



## Wpływ temperatury rozruchu na zużywanie gładzi tulei cylindrowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym

EDWARD CYPKO, PAWEŁ DROŹDZIEL\*, PIOTR IGNACIUK\*,  
LESZEK KRZYWONOS\*

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny,  
Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

\*Politechnika Lubelska, Katedra PKM oraz Katedra Silników Spalinowych i Transportu,  
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36

**Streszczenie.** Zużywanie zespołu tłok-pierścienie tłokowe-gładź cylindrowa (TPC), występujące podczas rozruchu silnika spalinowego, nazywane jest zużywaniem rozruchowym. Dominują przy tym zużycia, takie jak: adhezyjne, ścierne oraz korozyjne. Charakteryzuje się ono większą intensywnością zużycia niż zużywanie występujące podczas normalnej, ciągłej pracy silnika. W pracy przedstawiono przebieg oraz wyniki badań zużycia rozruchowego tulei cylindrowych samochodowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym. Przeprowadzone badania miały na celu określenie wartości zużycia rozruchowego tulei, a także wpływu temperatury rozruchu i innych czynników na mierzoną wartość zużycia.

**Słowa kluczowe:** silnik, rozruch, zużycie

**Symbole UKD:** 621.43

### 1. Wprowadzenie

Rozruch samochodowego silnika spalinowego jest procesem przejściowym, w którym obserwuje się występowanie wielu niekorzystnych procesów tribologicznych.

W początkowym okresie rozruchu, ze względu na brak dostatecznej ilości oleju smarowego (bezwładność układu olejenia silnika) oraz zbyt małą prędkość

względna przemieszczających się powierzchni par tribologicznych, obserwuje się występowanie tarcia granicznego [5, 6, 10].

W miarę wzrostu ilości oleju dopływającego do węzłów tribologicznych silnika, tarcie graniczne przechodzi w tarcie mieszane.

W zasadzie dopiero po zakończeniu rozruchu silnika, gdy osiągnięta została odpowiednia prędkość względna współpracujących elementów, pojawiają się dogodne warunki do wystąpienia tarcia płynnego [7, 10, 11].

Opisane przejście z tarcia granicznego (w skrajnych przypadkach nawet z tarcia technicznie suchego) do tarcia mieszanego o małym udziale procentowym tarcia płynnego powoduje, że podczas rozruchu w węzłach tribologicznych silnika spalinowego można zaobserwować zużycie adhezyjne i ściernie, a w zespole TPC — dodatkowo także zużycie korozyjne [6, 8].

Powoduje to, że zużywanie rozruchowe charakteryzuje się większą intensywnością niż zużywanie występujące podczas normalnej, ciągłej pracy silnika spalinowego. Zużycie rozruchowe gładzi tulei cylindrowej podczas jednego rozruchu silnika stanowi od 8% do 75% jego ogólnego zużycia eksploatacyjnego. Wartości ekwiwalentnego zużycia rozruchowego wahają się od kilku do kilkuset, a nawet kilku tysięcy kilometrów przebiegu pojazdu lub kilkunastu godzin pracy na hamowni silnikowej [6, 11].

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wartości zużycia rozruchowego tulei cylindrowej w funkcji temperatury rozruchu samochodowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym.

## 2. Metodyka badań stanowiskowych

Obiektami badań były silniki o zapłonie samoczynnym 4C90 i 359M. Podstawowe parametry techniczne tych silników przedstawiono w tabeli 1. W silniku 4C90 zastosowano tłok z dwoma pierścieniami uszczelniającymi oraz jednym zgarniającym, natomiast w silniku 359M — tłok z trzema pierścieniami uszczelniającymi oraz jednym pierścieniem zgarniającym.

Podczas prowadzonych badań stosowano oleje zalecane przez producentów obu typów silników. W silniku 4C90 zastosowano olej TURDUS o klasie lepkości SAE 15W/40 i klasie jakości wg API SHPD. Natomiast w silniku 359M — olej JASOL 9, o klasie lepkości SAE 15W/40 i klasie jakości wg API CEF.

Badania zużycia gładzi tulei cylindrowych podczas rozruchu badanych silników przeprowadzono na specjalnie zbudowanym stanowisku hamownianym Katedry Silników Spalinowych Politechniki Lubelskiej. Zastosowane na stanowisku elektroniczne układy pomiarowo-sterujące pozwalały na ciągłą kontrolę temperatury płynu chłodzącego i oleju silnikowego. W celu stabilizacji wymienionych temperatur zamontowano dodatkowo: grzałkę i chłodnicę wody w misce olejowej silnika, grzałkę w wymienniku ciepła cieczy chłodzącej silnik, a także pompę wody pracującą w cza-

TABELA 1

Wybrane parametry techniczne silników 359M i 4C90

Wyszczególnienie	Wartość parametru silnika	
	4C90	359M
Liczba cylindrów [szt.]	4	6
Średnica cylindrów [mm]	90	110
Skok tłoka [mm]	95	120
Pojemność skokowa [dm <sup>3</sup> ]	2,417	6,842
Stopień sprężania	20,6	17
Moc znamionowa [kW]	51,5	110
Prędkość obr. mocy znamionowej [obr/min]	4100	2800
Maksymalny moment obrotowy [Nm]	145	440
Prędkość obr. przy momencie max [obr/min]	2500	1800-2100
Prędkość obrotowa biegu jałowego [obr/min]	800±20	500-600
Maksymalna prędkość obrotowa [obr/min]	4200	3100
Ciśnienie oleju w układzie smarowania [MPa]	0,38-0,50	0,2-0,6

się jego zatrzymania. Wahania temperatur cieczy chłodzącej oraz oleju smarującego podczas rozruchów nie przekraczały  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ . Po każdym rozruchu badane silniki pracowały na biegu jałowym kilkadziesiąt sekund. Po unieruchomieniu doprowadzono temperaturę silnika ponownie do założonej wartości [3, 4].

Dla badanych silników ZS przeprowadzono serie rozruchów o parametrach przedstawionych w tabeli 2.

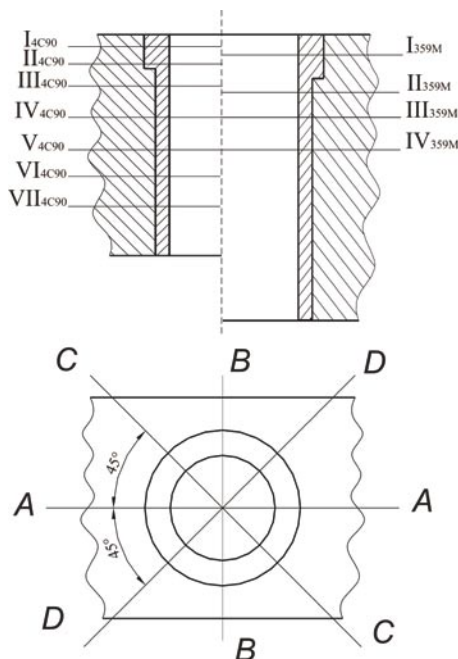
TABELA 2

Parametry poszczególnych serii rozruchu silników 4C90 i 359M

Numer serii silnika 4C90	Liczba rozruchów silnika	Temperatura wody i oleju smarującego [K]	Numer serii silnika 359	Liczba rozruchów silnika	Temperatura wody i oleju smarującego [K]
1	1000	291 (18°C)	1	500	283 (10°C)
2	1000	308 (35°C)	2	700	293 (20°C)
3	1000	328 (55°C)	3	1000	333 (60°C)
4	1000 + 500	348 (75°C)	–	–	–

### 3. Metodyka badań zużycia gładzi tulei cylindrowej

Jako miarę zużycia gładzi tulei cylindrowej silników 4C90 i 359M przyjęto przyrost ich wewnętrznej średnicy. W celu określenia tego przyrostu na powierzchni poszczególnych tulei nacięto tzw. „sztuczne bazy” przy użyciu specjalnego przyrządu UPOI+6. Aby uniknąć całkowitego demontażu silników, „sztuczne bazy” nacięto po zdjęciu samej tylko głowicy. Dokonano tego, zgodnie z Normą Branżową BN+79/1374-04, prostopadłe do kierunku tarcia w płaszczyznach pomiarowych (poziomach) na różnych wysokościach tulei cylindrowej, liczonych od powierzchni bloku silnika oraz dla czterech kierunków: równoległego (A-A) do osi wału korbowego, prostopadłego (B-B) do tej osi i pod kątem 45°C do osi wału korbowego (C-C, D-D), co przedstawiono na rysunku 1 [3, 4].



Rys. 1. Schemat nacinania sztucznych baz na powierzchni tulei cylindrowych badanych silników; wysokość (poziom) nacinania baz wzdłuż tulei silnika 4C90: I<sub>4C90</sub> — 16,5 mm, II<sub>4C90</sub> — 23 mm, III<sub>4C90</sub> — 30 mm, IV<sub>4C90</sub> — 40 mm, V<sub>4C90</sub> — 50 mm, VI<sub>4C90</sub> — 60 mm, VII<sub>4C90</sub> — 70 mm oraz silnika 359M: I<sub>359M</sub> — 23 mm, II<sub>359M</sub> — 36,5 mm, III<sub>359M</sub> — 44,5 mm, IV<sub>359M</sub> — 55,5 mm

Pierwsze trzy płaszczyzny pomiarowe dla silnika 4C90 i cztery poziomy pomiarowe dla silnika 359M odpowiadają środkom położenia ich pierścieni tłokowych w GMP. Większa liczba poziomów pomiarowych silnika 4C90 wynika z korzystniejszych możliwości technologicznych nacinania „sztucznej bazy”.

Nacięte „sztuczne bazy” w każdej płaszczyźnie pomiarowej oznaczono kolejno od 1 do 8, zgodnie z ruchem wskazówek zegara, zaczynając od bazy leżącej na kierunku C-G i znajdującej się najbliżej przodu silnika.

Po każdej przeprowadzonej serii rozruchów zdejmowano głowicę silnika i odczytywano zmiany długości „sztucznej bazy”, co umożliwiło ocenę zużycia gładzi tulei cylindrowej (przyrost jej wewnętrznej średnicy).

Wartość pojedynczego, promieniowego zużycia gładzi tulei oblicza się zgodnie z rysunkiem 2 na podstawie zależności (1):

$$z_{ri} = \frac{1}{8} \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \cdot (l_p^2 - l_k^2), \quad (1)$$

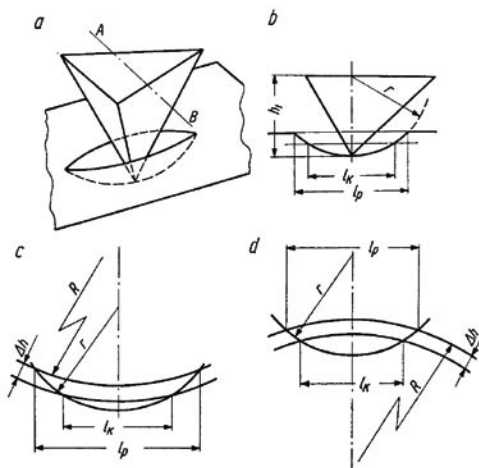
gdzie:  $z_{ri}$  — wartość  $i$ -tego zużycia promieniowego tulei [ $\mu\text{m}$ ];

$r$  — promień noża 9,4 [mm];

$R$  — promień krzywizny badanej powierzchni 45 lub 55 [mm];

$l_p$  — długość początkowa nacięcia [ $\mu\text{m}$ ];

$l_k$  — długość końcowa nacięcia [ $\mu\text{m}$ ].



Rys. 2. Schemat do obliczeń głębokości nacięć ( $R$  — promień krzywizny badanej powierzchni,  $r$  — promień noża,  $l_p$  — długość początkowa nacięcia,  $l_k$  — długość końcowa nacięcia,  $h_I$  — wysokość noża,  $\Delta h$  — wartość zużycia liniowego)

Wartość zużycia (przyrostu) średnicy wewnętrznej tulei cylindrowej wynosi:

$$d_i = z_{rxj} + z_{rxk}, \quad (2)$$

gdzie:  $d_i$  — wartość  $i$ -tego zużycia tulei cylindrowej (przyrost wewnętrznej średnicy) [ $\mu\text{m}$ ];

$z_{rxj}$  — wartość zużycia promieniowego na poziomie  $x = I, II, \dots, VII$  i kierunku  $j = 1, \dots, 4$  [ $\mu\text{m}$ ];

$z_{rxk}$  — wartość zużycia promieniowego na poziomie  $x$  i kierunku  $k = j + 4$  [ $\mu\text{m}$ ].

#### 4. Wyniki badań

Po odczytaniu zmian długości „sztucznej bazy” obliczano z zależności (1)-(2) zużycie gładzi tulei cylindrowej. Wstępną analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono przy użyciu programu komputerowego STATISTICA.

Eliminację wyników „obciążonych dużym błędem” przeprowadzono poprzez obliczenie dolnego kresu przedziału ufności:

$$d_d = \bar{d} - t_{1-\alpha_{pi}/2} \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{\frac{n}{n-2}} \quad (3)$$

oraz górnego kresu przedziału ufności:

$$d_g = \bar{d} + t_{1-\alpha_{pi}/2} \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{\frac{n}{n-2}}, \quad (4)$$

gdzie:  $d_d$  — dolny koniec przedziału ufności;

$d_g$  — górny koniec przedziału ufności;

$t_{1-\alpha_{pi}/2}$  — kwantyl rozkładu t-Studenta o  $n-2$  stopniach swobody.

Wyniki obliczeń granic przedziału ufności dokonano na poziomie ufności  $\alpha_{pi/2} = 0,1$ , gdzie  $t_{1-\alpha_{pi}/2} = 1,659$  [1]. Po uwzględnieniu i odrzuceniu z dalszej analizy wyników wątpliwych, obliczono ostatecznie wybrane parametry położenia i rozrzutu zużycia rozruchowego tulei cylindrowych. Dodatkowo, w celu porównania uzyskanych wartości, wyniki zużycia tulei cylindrowej silnika 359M w seriach 1 i 2 przeliczono na 1000 rozruchów. Należy także podkreślić, że dla serii 1000 rozruchów silnika 4C90 w temperaturze  $75^\circ\text{C}$  nie stwierdzono żadnego przypadku wystąpienia zużycia promieniowego. Dlatego też dokonano dodatkowo 500 uruchomień badanego silnika (wyniki także przeliczono na 1000 rozruchów). Wyniki obliczeń statystycznych przedstawiono w tabelach 3 i 4.

TABELA 3  
Parametry położenia i rozrzutu zużycia rozruchowego tulei po odrzuceniu wyników wątpliwych dla silnika 4C90 [4]

Numer serii	Wart. średnia $\bar{d}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Warianc. Var ( $d$ ) [ $\mu\text{m}^2$ ]	Odchyl. standard. $\sigma_d$ [ $\mu\text{m}$ ]	Błąd standard. $\delta_d$ [ $\mu\text{m}$ ]	Mediana $m_e$ [ $\mu\text{m}$ ]	Moda [ $\mu\text{m}$ ]	Współcz. zmienności $v$ [%]	Wartość max. [ $\mu\text{m}$ ]	Wartość min. [ $\mu\text{m}$ ]
1	3,448	2,138	1,462	0,151	2,357	2,243	42,40	6,675	1,808
2	1,936	2,232	1,494	0,143	2,149	0,0	77,16	4,658	0,0
3	1,037	1,178	1,085	0,102	0,0	0,0	104,62	2,736	0,0
4	0,514	0,482	0,694	0,065	0,0	0,0	135,00	1,571	0,0

TABELA 4  
Parametry położenia i rozrzutu zużycia rozruchowego tulei po odrzuceniu wyników wątpliwych dla silnika 359M [3]

Numer serii	Wart. średnia $\bar{d}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Warianc. Var ( $d$ ) [ $\mu\text{m}^2$ ]	Odchyl. standard. $\sigma_d$ [ $\mu\text{m}$ ]	Błąd standard. $\delta_d$ [ $\mu\text{m}$ ]	Mediana $m_e$ [ $\mu\text{m}$ ]	Moda [ $\mu\text{m}$ ]	Współcz. zmienności $v$ [%]	Wartość max. [ $\mu\text{m}$ ]	Wartość min. [ $\mu\text{m}$ ]
1	7,645	0,207	0,445	0,051	7,598	7,919	5,82	9,406	6,728
2	6,397	4,318	2,078	0,222	5,656	5,721	32,48	11,116	2,762
3	6,419	3,915	1,978	0,214	6,099	6,007	30,81	9,44	2,231

## 5. Analiza wariancji uzyskanych wyników badań

W celu określenia wpływu temperatury oraz innych czynników grupujących (cylinder, poziom, kierunek) na wartość zużycia tulei cylindrowej silnika podczas jego rozruchu przeprowadzono analizę wariancji. Po pierwsze zbadano, czy dane pochodzą z populacji o rozkładzie normalnym. W tym celu zastosowano test chi-kwadrat  $\chi^2$  oraz założono poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Po drugie do testowania jednorodności wariancji przyjęto (ze względu na niejednakową liczbę wyników w analizowanych grupach) test Bartletta **B** [2]. Wyniki analizy dla temperatury jako czynnika grupującego przedstawiono w tabelach 5 i 6.

TABELA 5

Wyniki testów normalności i jednorodności dla zużycia silnika 4C90  
(czynnik grupujący — temperatura)

Numer serii	Normalność (N)		Jednorodność (J)		Decyzja	
	$\chi^2$	Wartość $p$	B	Wartość $p$	N	J
1	199,88	0,000			nie	
2	219,68	0,000	69,56	0,000	nie	nie
3	394,46	0,000			nie	
4	510,99	0,000			nie	

TABELA 6

Wyniki testów normalności i jednorodności dla zużycia silnika 359M  
(czynnik grupujący — temperatura)

Numer serii	Normalność (N)		Jednorodność (J)		Decyzja	
	$\chi^2$	Wartość $p$	B	Wartość $p$	N	J
1	3,520	0,1720			tak	
2	3,437	0,0637	141,0	0,00	tak	nie
3	8,082	0,0886			tak	

Na podstawie wyników przedstawionych w tabelach 4 i 5 stwierdzono, że wartości zużycia średnic tulei dla silnika 359M można dopasować rozkładem normalnym, w przeciwieństwie do zużycia w silniku 4C90. Potwierdzają to wcześniejsze opracowania [3, 4]. Stwierdzono niespełnienie testów o normalności rozkładów zużycia dla innych czynników grupujących.

Ze względu na niespełnienie założeń klasycznej analizy wariancji dla obserwowanych zużyć średnic tulei cylindrowych silników 4C90 oraz 359M podczas rozruchu, zastosowano nieparametryczną metodę analizy wariancji, przy użyciu testu Kruskala-Wallisa **K-W** [2]. Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 7.

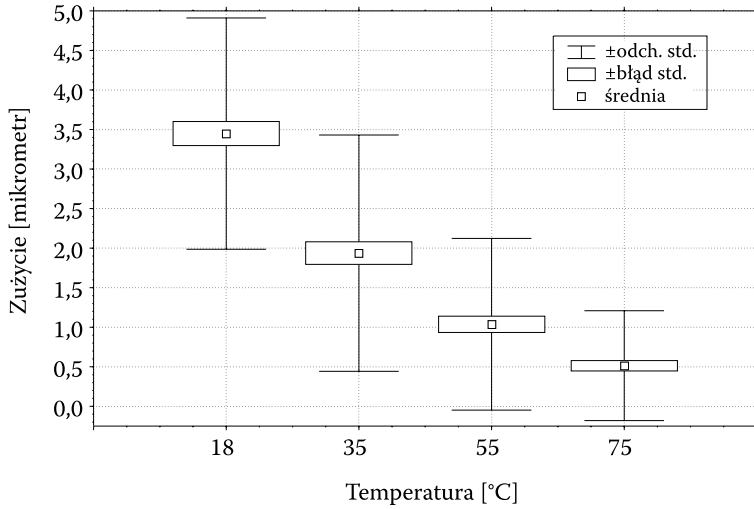
Po analizie przedstawionych w tabeli 7 wyników analizy wariancji można stwierdzić, że istotny wpływ na obserwowane zużycie podczas rozruchu silników 4C90 oraz 359M wywiera przede wszystkim temperatura. Podczas rozruchu silnika 4C90 obserwuje się dodatkowo wpływ innego czynnika grupującego, jakim jest numer cylindra (tzn. umiejscowienie cylindra w bloku). Jest to prawdopodobnie związane z gorszymi warunkami chłodzenia ostatniej tulei cylindrowej. Na rysunkach 3-6 przedstawiono skategoryzowane wykresy ramkowe wartości zużycia tulei cylindrowych dla analizowanych silników.



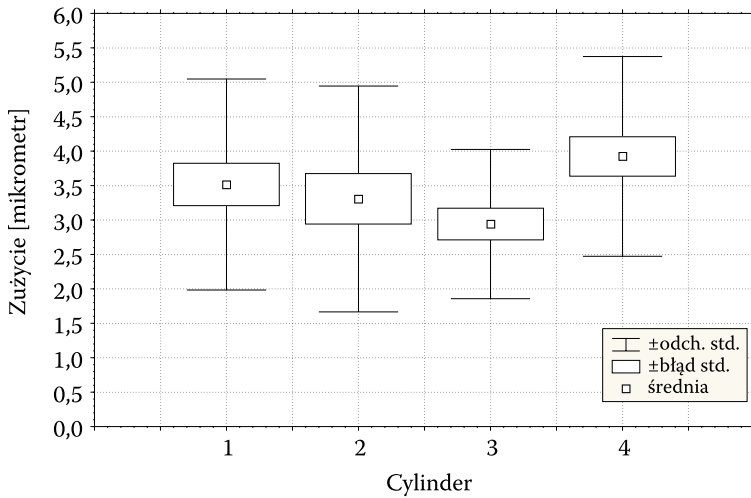
TABELA 7

Wyniki testu Kruskala-Wallisa dla zużycia silników 4C90 i 359M (różne czynniki grupujące)

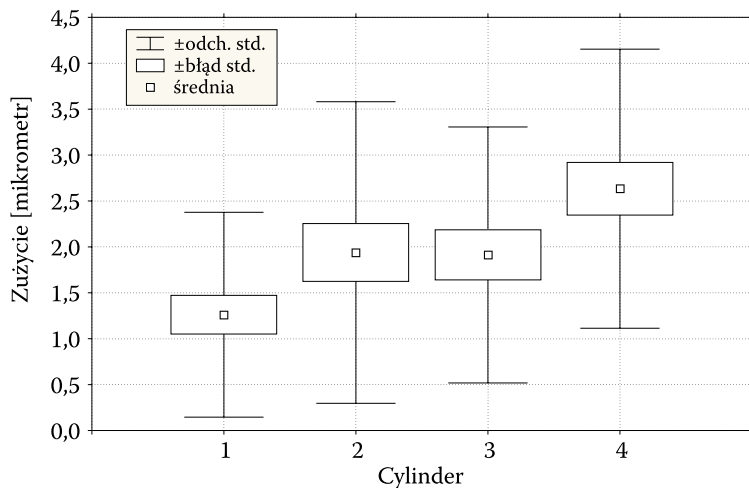
Czynnik grupujący	Silnik 4C90			Silnik 359M		
	K-W	Wartość $p$	Wpływ czynnika na zużycie	K-W	Wartość $p$	Wpływ czynnika na zużycie
Temperatura	196,504	0,000	istotny	22,297	0,000	istotny
Cylinder	14,034	0,0029	istotny	6,467	0,2633	nieistotny
Cylinder w serii nr 1	14,751	0,0021	istotny	2,683	0,7487	nieistotny
Cylinder w serii nr 2	12,036	0,0073	istotny	14,040	0,0154	istotny
Cylinder w serii nr 3	5,249	0,1545	nieistotny	5,889	0,3376	nieistotny
Cylinder w serii nr 4	2,019	0,5683	nieistotny	–	–	–
Poziom	6,069	0,4155	nieistotny	2,753	0,4308	nieistotny
Poziom w serii nr 1	14,141	0,0281	istotny	0,775	0,8553	nieistotny
Poziom w serii nr 2	3,017	0,8066	nieistotny	1,110	0,7746	nieistotny
Poziom w serii nr 3	7,912	0,2446	nieistotny	1,017	0,7970	nieistotny
Poziom w serii nr 4	3,866	0,6947	nieistotny	–	–	–
Kierunek	1,616	0,6556	nieistotny	1,984	0,5756	nieistotny
Kierunek w serii nr 1	2,695	0,4410	nieistotny	2,059	0,5602	nieistotny
Kierunek w serii nr 2	2,525	0,4707	nieistotny	2,045	0,5630	nieistotny
Kierunek w serii nr 3	0,787	0,8524	nieistotny	5,045	0,1685	nieistotny
Kierunek w serii nr 4	1,280	0,7337	nieistotny	–	–	–



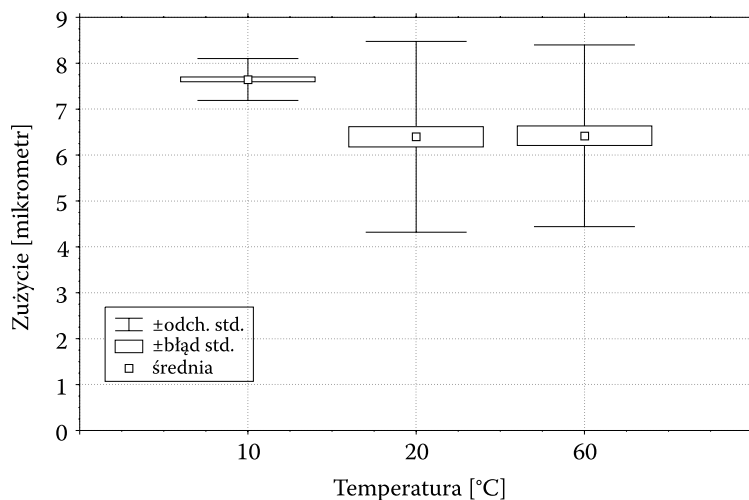
Rys. 3. Skategoryzowany wykres ramkowy dla czynnika grupującego temperaturę i zmiennej zależnej — zużycia na średnicy tulei cylindrowej silnika 4C90 podczas jego rozruchów



Rys. 4. Skategoryzowany wykres ramkowy dla czynnika grupującego cylinder i zmiennej zależnej — zużycia na średnicy tulei cylindrowej silnika 4C90 podczas jego rozruchów w serii nr 1



Rys. 5. Skategoryzowany wykres ramkowy dla czynnika grupującego cylinder i zmiennej zależnej — zużycia na średnicy tulei cylindrowej silnika 4C90 podczas jego rozruchów w serii nr 2



Rys. 6. Skategoryzowany wykres ramkowy dla czynnika grupującego temperaturę i zmiennej zależnej — zużycia na średnicy tulei cylindrowej silnika 359M podczas jego rozruchów

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanej analizy statystycznej uzyskanych wyników oceny zużycia tulei cylindrowej silników 4C90 oraz 359M o zapłonie samoczynnym można stwierdzić, że:

1. Zużycie rozruchowe gładzi tulei cylindrowej, którego miarą jest przyrost jej wewnętrznej średnicy, zależy w istotny sposób od wartości temperatury uruchamiania silnika, przy czym obserwuje się wzrost zużycia w miarę spadku temperatury rozruchu. I tak dla silnika 4C90 w temperaturze rozruchu 75°C wartość średnia tego zużycia wynosi 0,514  $\mu\text{m}$ , zaś dla temperatury 18°C — 3,448  $\mu\text{m}$ . Jest to prawie siedmiokrotny przyrost wartości zużycia rozruchowego. Dla silnika 359M w temperaturze rozruchu 60°C wartość średnia tego zużycia wynosi 6,419  $\mu\text{m}$ , zaś w temperaturze 10°C — 7,645  $\mu\text{m}$ . Przyrost zużycia jest znacznie mniejszy i wynosi około 20%.
2. Obserwowana wartość zużycia rozruchowego tulei cylindrowych badanych silników dla poszczególnych temperatur rozruchu nie zależy od kierunku i poziomu pomiaru. Spostrzeżenie to jest dość interesujące, gdyż, jak podają inni autorzy, podczas eksploatacji wartość zużycia wzdłuż gładzi tulei cylindrowej zależy od położenia względem powierzchni bloku silnika (tzw. próg ogniowy). Wynika to prawdopodobnie z faktu, że podczas rozruchu występująca w zespole TPC siła normalna, która decyduje o sile tarcia pomiędzy pierścieniami a tuleją cylindrową jest znacznie mniejsza niż w trakcie pracy silnika pod obciążeniem.
3. Występowanie znacznego pola rozprożeń obserwowanych wartości zużycia tulei cylindrowych podczas rozruchu silnika wynika z jednej strony z występowania złożonego procesu tarcia w zespole TPC, z drugiej zaś strony z dokładności metody „sztucznej bazy”.

Artykuł wpłynął do redakcji 23.11.2005 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2006 r.

### LITERATURA

- [1] D. BOBROWSKI, *Probabilistyka w zastosowaniach technicznych*, WNT, Warszawa 1986.
- [2] M. DOBOSZ, *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań*, EXIT, Warszawa 2001.
- [3] П. ДРОЗДЕЛЬ, *Изнашивание цилиндрических втулок в период пуска двигателя внутреннего сгорания. Трение и износ*, Том 22, № 6, Ноябрь-декабрь, 2001, 664-670.
- [4] P. DROZDZIEL, P. IGNACIUK, *Zużycie tulei cylindrowych podczas rozruchu spalowego silnika 4C90 o zapłonie samoczynnym*, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, vol. 38, z. 4 (136), Polska Akademia Nauk, Komitet Budowy Maszyn, Radom 2003.
- [5] K. HOLMES, *Solid Materials. Engine Tribology*, Tribology Series 26, Elsevier 1993.

- [6] K. KOLIŃSKI, J. PSZCZÓLKOWSKI, *Zużycie cylindrów silnika AD4.236 w warunkach rozruchu. Eksploatacja silników spalinowych*, Problemy rozruchu silników spalinowych, z. 6, Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN O/Lublin, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2002.
- [7] Z. LAWROWSKI, *Tribologia — tarcie, zużywanie i smarowanie*, PWN, Warszawa 1993.
- [8] J. LEWICKI, *Opory tarcia i zużycie silników z zapłonem samoczynnym przy rozruchu w niskich temperaturach*, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 353, Szczecin 1988.
- [9] M. F. SMITH, *Understanding diesel engine lubrication at low temperature*, SAE Paper 902177, 1990.
- [10] C. M. TAYLOR, *Lubrication regimes and the internal combustion engine*, Engine Tribology, Tribology Series 26, Elsevier 1993.
- [11] J. K. WŁODARSKI, *Tłokowe silniki spalinowe — procesy tribologiczne*, WKiŁ, Warszawa 1982.

E. CYPKO, P. DROŹDZIEL, P. IGNACIUK, L. KRZYWONOS

**Influence of starting temperature of self-ignition diesel engines  
on wear of its cylinder bearing surface**

**Abstract.** The wear of piston-piston rings-cylinder bearing surface (PRC) assembly during engine start, is called the starting wear. Dominating processes are adhesive, abrasive, and corrosive wears. Starting wear is more intensive than the wear under normal engine operation. The paper presents the course and results of investigations of starting wear of cylinder liner surfaces of self-ignition diesel engines. The aim of the studies was to assess the starting wear of a cylinder liner and to evaluate influence of starting temperature and some other factors on the observed wear.

**Keywords:** engine, starting, wear

**Universal Decimal Classification:** 621.43

