

Stanisław WITASZEK, Andrzej POSMYK

## WPLYW TŁOKA WYKONANEGO Z MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH NA EKSPLOATACJĘ SILNIKA SPALINOWEGO

**Streszczenie.** W niniejszej pracy przeprowadzono badania wpływu zastosowania tłoka wykonanego z materiału kompozytowego W6A.22A na eksploatację silnika spalinowego. W badaniach określano zużycie paliwa przez jednocylindrowy, dwusuwowy silnik oraz zużycie jego tłoków i tulei cylindrowych. Przeprowadzono dwie serie badań. W pierwszej zastosowano tłok standardowy, wykonany ze stopu aluminium, podczas gdy w drugiej tłok kompozytowy. Wyniki badań pozwoliły na stwierdzenie, że zastosowanie tłoka kompozytowego w badanym silniku wywołuje obniżenie zużycia paliwa oraz zużycia tłoka i zwiększenie zużycia tulei cylindrowej.

## THE INFLUENCE OF COMPOSITE MATERIALS ON A SERVICE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

**Summary.** In this work the influence of use of a piston made of a composite material W6A.22A on a service of an internal combustion engine has been investigated. In these researches the fuel consumption of a two-stroke, one cylinder engine and wear of its pistons and cylinder liners have been determined. Two series of tests have been carried out. In the first one a standard piston, made of an aluminium alloy, whereas in the second one a composite piston have been used. Results of the experiments show that use of composite piston in investigated engine reduces its fuel consumption and wear of piston decreases, but wear of cylinder liner increases.

### 1. WPROWADZENIE

Materiały kompozytowe o osnowie ze stopów metali lekkich (Al, Mg) stosowane są w konstruowaniu pojazdów samochodowych ze względu na [1, 2, 3, 4]: małą gęstość, dobre właściwości tribologiczne (wysoka odporność na zużycie), wytrzymałość zmęczeniową, stosunkowo wysoką przewodność cieplną, niższy współczynnik rozszerzalności cieplnej niż dla samego materiału osnowy, zadowalające parametry wytrzymałościowe, oraz dużą sztywność. Z materiałów tych wykonywane są między innymi: tłoki lub fragmenty tłoków

silników spalinowych, tuleje cylindrowe, korbowody, sworznie tłokowe, zawory dolotowe, tarcze, bębny oraz zaciski hamulcowe, wały napędowe, obudowy pomp oleju, obudowy skrzyni biegów, ramiona wahaczy, wirniki turbosprężarek oraz koła pasowe [2, 3, 5, 6, 7, 8].

Jak podano w pracy [9], zastosowanie materiałów kompozytowych w obszarze komory spalania, między innymi na tłoki, spowodowało poprawę jej zaizolowania, w wyniku czego zmniejszyła się intensywność wymiany ciepła w obszarze tłok-cylinder. Sprzyja to pełniejszemu spalaniu paliwa.

W pracy przeprowadzono badania wpływu zastosowania wybranego materiału kompozytowego do wytwarzania tłoków na pracę silnika spalinowego.

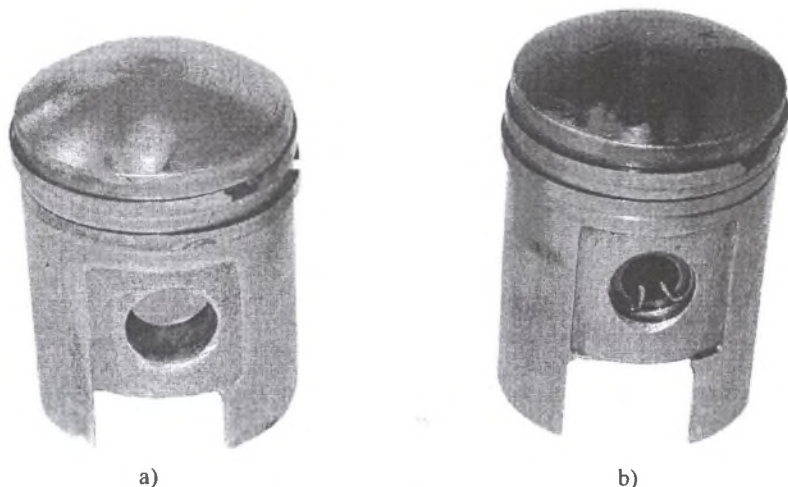
## 2. BADANIA WŁASNE

Badania własne obejmowały porównanie wybranych parametrów pracy małolitrażowego, dwusuwowego silnika spalinowego, wyposażonego w tłok wykonany z materiału kompozytowego i standardowego. Materiał kompozytowy, wykorzystany do wykonania tłoka, nosił oznaczenie W6A.22A. Jego osnowę stanowi stop aluminium 6061. Fazą zbrojącą są cząstki  $Al_2O_3$ , których udział wynosi 22%. Tłok standardowy wykonany był ze stopu aluminium AK12. Wymagania normowe dotyczące składu chemicznego stopów 6061 i AK12 zamieszczono w tabeli 1. Badane tłoki przedstawiono na rys. 1.

Tabela 1

Skład chemiczny stopów 6061 i AK12 [10, 11, 12, 13]

Stop	Graniczna zawartość pierwiastków stopowych %								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	inne
6061	0,4-0,8	0-0,7	0,15-0,4	0-0,15	0,8-1,2	0-0,25	0-0,15	0,04-0,35	0-0,05
AK12	12	≤ 0,55	≤ 0,05	≤ 0,35	-	≤ 0,1	≤ 0,15	-	-



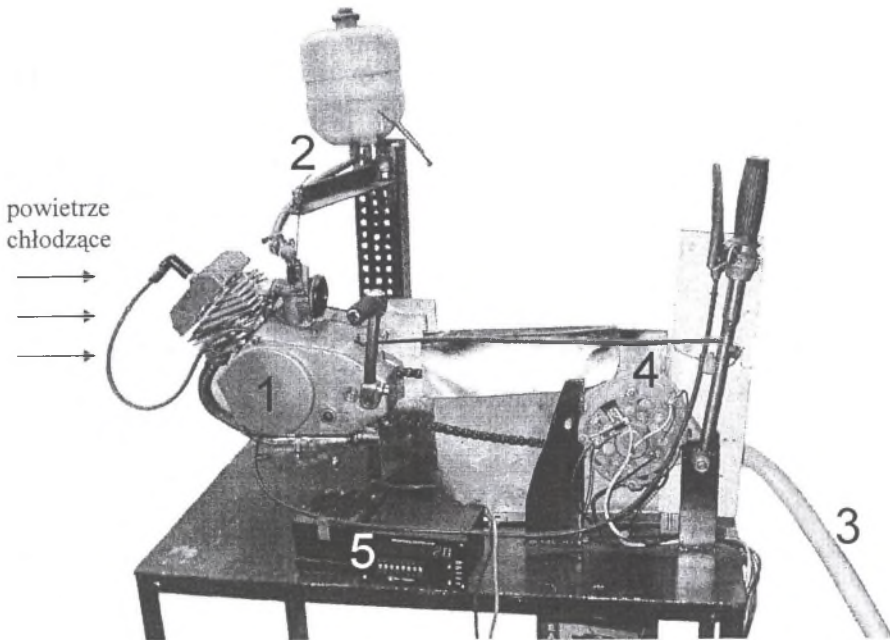
Rys. 1. Badane tłoki: kompozytowy z materiału W6A.22A (a), standardowy ze stopu AK12 (b)  
Fig. 1. Tested pistons: composite one made of material W6A.22A (a), standard one made of the AK12 alloy (b)

Badania przeprowadzono na jednocylindrowym silniku dwusuwowym DEZAMET typu 023. Wybrane parametry silnika zestawiono w tabeli 2. Silnik ten zamontowano na specjalnym stanowisku. W skład tego stanowiska wchodzi (rys. 2):

- układ paliwowy (2),
- układ odprowadzania spalin (3),
- układ obciążający silnik, złożony z prądnicy (4) zasilającej żarówkę,
- układ pomiarowy do wyznaczania czasu pracy i liczby obrotów wału korbowego silnika (5),
- wentylator chłodzący silnik.

Tabela 2  
Wybrane parametry silnika DEZAMET typu 023 [14]

Parametr	Wartość
Moc	1,25 kW
Maksymalna prędkość obrotowa	4800 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	2,85 Nm
Pojemność skokowa	49,8 cm <sup>3</sup>
Średnica cylindra	38 mm
Skok tłoka	44 mm
Stopień sprężania	8



Rys. 2. Widok stanowiska badawczego: 1 - silnik, 2 - układ paliwowy (zbiornik paliwa, przewód doprowadzający, zawór odcinający, gaźnik), 3 - przewód odprowadzający spaliny, 4 - prądnica obciążająca silnik, 5 - układ pomiarowy

Fig. 2. An appearance of research machine: 1 - motor, 2 - fuel system (tank, supply conduit, cut-off valve, carburettor), 3 - offtake for combustion gases, 4 - generator for engine loading, 5 - measurement system

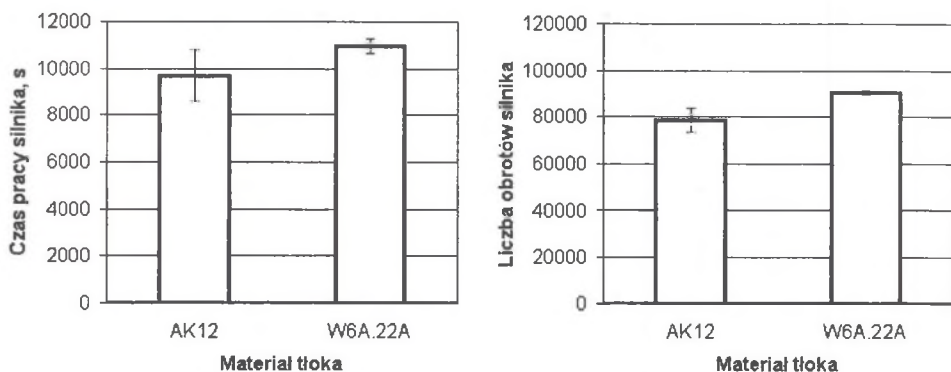
Prądnica stanowiąca obciążenie silnika była napędzana za pomocą łańcucha, podobnie jak koło motoroweru. W celu wywołania niewielkiego momentu obciążającego silnik do prądnicy podłączono żarówkę. Obciążenie takie było wystarczające, gdyż badania prowadzono na biegu jałowym silnika. Ponieważ silnik wymaga chłodzenia powietrzem, konieczne było zastosowanie wentylatora, wymuszającego ruch powietrza przy cylindrze i głowicy, które są uźebrowane (rys. 2).

Badania obejmowały szereg prób. Każda próba miała na celu określenie czasu pracy silnika na jednym litrze paliwa i liczby obrotów wału korbowego, które silnik wykona w tym czasie. Do zbiornika wlewano jednorazowo  $1,00 \text{ dm}^3$  paliwa, dokładność pomiaru objętości wynosiła  $0,005 \text{ dm}^3$ .

Czas pracy silnika mierzono z dokładnością do 1 s za pomocą elektronicznego zegara, który był zatrzymywany automatycznie po zgaśnięciu silnika. Do określania liczby obrotów wału korbowego służył elektroniczny licznik obrotów. Dokładność tego pomiaru wynosiła 1 obrót. W jednej serii prób zastosowano w silniku tłok wykonany ze stopu AK12, a w drugiej z badanego materiału kompozytowego. Każda seria obejmowała trzy próby. Przed wykonaniem serii badań mierzono średnicę tłoka i tulei cylindrowej z dokładnością do 0,01 mm. Powierzchnię płaszczka tłoka, zarówno współpracującą, jak i niewspółpracującą z tuleją, poddano badaniom metalograficznym za pomocą mikroskopu świetlnego.

### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki pomiarów czasu pracy i liczby obrotów wału korbowego silnika na jednym litrze paliwa posłużyły do obliczenia wartości średnich i odchyłeń standardowych (rys. 3).

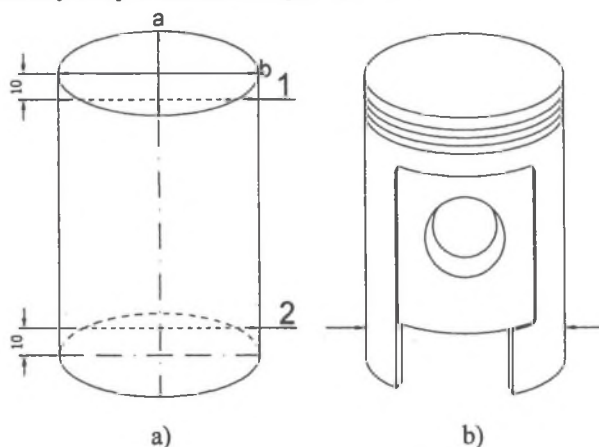


Rys. 3. Wartości średnie i odchylenia standardowe czasu pracy i liczby obrotów wału korbowego silnika na jednym litrze paliwa

Fig. 3. Average values and standard deviations of working time and number of revolutions of engine crankshaft per one litre of fuel

Z rysunku 3 wynika, że czas pracy silnika z tłokiem kompozytowym jest średnio o 13% większy niż przy współpracy z tłokiem wykonanym ze stopu AK12. Jedną z przyczyn zmniejszenia zużycia paliwa przez silnik może być wspomniane w pracy [9] pełniejsze spalanie paliwa. W celu określenia ewentualnych, innych przyczyn tego zjawiska wykorzystano wyniki pomiarów średnic badanych tłoków i tulei cylindrowych (tab. 3 i 4) oraz obserwacji metalograficznych powierzchni tłoków. Pomiaru średnic tłoków oraz tulei cylindrowych wykonano dwukrotnie: przed przystąpieniem do badań i po badaniach.

Pomiary wartości średnic tulei cylindrowych wykonano w dwóch płaszczyznach: A (równoległej do osi sworznia tłokowego) oraz B (prostopadłej do osi sworznia tłokowego) na dwóch różnych wysokościach (rys.4 a). Pomiaru średnic tłoków dokonano w najszerszym ich miejscu, tzn. pomiędzy powierzchniami roboczymi płaszcza tłoka w płaszczyźnie prostopadłej do osi sworznia tłokowego (rys.4 b). Średnicę tulei cylindrowych mierzono średnicówką z dokładnością do 0,05 mm, natomiast pomiary średnic tłoków wykonano za pomocą śruby mikrometrycznej z dokładnością do 0,01 mm.



Rys. 4. Miejsca pomiaru średnicy tulei cylindrowej (a) oraz tłoka (b)  
Fig. 4. Places of diameter measurements for the cylinder liner (a) and the piston (b)

Tabela 3

## Średnice badanych tłoków

Średnica tłoka ze stopu AK12, mm		Średnica tłoka z kompozytu W6A.22A, mm	
przed badaniami	po badaniach	przed badaniami	po badaniach
37,91	37,78	37,87	37,83

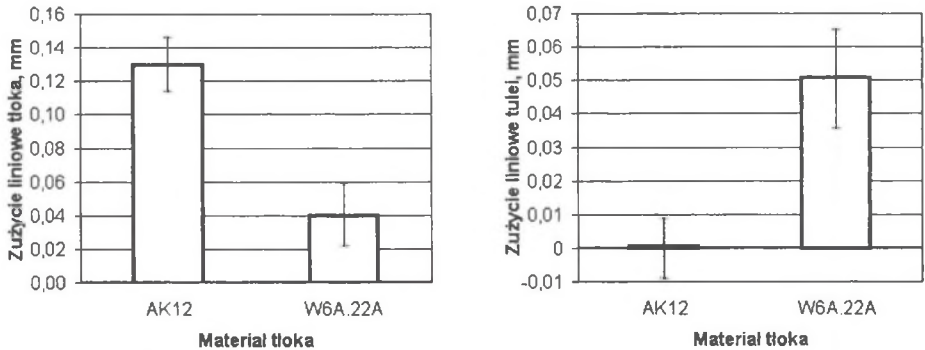
Tabela 4

## Średnice badanych tulei

	Średnica tulei współpracującej			
	z tłokiem ze stopu AK12, mm		z tłokiem z kompozytu W6A.22A, mm	
	przed badaniami	po badaniach	przed badaniami	po badaniach
Średnica cylindra w płaszczyźnie równoległej do osi sworznia tłokowego	38,05	38,05	38,05	38,05
Średnica cylindra w płaszczyźnie prostopadłej do osi sworznia tłokowego	38,05	38,05	38,05	38,10

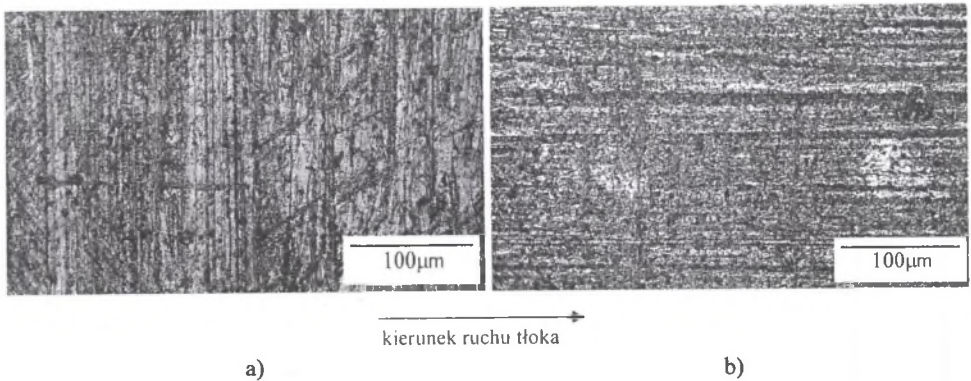
Na podstawie wyników badań zestawionych w tabelach 3 i 4 obliczono średnie zużycie liniowe tłoków i tulei, które przedstawiono na rys. 5. Z rysunku tego wynika, że współpraca tłoka wykonanego ze stopu AK12 z żeliwną tuleją cylindrową nie powoduje mierzalnego jej zużycia. Zastosowanie tłoka wykonanego z badanego kompozytu powoduje zużycie tulei w

miejszu stykania się jej z płaszczem tłoka. Zużycie to może być spowodowane ścieraniem żeliwa przez twarde cząstki  $Al_2O_3$ .



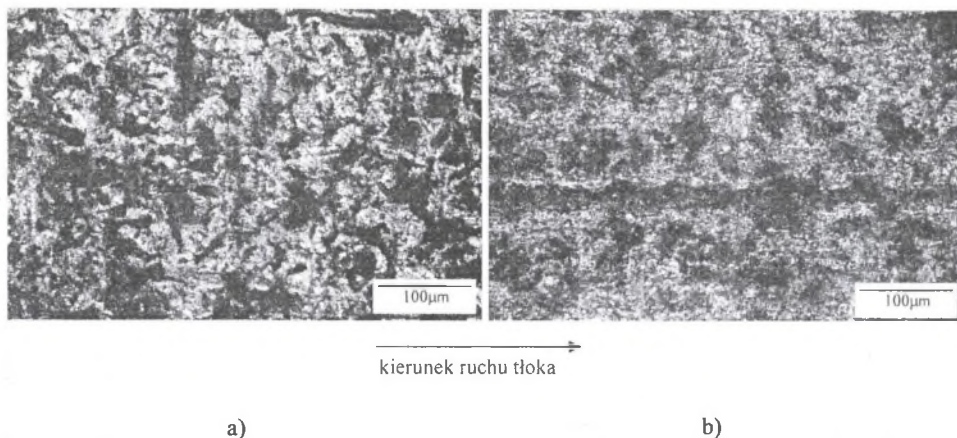
Rys. 5. Średnie zużycie liniowe tłoków i tulei  
Fig. 5. Average linear wear of pistons and cylinder liners

Odmianą prawidłowość zaobserwowano w przypadku zużycia tłoków. Większe zużycie wykazywał tłok standardowy niż tłok z badanego kompozytu. Dla określenia przyczyny większego zużycia tłoka standardowego przeprowadzono obserwacje metalograficzne powierzchni obu tłoków za pomocą mikroskopu optycznego. Na rys. 6 pokazano powierzchnię płaszcza tłoka standardowego przed i po współpracy, natomiast na rys. 7 przedstawiono powierzchnię płaszcza tłoka kompozytowego przed i po współpracy.



Rys. 6. Powierzchnia płaszcza tłoka standardowego przed współpracą (a), po współpracy (b)  
Fig. 6. Surface of the standard piston skirt before testing (a), after testing (b)

Na rys. 6a są widoczne rysy powstałe w procesie wytwarzania tłoka standardowego. Współpraca z żeliwną tuleją o większej twardości od materiału tłoka powoduje zużycie ścierne, wskutek którego rysy te zanikają, a pojawiają się inne, w kierunku ruchu tłoka (rys. 6b). To zużycie ścierne jest odpowiedzialne za zmniejszenie się średnicy tłoka ze stopu AK12 po badaniach.



Rys. 7. Powierzchnia płaszczka tłoka kompozytowego przed współpracą (a), po współpracy (b)  
 Fig. 7. Surface of the composite piston skirt before testing (a), after testing (b)

Na nieużytej powierzchni tłoka kompozytowego (rys. 7a) widoczne są cząstki fazy zbrojącej (ciemne plamy), z których część jest usuwana podczas współpracy. Tworzą one wówczas luźne ścierniwo, powodujące zużycie tulei i tłoka. Na rys. 7b widoczna jest głęboka rysa będąca efektem tego zużycia. W miejscach usuniętych cząstek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pozostają zagłębienia (nieostre, ciemne plamy na rys. 7b), w których może się gromadzić smar. Może to się przyczynić do poprawy smarowania i zmniejszenia zużycia tłoka. Lepsze smarowanie elementów skojarzenia tłok - tuleja może powodować zmniejszenie siły tarcia w tym skojarzeniu i przyczynić się do obniżenia zużycia paliwa przez silnik z tłokiem kompozytowym w porównaniu z silnikiem z tłokiem standardowym. Mniejsze zużycie paliwa powoduje dłuższy czas pracy silnika na jednym litrze paliwa i większą liczbę obrotów wału korbowego w tym czasie.

#### 4. WNIOSKI

Analiza wyników badań przeprowadzonych w niniejszej pracy pozwoliła na stwierdzenie, że zastosowanie materiału kompozytowego W6A.22A zamiast stopu AK12 do wykonania tłoka badanego silnika powoduje:

- zmniejszenie zużycia paliwa przez silnik, odpowiadające średniemu wydłużeniu czasu pracy na jednym litrze paliwa o 13% i zwiększeniu liczby obrotów w tym czasie o 17,4%;
- mniejsze zużycie liniowe tłoka, średnio o 46,7%;
- pojawienie się nieznacznego zużycia liniowego tulei cylindrowej.

Przyczyną obniżenia zużycia paliwa i zużycia tłoka może być poprawa smarowania elementów pary tłok - tuleja cylindrowa, wywołana obecnością na powierzchni płaszczka tłoka zagłębień po usuniętych cząstkach fazy zbrojącej, umożliwiających gromadzenie się smaru. Niekorzystne zużycie tulei cylindrowej jest wywołane jej współpracą z cząstkami  $\text{Al}_2\text{O}_3$  usuniętymi z materiału tłoka. Wykrycie ewentualnych, innych przyczyn opisanych zjawisk oraz ustalenie wpływu zastosowania do wytwarzania tłoków innych materiałów kompozytowych na pracę silnika wymaga dalszych badań.

**Literatura**

1. Ślężiona J.: Podstawy technologii kompozytów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
2. Miracle D. B.: Metal matrix composites – From science to technological significance. *Composites Science and Technology* 65 (2005), 2526-2540.
3. Fibrilloy preforms, Ceramic fiber shapes. *Thermal Ceramics*, August 2000, 114-140.
4. Jacob A.: Car makers increase their use of composites. *Reinforced Plastics*, February 2004, 26-32.
5. [www.empa.ch](http://www.empa.ch).
6. Ramesh K. C., Sagar R.: Fabrication of Metal Matrix Composite Automotive Parts. *Advanced Manufacturing Technology*, 15 (1999), 114-118.
7. Special Feature, Big Three eye lightweight PM con rods, *MFR* October 2003, Elsevier Ltd. 26-27.
8. Kaczmar J. W., Pietrzak K., Włosiński W.: The production and application of metal matrix composite materials. *Journal of Materials Processing Technology* 106 (2000), 58-67.
9. Sobczak J.: Kompozyty metalowe. Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa i Instytutu Transportu Samochodowego, Kraków – Warszawa 2001.
10. [www.elemans.com](http://www.elemans.com).
11. [www.mckmetals.com.nz](http://www.mckmetals.com.nz).
12. [aluminium.matter.org.uk](http://aluminium.matter.org.uk) – baza danych AluSelect.
13. Dobrzański L. A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Gliwice – Warszawa 2002.
14. Grygier R.: Właściwości cieplne materiałów kompozytowych przeznaczonych na elementy samochodowe. Praca magisterska UŚ. Sosnowiec 2004 (praca niepublikowana).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Ślężiona

*Praca wykonana w ramach BW-418/RT1/2006*