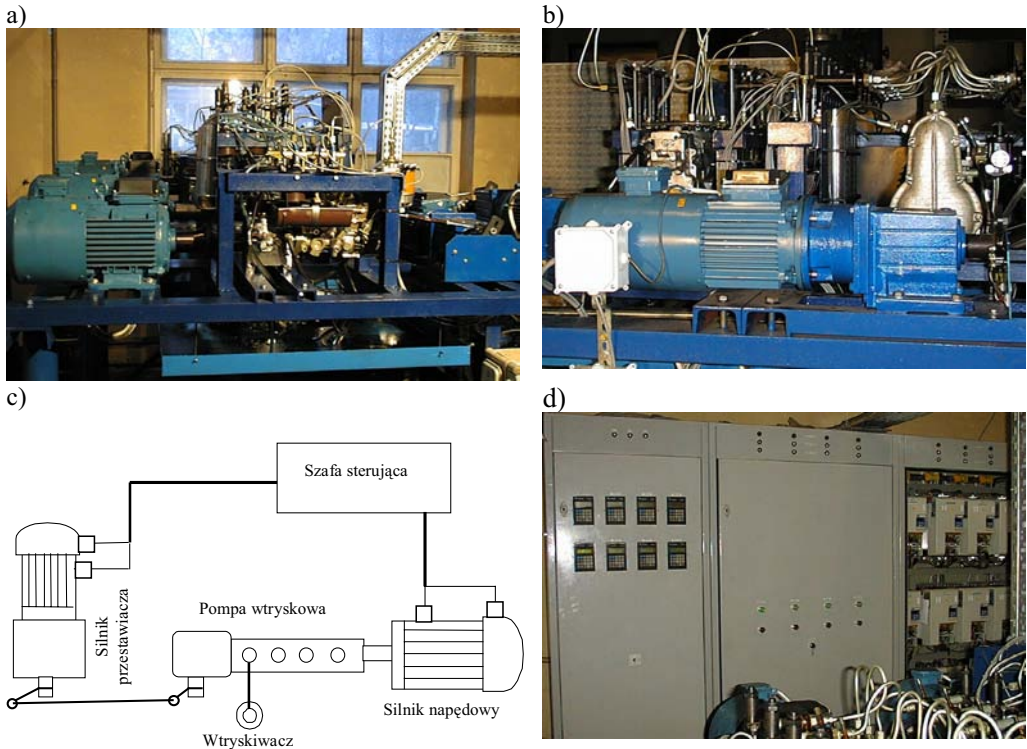
Pompa wtryskowa każdego z tych układów była napędzana oddzielnym silnikiem elektrycznym symulującym jej napęd od wału korbowego silnika (rys. 2a). Silniki wyposażono w przemienniki częstotliwości, które umożliwiały płynną regulację ich prędkości obrotowej.

Dawkowanie paliwa było zmieniane za pomocą drugiego silnika elektrycznego prądu przemiennego z reduktorem, którego dźwignię połączono z regulatorem prędkości obrotowej pompy wtryskowej (rys. 2b). Schemat połączeń silników elektrycznych przedstawiono na rys. 2c.

Sterowanie prędkością obrotową pomp wtryskowych oraz położeniem dźwigni regulatora odbywało się za pomocą programowanych mikrokomputerów, z których każdy nadzorował pracę pojedynczego segmentu (rys. 2d). Wszystkie zespoły sterowania silnikami elektrycznymi znajdowały się w szafie, w której także umieszczono pulpity operatorskie, umożliwiające programowanie pracy poszczególnych silników elektrycznych stanowiska. W trybie

automatycznym mogły być realizowane zadane fazy pracy układu wtryskowego, opisane przez czas trwania fazy, prędkość obrotową pompy i położenie dźwigni regulatora. Umożliwiało to odtwarzanie na stanowisku odpowiednio zaprogramowanego testu badawczego.

Połączenie silników elektrycznych z pompami wtryskowymi wymagało odpowiednich sprzęgieł, albowiem połączenia te są różne w różnych silnikach. Na przykład w niektórych pompach trzeba było ominąć rozbudowane przestawiacze kąta początku wtrysku paliwa oraz wykonać układy napędu pomp zasilających. Napęd taki trzeba było wykonać dla układu wtryskowego silnika W-46, który jest zasilany za pomocą pompy PLU-6, napędzanej w pojeździe od mechanizmu przekładniowego silnika. Tę pompę zasilającą przymocowano do ramy obok pompy wtryskowej i napędzano za pomocą paska klinowego z wału silnika elektrycznego napędu pompy wtryskowej (rys. 3a). Jeszcze bardziej skomplikowany jest napęd pompy wtryskowej i zasilającej z silnika 4CT90. Pompa wtryskowa tego silnika jest mocowana kołnierzowo do końca obudowy, w której umieszczony jest wałek łączący zespół kół zębatach z przodu silnika z pompą wtryskową. Wałek obraca się na łożyskach ślizgowych, smarowanych z układu olejenia silnika, a jednocześnie na wałku znajduje się mimośród napędzający pompę paliwową. Dlatego trzeba było wykonać cały nowy zespół umożliwiający zamontowanie pompy wtryskowej i zasilającej oraz smarowanie wałka (rys. 3b).



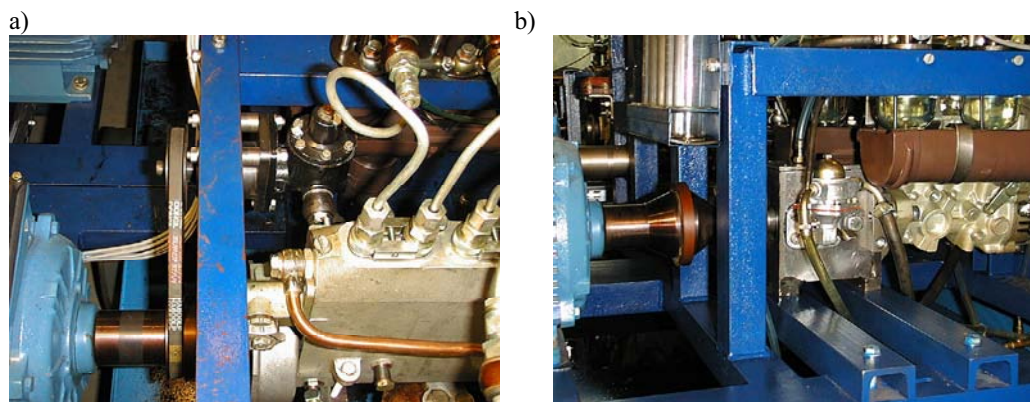
Rys. 2. Zespoły pojedynczego segmentu stanowiska badawczego:

- a - pompa wtryskowa z silnikiem elektrycznym, b - silnik z reduktorem do napędu dźwigni regulatora, c - schemat połączeń stanowiska, d - sterownik silników elektrycznych

Fig. 2. Components of the single segment of the research stand

- a - injection pump with electric motor with reduction gear for governor level propulsion, c - scheme of stand connection, d - electric motor controller

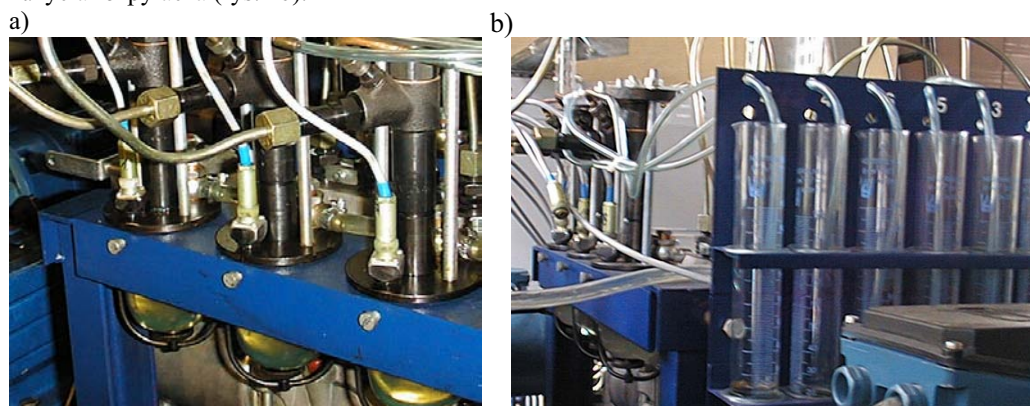
Paliwo tłoczone przez pompy wtryskowe przepływało do wtryskiwaczy umieszczonych w zbiorniczkach uspokajających, wypełnionych paliwem (rys. 4a). Były to szklane pojemniki z zanurzonymi w nich rozpylaczami. Pojemniki te pozwalały na obserwację i kontrolę wtrysku paliwa oraz ewentualne uchwycenie poważniejszych niesprawności pracy wtryskiwaczy, a wtrysk paliwa do zbiorniczka wypełnionego paliwem zapobiegał jego rozpyleniu w powietrzu. Paliwo odpływało ciągłą strugą ze zbiorniczków do chłodnic i dalej do centralnego zbiornika.



Rys. 3. Rozwiązania napędów pomp wtryskowych: a) silnika W-46, b) silnika 4CT90
Fig. 3. Examples of propulsion systems of injection pumps: a) for engine W-46, b) for engine 4CT90

Zbiorniczki były umieszczone w dwóch rzędach obok pomp wtryskowych, ze względu na stosowane standardowe przewody wtryskowe. W każdym zbiorniczku znajdował się termoelement.

Paliwo przepływające między iglicą i korpusem rozpylacza było odprowadzane do menzurerek. Umożliwiało to pomiar ilości przepływającego paliwa, a tym samym pozwalało na bieżącą ocenę zużycia rozpylacza (rys. 4b).



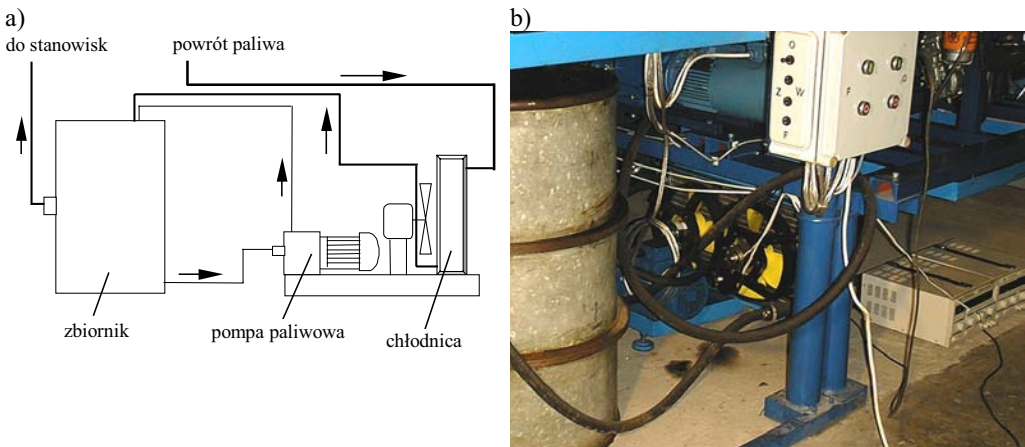
Rys. 4. Zespoły wtryskiwaczy: a) zbiorniczki uspokajające z termoelementami, b) menzurki do pomiarów przecieków z wtryskiwaczy,
Fig. 4. Injectors sets: a) cushion bulbs with thermoelements, b) glass cylinders for fuel linkages measurements from injectors

Pod rzędem segmentów z pompami wtryskowymi umieszczono zbiorniki z paliwem oraz chłodnice paliwa (rys. 5). Dzięki temu zmniejszono powierzchnię zabudowy stanowiska.

Cztery pojedyncze segmenty z układami wtryskowymi były zasilane z jednego głównego zbiornika paliwa. Do zbiornika dodatkowego odprowadzano paliwo z rynienek ściekowych. Były to niewielkie ilości paliwa z tzw. przelewów lub innych nieszczelności, często zmieszane z olejem smarującym i innymi zanieczyszczeniami. Jako zbiorniki zastosowano ustawione pionowo metalowe beczki na paliwo. W miejscu oryginalnego korka w środku beczki wkręcono korek z otworem umożliwiającym podłączenie przewodów zasilających odpowiednie układy wtryskowe. Paliwo odpływające ze zbiorniczków uspokajających służyło do chłodnic i po schłodzeniu było kierowane do zbiorników (rys. 5a). Zastosowano aluminiowe chłodnice z dwoma wentylatorami każda. Wentylatory chłodnic były włączane ręcznie po przekroczeniu założonej temperatury paliwa. Dodatkowa pompa paliwa, napędzana silnikiem elektrycznym, wymuszała cyrkulację paliwa znajdującego się w zbiorniku (zasysała paliwo z dna beczki i wlewała je przez otwór w korku górnym) w celu ujednoczenia rozkładu jego temperatury.

Całe stanowisko zostało zbudowane z dwóch czterosegmentowych zespołów, zasilanych z oddzielnych zbiorników paliwa.

Podczas badań stanowisko było nadzorowane przez zespół kamer umieszczonych ponad stanowiskiem na statywach. Obraz z tych kamer przekazywano do kabiny sterowniczej, w której znajdował się również komputer, do którego były dołączone mierniki temperatury ze wszystkich punktów pomiarowych stanowiska. Parametry te były rejestrowane na bieżąco oraz wyświetlane na monitorze, co pozwalało na szybką reakcję w przypadku jakichkolwiek nieprawidłowości w funkcjonowaniu zespołów stanowiska.



Rys. 5. Układ paliwowy stanowisk badawczego: a) schemat układu, b) zbiornik paliwa oraz jego układ chłodzenia
Fig. 5. Fuel system of the investigation stand: a) scheme of the system, b) fuel tank and its cooling system

Bieżący stan układów wtryskowych określano na podstawie pomiaru temperatury paliwa i oleju w wybranych miejscach tych układów.

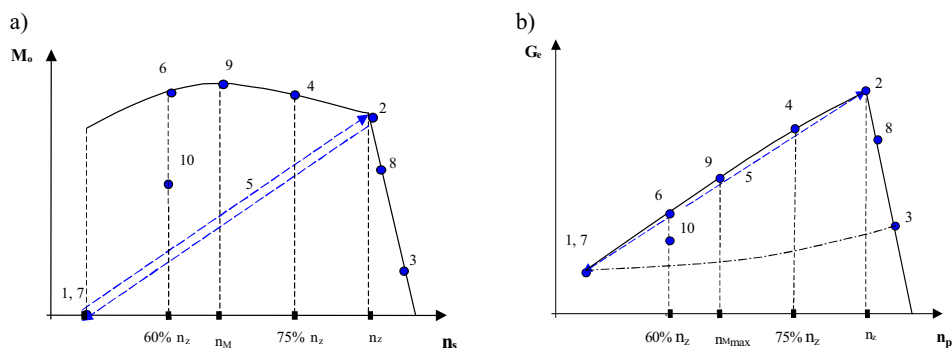
Do pomiaru temperatury zastosowano wielokanałowy system pomiarowy składający się z czujników oporowych rozmieszczonych w 77 punktach stanowiska i 7 wzmacniaczy wyposażonych w wyświetlacze oraz moduły umożliwiające połączenie ich z komputerem pomiarowym, rejestrującym bieżące zmiany temperatury. Każdy tor pomiarowy wyposażony był w układ autodiagnostyki, a stwierdzone awarie były sygnalizowane za pomocą sygnałów dźwiękowych i świetlnych. Termoelementy były rozmieszczane w każdym zbiorniczku uspokajającym, w kanałach paliwowych pomp wtryskowych, w układach smarowania pomp, mierzono również temperaturę otoczenia w pobliżu stanowiska. Wyniki pomiarów temperatury

paliwa przedstawiane były w tabeli na ekranie komputera i rejestrowane okresowo podczas pracy stanowiska.

3. Metodyka badań

Warunki pracy układów wtryskowych na stanowisku badawczym mogą być dowolnie programowane, także zgodnie z wymaganiami niezawodnościowego testu badawczego AEP-5. Jest to test wprowadzony w państwach NATO na podstawie porozumienia normalizacyjnego STANAG 4195 i przeznaczony do oceny porównawczej niezawodności tłokowych oraz turbinowych silników spalinowych. Charakteryzuje się zdefiniowanymi okresowymi zmianami obciążenia silnika i jego prędkości obrotowej, w ciągu 400 godzinnej pracy silnika, podzielonej na 10-cio godzinne cykle. Cykle te muszą być realizowane w całości i oddzielone kilkugodzinną przerwą na obniżenie temperatury badanego silnika do temperatury otoczenia. Można łączyć, co najwyżej po dwa cykle pracy silnika bez jego wystudzenia. Każdy dziesięciogodzinny cykl pracy dzieli się na 10 faz pracy silnika o różnym czasie trwania (tab. 1). Są one wykonywane kolejno na stanowisku dynamometrycznym (rys. 6a).

Aby odtworzyć te cykle na stanowisku, na którym były zamontowane tylko układy wtryskowe, wykorzystano fakt, że każdej fazie pracy silnika odpowiada określone położenie dźwigni regulatora i prędkość obrotowa pompy wtryskowej (rys. 6b). Wykorzystując charakterystyki zużycia paliwa przez silnik określono położenie dźwigni regulatora dla punktów 1, 3, 7 i 10. W tym celu w układach wtryskowych zamontowano przepływomierz i przy zadanych prędkościach obrotowych zmieniano położenie dźwigni regulatora przy odpowiednim przepływie paliwa. Dotyczy to punktu częściowego obciążenia silnika w punkcie 10. Pozostałe punkty były umieszczone na zewnętrznej charakterystyce dawkowania i do ich realizacji wystarczyło ustawienie dźwigni regulatora w maksymalne położenie oraz sprowadzenie prędkości obrotowej silnika elektrycznego do zadanej wartości.



Rys. 6. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w 400 – godzinnym teście AEP-5 a – we współrzędnych moment obrotowy – prędkość obrotowa silnika n_s , b – we współrzędnych godzinowe zużycie paliwa – prędkość obrotowa pompy wtryskowej n_p

Fig. 6. The arrangement of measurement points during individual AEP-5 test cycles a – at coordinates: torque – engine speed n_s , b – at coordinates: fuel consumption – injecting pump speed n_p

Pomiar przepływu paliwa wykonano w ten sposób, że do jednej sekcji pompy podłączono wtryskiwacz pomiarowy, z którego paliwo odprowadzane było do przepływomierza, za pomocą którego mierzono natężenie przepływu paliwa wtryskiwanego przez tę sekcję (rys. 7). Określone wartości położenia dźwigni regulatora zapisywano do pamięci sterownika sterującego określonym segmentem stanowiska. Przykład ustawianych parametrów dla całego cyklu 10-godzinnego przedstawiono w tabeli 1.

Do zespołów, których zużycie w czasie eksploatacji silnika wpływa najbardziej istotnie na proces wtrysku paliwa do komory spalania silnika zaliczono:

- zespół tłoczek i cylinderek,
- zaworek odcinający (korektor hydrauliczny dawki paliwa),
- zespół korpus i iglica rozpylacza.

Każdy z tych zespołów był sprawdzany okresowo.

Stan techniczny zespołu tłoczek – cylinderek sprawdzano podłączając do króćca pompy wtryskowej przewód wtryskowy z rozpylaczem wzorcowym, jakim był odpowiednio przygotowany rozpylacz fabryczny o starannie wyregulowanym ciśnieniu otwarcia (rys. 8).

Tab. 1. Cykle pracy silnika SW 680 według testu AEP-5

Tab. 1. Engine operation cycles SW 680 according to the AEP-5 test

Lp.	Warunki pracy silnika		Czas pracy silnika	Warunki pracy układu wtryskowego	
	Prędkość [obr/min]	Moment [Nm]		n_p [obr/min]	P [%] lub G_e [dm ³ /h]
1	500	0	30 min	250	0 %
2	2200	770	2 hrs	1100	100 %
3	2380	0	30 min	1190	100 %
4	1650	880	60 min	825	100 %
5	500-2200	0-907 4min - 6min	2 hrs	250/1100	0/100 %
6	1320	890	30 min	660	100 %
7	500	0	30 min	250	0 %
8	1268	625	30 min	1134	100 %
9	1400	907	2 hrs	700	100 %
10	1320	445	30 min	660	2.67 dm ³ /h



Rys. 7. Układ pomiaru przepływu paliwa
Fig 7. Fuel flow measurement system

Pomiędzy przewód wtryskowy i króciec wtryskiwacza wstawiono dokładny tensometryczny czujnik ciśnienia w przewodzie wtryskowym, a przebiegi ciśnienia rejestrowano przy maksymalnej dawce paliwa oraz przy prędkości obrotowej wałka pompy wtryskowej:

- rozruchowej prędkości obrotowej $n_p = 150$ obr/min,
- prędkości momentu maksymalnego silnika lub 60 % prędkości znamionowej silnika,
- znamionowej prędkości obrotowej silnika.

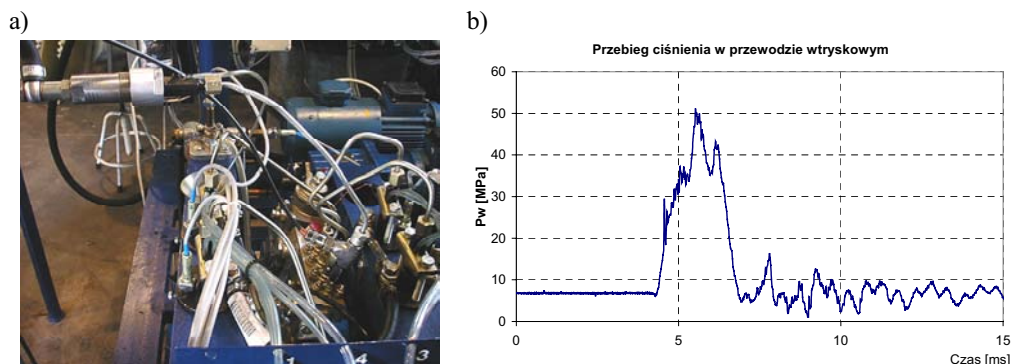
Na podstawie tych przebiegów określano szczelność sekcji wtryskowej pompy oraz działanie zaworka odcinającego będącego jednocześnie hydraulicznym korektorem dawki paliwa.

Po zatrzymaniu pompy wtryskowej i podłączeniu manometru do przewodu wtryskowego, zwiększeniu ciśnienia do ok. 40 MPa oraz ustawieniu badanej sekcji w górnym położeniu mierzono czas spadku ciśnienia w przewodzie wtryskowym, będący miarą szczelności zaworka odcinającego. Po podniesieniu ciśnienia do założonej wartości, odcinano sekcję tłoczącą próbnika od

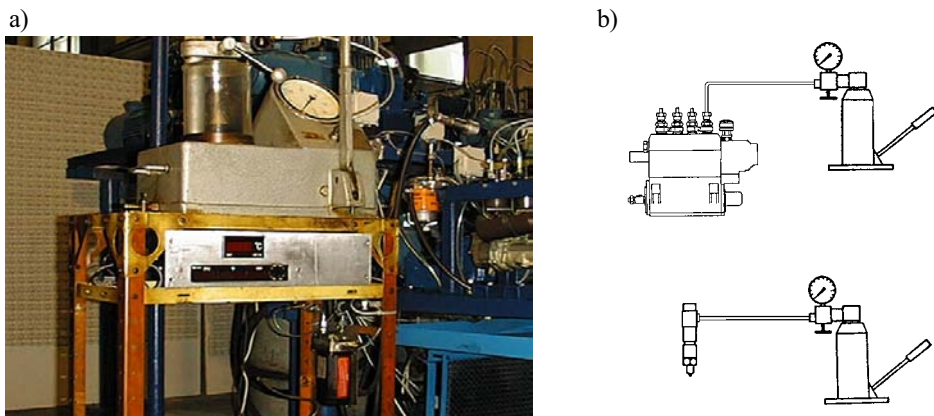
układu paliwowego tak, aby ewentualne wycieki paliwa odbywały się jedynie przez badane złozenie, a nie przez wewnętrzne układy próbnika.

Miarą zużycia rozpylacza są przecieki paliwa przez szczelinę między iglicą rozpylacza i jego korpusem. Paliwo to jest następnie odprowadzane z korpusu rozpylacza przez tzw. przewody przelewowe. Szczelność tego połączenia sprawdzano podobnie jak szczelność zaworka odcinającego, wytwarzając w układzie zwiększone ciśnienie paliwa i obserwując jego spadek na manometrze kontrolnym. Do wytworzenia ciśnienia celem sprawdzenia szczelności połączenia wykorzystano próbnik ciśnienia PRW-1 z dołączonym dokładnym manometrem sprężynowym.

Szczelność połączenia iglicy i korpusu rozpylacza była na bieżąco kontrolowana na podstawie pomiarów ilości paliwa zgromadzonego w menzurkach pomiarowych stanowiska. Ilość paliwa w tych menzurkach była mierzona po zakończeniu każdego dziesięciogodzinnego cyklu pracy stanowiska.



Rys. 8. Badania stanu technicznego zespołu tłoczącego: a) urządzenia pomiarowe, b) przebieg ciśnienia paliwa
 Fig. 8. Investigation of technical state of pressure set: a) equipment, b) fuel pressure



Rys. 9. Metodyka oceny zużycia elementów układu wtryskowego: a) aparatura, b) schematy połączeń
 Fig 9. Methodology of wear measurements of injection system elements: a) apparatus, b) connection schema

W trakcie badań kontrolowano na bieżąco i rejestrowano temperaturę w kilku miejscach poszczególnych układów wtryskowych:

- w przewodzie, którym paliwo dopływało do pompy zasilającej,
- w filtrach paliwa,
- w kanale paliwowym pompy wtryskowej,
- w zbiorniczkach uspokajających, w których znajdowały się rozpylacze paliwa.

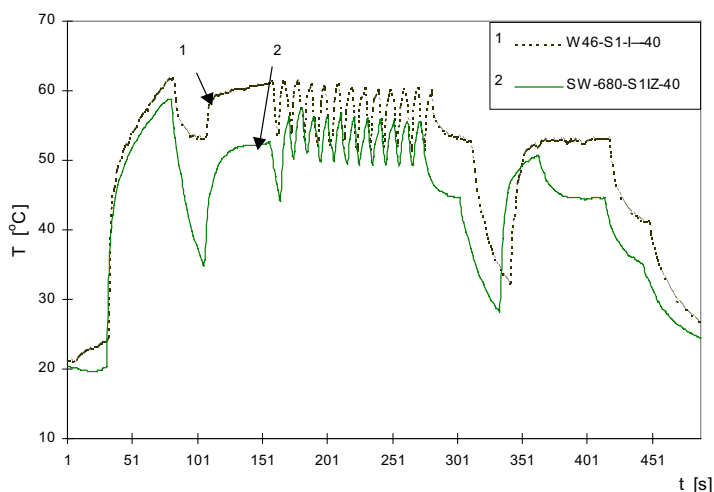
Założono, że wartości tej temperatury zależą od stanu energetycznego paliwa w tych miejscach, a stan ten jest pochodną zachodzących tam procesów związanych z przepływem paliwa. I jakiegokolwiek

zmiany stanu technicznego układu spowodują zmiany temperatury paliwa. Przykładowe przebiegi temperatury paliwa w zbiorniczkach uspokajających podczas jednego cyklu pracy układu wtryskowego przedstawiono na rysunku 10. Widoczne są zmiany temperatury odpowiadające kolejnym stanom pracy układu wtryskowego. Temperatura w zbiorniczku uspokajającym silnika W-46, jest wyższa, ponieważ większa jest dawka paliwa wtryskiwana przez tę pompę.

5. Stabilność parametrów paliwa

Z obserwacji paliwa używanego do prac na stołach probierczych wynikało, że wraz z upływem czasu pracy jego kolor był coraz ciemniejszy, co wskazywało na zmiany właściwości tego paliwa. Dlatego równoległe z badaniami trwałościowymi przeprowadzono badania zmian właściwości paliwa poddawanego okresowo podwyższonemu ciśnieniu i temperaturze. Co 10 godzin pracy stanowiąca w czasie początkowych 100 godzin pracy układu wtryskowego oraz co 50 godzin w pozostałym okresie badań stanowiskowych pobierano próbkę paliwa z układu paliwowego oraz przeprowadzono jego badania na następujących urządzeniach:

1. chromatografii gazowej z detektorem emisji atomowej przy użyciu zestawu GC/AED firmy Hewlett Packard,
2. spektroskopii absorpcyjnej UV-VIS przy użyciu spektrofotometru Helios β firmy Unicam,
3. chromatografii cienkowarstwowej przy użyciu płytek z żelazem krzemionkowym (Merck Nr 5548) i densytometru firmy Shimadzu.



Rys. 10. Przebieg temperatury paliwa w pierwszej sekcji pompy wtryskowej silników W-46 i SW-680 podczas jednego cyklu pracy stanowiska

Fig. 10. Fuel temperature in the first sections of injecting pumps of engines W-46 and SW-680)

Podczas badania na chromatografii gazowej i spektroskopii absorpcyjnej nie stwierdzono żadnych różnic w składzie paliwa. Dlatego wykonano densytogramy rozdzielonych składników każdej z próbek, mierząc absorpcję światła przy $\lambda = 254$ nm. Zaobserwowano przy tym, że wydzielone na starcie składniki paliwa o barwie żółtej wykazują silną fluorescencję, której intensywność znikomo narasta wraz z długością wykorzystywania tego samego paliwa. Paliwo długo wykorzystywane w układzie zamkniętym, w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury zaczyna stopniowo żółknąć i wykazywać coraz większą fluorescencję, cechę charakterystyczną związków, które mają cząstki aromatyczne. Szczególnie intensywną fluorescencję obserwuje się w

przypadku związków zawierających w swej strukturze kilka pierścieni aromatycznych tzw. wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) [1, 3].

W wyniku pirolitycznego oddziaływania na badane paliwa nawet po 100 godzinach obserwuje się tylko nieznaczny i stabilizujący się stopień przemiany związków alifatycznych w WWA. Dowodem na to jest brak możliwości rejestracji i analizy tych zmian za pomocą dość czułych metod, jakimi są chromatografia gazowa i spektroskopia absorpcyjna UV-VIS. Jednocześnie wyraźna zmiana barwy paliw, stabilizująca się w funkcji czasu, świadczyć może o silnej absorpcji światła powstającej mieszaniny różnych związków aromatycznych. Jedynie najczulsza metoda, jaką jest fluorymetria zastosowana do chromatografii cienkowarstwowej, pozwoliła zarejestrować znikome zmiany składu badanych paliw. Świadczy to o dużej stabilności paliwa i dlatego podjęto decyzję o wymianie paliwa po każdych 100 godzinach pracy.

6. Podsumowanie

Wykonane, oryginalne stanowisko do badania trwałości układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym spełniło wszystkie założone wymagania i zostało z powodzeniem wykorzystane podczas badań trwałościowych wybranych układów wtryskowych silników pojazdów wojskowych [2]. Podczas tych badań stanowisko pracowało bez zarzutu, aczkolwiek stwierdzono, że niektóre zastosowane rozwiązania charakteryzowały się zwiększoną zawodnością. Zastosowana metodyka badań trwałościowych układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym była oparta na wymaganiach normy STANAG 4195, a sposób ustawiania warunków pracy pomp wtryskowych odpowiadał cyklowi pracy silnika wg tej normy. Metoda badania tylko samego układu wtryskowego pozwoliła na znaczne obniżenie kosztów badań i prowadzenie ich w dużo większym zakresie niż wynikałoby to z możliwości badawczych na stanowisku dynamometrycznym. Do oceny bieżącego stopnia zużycia zastosowano metody bezdemontażowe, które pozwalają na znacznie szybszą kontrolę bieżącego zużycia układów wtryskowych, bez pracochłonnego demontażu.

Literatura

- [1] Crittenden, B.D., Longreen, L., *Carcinogenesis –A Comprehensive Survey*, vol. 1, Raven, New York 1976.
- [2] Kałdoński, T., Rajewski, M., Walentynowicz, J., *Injectin system durability testing of 4CT90 engines supplied with F-34 fuel*, Problems with introducing a single fuel concept in the land forces, Military University Of Technology, Faculty Mechanical Engineering, strony 294-309, Warsaw 2003.
- [3] Lang, K. F., Buffleh, H., Zander, M., Erdöl. Kohle , 16, , 944 1963.