

Marek Rajewski

Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu
00-908 Warszawa, ul. ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
e-mail: mrajewski@wat.edu.pl

WPLYW PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH ROZPYLACZY NA WŁAŚCIWOŚCI UŻYTECZNE SILNIKA ZASILANEGO PALIWEM LOTNICZYM

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu parametrów konstrukcyjnych rozpylacza (średnicy otworków i kąta rozstawienia strug paliwa) na uzyskiwane parametry pracy w silniku zasilanym paliwem lotniczym Jet A1. Stwierdzono, że możliwa jest poprawa parametrów użytecznych silnika zasilanego paliwem lotniczym poprzez dobór parametrów konstrukcyjnych rozpylacza. Badania wykazały, że optymalne parametry pracy silnika uzyskano dla rozpylacza o średnicy otworków 0,34 mm i kącie rozstawienia strug paliwa 150°.

Słowa kluczowe:

parametry konstrukcyjne rozpylacza, paliwo lotnicze.

WSTĘP

Problem zaopatrywania wojsk zmechanizowanych w paliwa jest bardzo istotnym problemem logistycznym. Stanowią one od 50 do 70% materiałów dostarczonych walczącym wojskom. Sprowadzenie tak dużej ilości paliwa w warunkach oddziaływania przeciwnika na system komunikacyjny i składy jest zadaniem bardzo trudnym. Dlatego dąży się do ujednoczenia paliwa tak, aby ograniczyć jego asortyment do jednego rodzaju dla wojsk lądowych i lotnictwa, ale jednocześnie w każdej

sytuacji istotne znaczenie może mieć możliwość wykorzystania lokalnych źródeł paliw, które swymi właściwościami są zbliżone do paliwa podstawowego.

Zastosowanie w tłokowym silniku spalinowym paliwa lotniczego zamiast oleju napędowego wpływa na proces wtrysku, tworzenia mieszanki i jej spalanie. Jednak jak dowodzą wyniki wcześniejszych prac [7] nie są to zmiany duże, gdyż stosunkowo małe są również różnice właściwości tych paliw. Jedną z możliwych metod dopasowania silnika do własności tego paliwa byłaby zmiana konstrukcyjna jego rozpylaczy, które są stosunkowo tanimi elementami, a jednocześnie decydują o jakości rozpylenia paliwa i jego spalaniu.

Celem przedstawionej pracy było zbadanie wpływu średnicy otworków i kąta rozstawienia strug paliwa na parametry użyteczne silnika zasilanego paliwem lotniczym traktowanym zarówno jako potencjalne jednolite paliwo do pojazdów wojskowych, jak również ewentualne paliwo zastępcze.

ZAKRES I PROGRAM BADAŃ

Badania wykonano dla grupy rozpylaczy serii D1MLK różniących się średnicami otworków i kątem rozstawienia strug paliwa.

Do badań wyselekcjonowano dziewięć rozpylaczy o parametrach podanych w tabeli 1. Podstawą wyboru były pomiary geometryczne mikroskopem warsztatowym oraz ich charakterystyki przepływowe wykonane na specjalnym stanowisku przepływowym. Rozpylacze podzielono na trzy grupy w zależności od kąta rozstawienia osi otworków.

Pomiary parametrów pracy silnika wykonano w zakresie użytecznej prędkości obrotowej od 1000 do 2200 obr/min co 200 obr/min. Drugą zmienną była masowa dawka paliwa, od dawki minimalnej do maksymalnej, zmieniana co 20 mg. Wartości dawki przeliczone na godzinowe zużycie paliwa w kilogramach na godzinę dla ustawianych poszczególnych punktów pracy silnika przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Parametry konstrukcyjne badanych rozpylaczy

	Oznaczenie	Średnica otworków d [mm]				d_{sr} [mm]	ΣF_{ow}^* [mm ²]	
		1	2	3	4			
Numer rozpylacza	Grupa I	DILMK 140/2, 130/30	0,322	0,321	0,306	0,328	0,319	0,3204
		DILMK 140/2, 130/34	0,382	0,368	0,360	0,370	0,370	0,4303
		DILMK 140/2, 130/38	0,394	0,391	0,386	0,390	0,390	0,4762
	Grupa II	DILMK 140/2, 140/30	0,330	0,328	0,337	0,329	0,331	0,3442
		DILMK 140/2, 140/34	0,379	0,379	0,366	0,363	0,372	0,4343
		DILMK 140/2, 140/38	0,396	0,400	0,405	0,403	0,401	0,5052
	Grupa III	DILMK 140/2, 150/30	0,292	0,301	0,296	0,305	0,298	0,2784
		DILMK 140/2, 150/34	0,348	0,345	0,352	0,337	0,345	0,3743
		DILMK 140/2, 150/38	0,393	0,400	0,397	0,402	0,398	0,4951

* ΣF_{ow} — suma powierzchni otworków

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Godzinowe zużycie paliwa w punktach pomiarowych [kg/h]

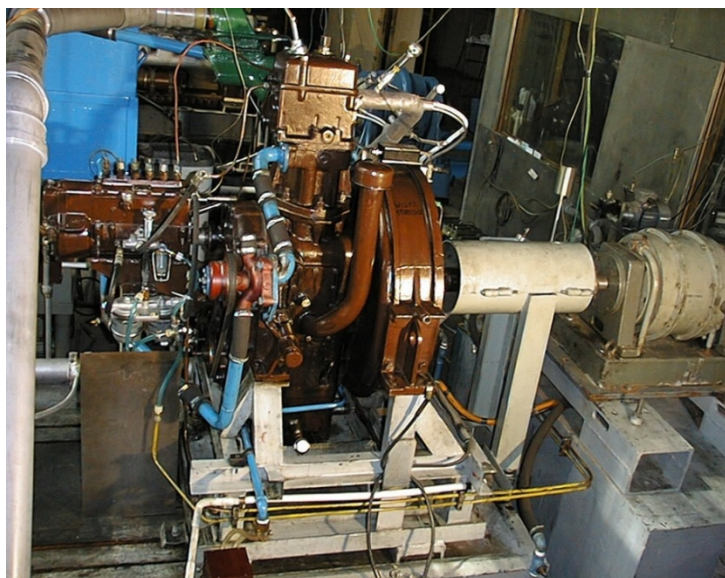
n_s [obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
20 mg	0,6	0,72	0,84	0,96	1,08	1,2	1,32
40 mg	1,2	1,44	1,68	1,92	2,16	2,4	2,64
60 mg	1,8	2,16	2,52	2,88	3,24	3,6	3,96
80 mg	2,4	2,88	3,36	3,84	4,32	4,8	5,28
100 mg	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6

Źródło: opracowanie własne.

STANOWISKO DYNAMOMETRYCZNE Z SILNIKIEM SB 3.1

Badania rozpylaczy wykonano na jednocyndrowym silniku badawczym SB 3.1 (fot. 1.), konstrukcyjnie zbudowanym z elementów silnika sześciocyndrowego SW-680. Silnik obciążany był hamulcem elektrowirowym. Położeniem dźwigni

regulatora pompy wtryskowej sterowano za pomocą serwomechanizmu. Zużycie paliwa mierzono za pomocą przepływomierza masowego. Mierzono także ciśnienie powietrza w kolektorze dolotowym, komorze spalania i przewodzie wtryskowym oraz wznios iglicy rozpylacza i chwilowe położenie wału korbowego silnika.

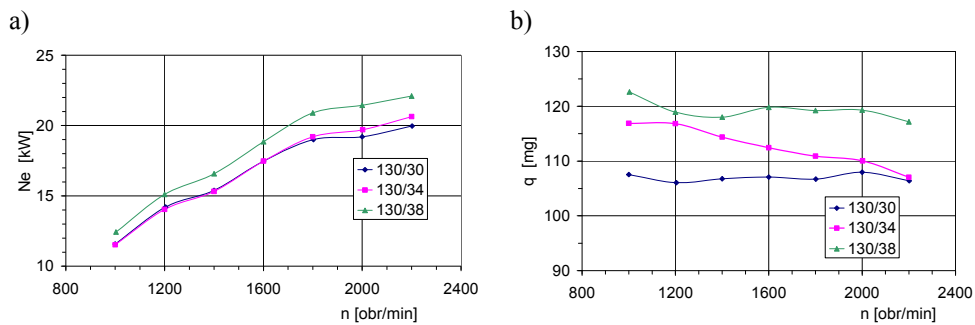


Fot. 1. Stanowisko badawcze z silnikiem SB 3.1

Źródło: zdjęcie wykonane przez autora.

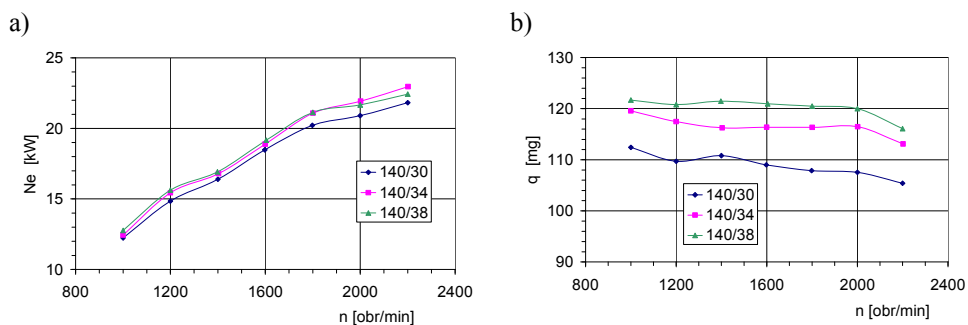
ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie wykonanych pomiarów opracowano charakterystyki zewnętrzne i obciążeniowe zestawione dla grup rozpylaczy o tym samym kącie rozstawienia strug paliwa. Zmiana średnicy otworków rozpylających wpłynęła zdecydowanie na dawkę maksymalną paliwa, zmniejszenie średnicy otworków z 0,39 na 0,32 mm spowodowało zmniejszenie dawki maksymalnej o około 10% przy zmniejszeniu mocy maksymalnej i momentu obrotowego o około 5–8% (rys. 1–3), co świadczy o niewielkim wzroście efektywności spalania wynikającego z lepszego rozpylenia i rozdrobnienia paliwa. Przy czym największą moc silnik uzyskał dla rozpylacza o największej średnicy otworków wypływowych w każdej grupie.



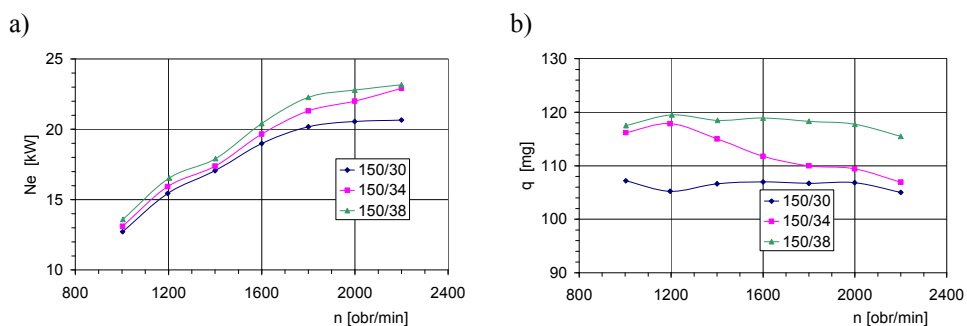
Rys. 1. Charakterystyka zewnętrzna silnika dla rozpylaczy o kącie rozstawienia strug 130°:
a) przebiegi mocy; b) przebiegi maksymalnej dawki paliwa

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna silnika dla rozpylaczy o kącie rozstawienia strug 140°:
a) przebiegi mocy; b) przebiegi maksymalnej dawki paliwa

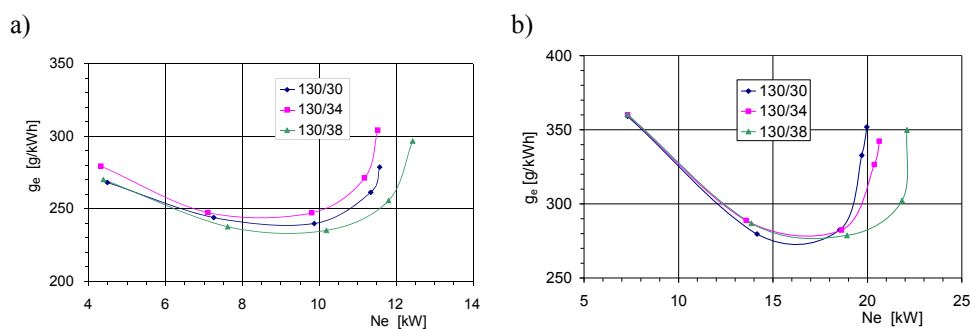
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Charakterystyka zewnętrzna silnika dla rozpylaczy o kącie rozstawienia strug 150°:
a) przebiegi mocy; b) przebiegi maksymalnej dawki paliwa

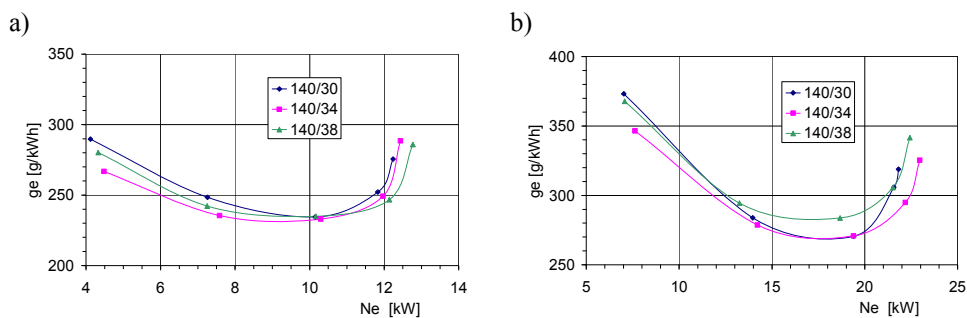
Źródło: opracowanie własne.

Z przebiegu charakterystyk obciążeniowych wynika, że w pierwszej grupie rozpylaczy (kął rozstawienia strug 130°) najlepszą efektywność w zakresie małych i średnich prędkości obrotowych uzyskano dla rozpylacza o największej średnicy otworków, natomiast w zakresie wyższych prędkości obrotowych i średnich obciążen bardziej ekonomiczną pracę uzyskano dla rozpylacza o najmniejszej średnicy otworków (rys. 4.). W grupie rozpylaczy o kącie rozstawienia strug paliwa 140° najlepsze parametry efektywne w całym zakresie obciążen i prędkości obrotowej uzyskano dla rozpylacza o średniej średnicy otworków (rozpylacz 130/34 rys. 5.). W trzeciej grupie w zakresie małych prędkości obrotowych efektywność pracy na wszystkich trzech rozpylaczach była porównywalna, natomiast przy wyższych prędkościach obrotowych korzystniejsze parametry uzyskano dla rozpylacza o najmniejszej średnicy otworków, za wyjątkiem obszaru maksymalnych obciążen, gdzie nastąpił wzrost jednostkowego zużycia paliwa dla tego rozpylacza spowodowany powtórny jego otwarciem w końcowej fazie spalania, wywołany znacznym wzrostem ciśnienia w przewodzie wtryskowym (rys. 6.). Wzrost ciśnienia wynika ze zwiększenia dławienia przy zmniejszeniu średnicy otworków i intensyfikacji zjawisk falowych.



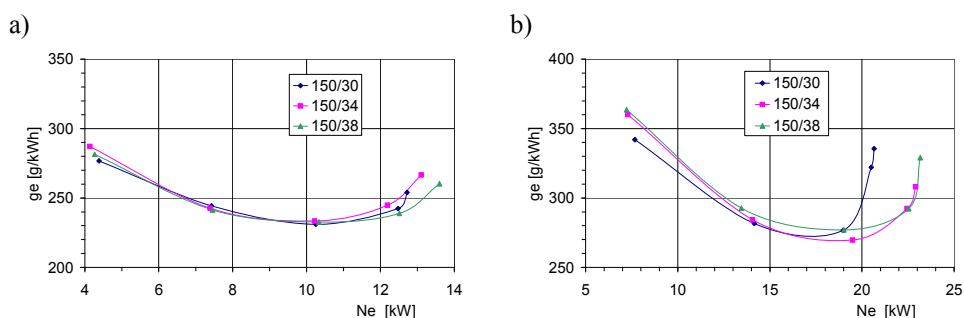
Rys. 4. Jednostkowe zużycia paliwa w funkcji mocy dla rozpylaczy o kącie rozwarcia strug 130° i prędkości obrotowej: a) 1000 obr/min; b) 2200 obr/min

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Jednostkowe zużycie paliwa w funkcji mocy dla rozpylaczy o kącie rozwarcia strug 140° i prędkości obrotowej: a) 1000 obr/min; b) 2200 obr/min

Źródło: opracowanie własne.



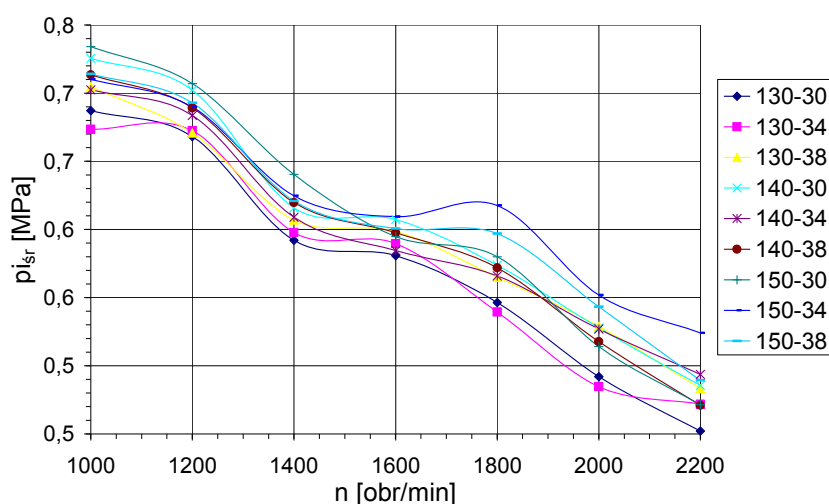
Rys. 6. Jednostkowe zużycie w funkcji mocy o kącie rozwarcia strug 150° i prędkości obrotowej: a) 1000 obr/min; b) 2200 obr/min

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na zastosowany w silniku system wtryskowy (klasyczna pompa tłoczkowa), dla którego dawka objętościowa wynika z położenia kąowego tłoczka w cylinderku, maksymalna masa paliwa podawana podczas jednego obiegu pracy uzależniona była od położenia ogranicznika listwy sterującej oraz gęstości paliwa. Z tego względu dla porównania osiągnięć silnika przy zastosowaniu poszczególnych wtryskiwaczy wyznaczono moc uzyskiwaną z jednostki masy paliwa. Otrzymane wyniki przeanalizowano pod kątem doboru rozpylacza o średnicy i kącie rozstawienia otworków zapewniających uzyskanie parametrów użytecznych silnika porównywalnych z parametrami uzyskanymi przy zasilaniu silnika olejem napędowym. Z analizy wykresów przedstawionych na rysunku 7. wynika, że ze względu na wartość

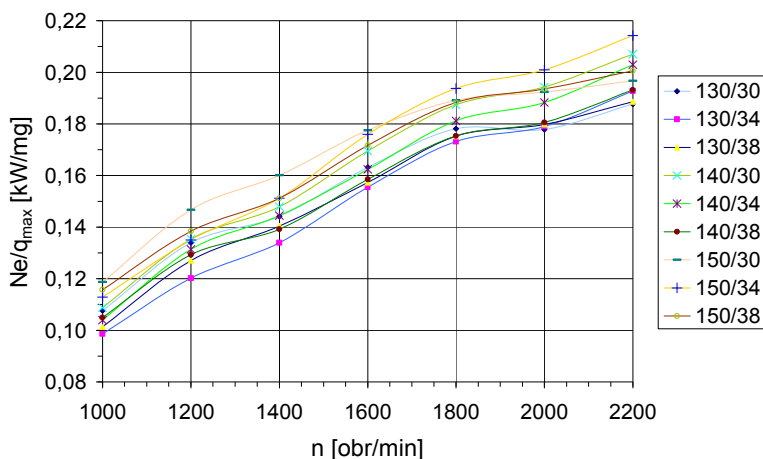
średniego ciśnienia indykowanego najkorzystniejsze parametry pracy silnika uzyskano dla rozpylacza o kącie rozstawienia otworków 150° i średniej (około 0,34 mm) średnicy otworków rozpylających. Podczas pracy silnika na tym rozpylaczu w zakresie niskich prędkości obrotowych uzyskano wartości średniego ciśnienia indykowanego porównywalne z wartościami uzyskanymi przy pracy silnika na standardowym rozpylaczu (kąąt rozwarcia strug 140° i średnica otworków około 0,34 mm), natomiast w zakresie średnich i wysokich prędkości obrotowych dla tego rozpylacza uzyskano wartości wyższe o około 5–6%. Przebiegi mocy uzyskiwanej z 1 mg paliwa (rys. 8.) również potwierdzają lepszą efektywność spalania dla wymienionego wyżej rozpylacza, dla którego uzyskano o około 8% wyższą moc z 1 mg paliwa w całym zakresie prędkości obrotowej dla dawki maksymalnej, porównywalną dla dawek średnich i nieco niższą dla dawek poniżej 80 mg.

Poprawa efektów spalania przy zastosowaniu wtryskiwacza o zwiększonym kącie odchylenia strug paliwa spowodowana jest wolniejszym odparowaniem kropeł paliwa wynikającym ze skierowania strugi w obszar górnej, bliższej głowicy, a więc chłodniejszej części komory.



Rys. 7. Przebiegi średniego ciśnienia indykowanego w funkcji prędkości obrotowej dla poszczególnych wtryskiwaczy i dawki maksymalnej

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. Przebiegi mocy uzyskiwanej z jednostki paliwa w funkcji prędkości obrotowej dla poszczególnych wtryskiwaczy i dawki maksymalnej

Źródło: opracowanie własne.

WNIOSKI

Zmiana średnicy otworków rozpylających wpływa zdecydowanie na dawkę maksymalną paliwa, a zmniejszenie średnicy otworków z 0,39 mm na 0,32 mm spowodowało zmniejszenie dawki maksymalnej o około 10%.

Zmniejszenie dawki maksymalnej spowodowanej zmniejszeniem średnicy otworków można wyeliminować poprzez regulację pompy wtryskowej (zmiana położenia zderzaka listwy zębatej) lub zastosowanie rozpylaczy o większej liczbie otworków rozpylających. Należy jednak pamiętać, że zwiększenie dawki tylko poprzez regulację pompy może spowodować dalszy wzrost ciśnienia w przewodzie wtryskowym.

Przeprowadzone badania porównawcze dla wytypowanej grupy rozpylaczy wykazały, że przy zasilaniu silnika paliwem lotniczym najkorzystniejsze wydaje się zastosowanie rozpylacza o średniej wielkości otworków wypływowych i zwiększonym kącie rozchylenia strug paliwa (rozpylacz o oznaczeniu 150/34), zapewniającego poprawę przebiegu spalania oraz uzyskanie dobrych osiągnięć.

Oddzielnym zagadnieniem jest problem trwałości układu wtryskowego. Z analizy własności paliwa Jet A1 wynika, że może ono mieć niekorzystny wpływ na trwałość przede wszystkim elementów tłoczących układu wtryskowego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baczewski K., Kałdonski T., Walentynowicz J. i inni, *Problems with introducing a single fuel concept in the land forces*, WAT, Warszawa 2003.
- [2] Baczewski K., Kałdonski T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*, WKŁ, Warszawa 2008.
- [3] Karczewski M., Walentynowicz J., *Wpływ mieszanin paliwa F-34 z biokomponentami na osiągi silnika z zasobnikowym układem wtryskowym*, „Biuletyn WAT” B, Vol. LIX, nr 1, Warszawa 2010.
- [4] Orzechowski Z., Prywer J., *Rozpylanie cieczy w urządzeniach energetycznych*, WNT, Warszawa 1994.
- [5] Rajewski M., *Wpływ parametrów konstrukcyjnych rozpylacza na przebieg wtrysku paliwa JET A1*, V Sympozjum Naukowo-Techniczne „Silniki spalinowe w zastosowaniach wojskowych, Jurata 2001, s. 583–592.
- [6] Rajewski M., Walentynowicz J., *Ocena wpływu cech konstrukcyjnych rozpylaczy na ich parametry przepływowe*, IV Sympozjum Naukowo-Techniczne „Silniki spalinowe w zastosowaniach wojskowych”, Jurata 1999, s. 471–478.
- [7] Rajewski M., Walentynowicz J., *Porównanie przebiegu wtrysku i spalania oleju napędowego i paliwa lotniczego w silniku o zapłonie samoczynnym*, Międzynarodowa Konferencja Motoryzacyjna AUTOPROGRES-KONMOT '02 „Doskonalenie konstrukcji, technologii i eksploatacji pojazdów”, Pasym 2002, t. 2 s. 229–236.
- [8] Zabłocki M., *Wtrysk i spalanie paliwa w silniku wysokoprężnym*, WKŁ, Warszawa 1976.

EFFECT OF DESIGN PARAMETERS OF INJECTOR ON PERFORMANCE OF ENGINE FEEDS WITH FUEL JET A1

ABSTRACT

Results of research on effect of injectors parameter (bore and angle between fuel streams) on injection and combustion in engine feeds with fuel Jet A1 was presented. It was found, that isn't important differences between parameters of injection and combustion in engine feeds with fuel Jet A1. The optimal parameters for fuel Jet A1 are: bore 0,34 mm, angle between fuel streams 150°.

Keywords:

injectors parameters, aviation fuel.