

ANALIZA ZUŻYCIA SKOJARZEŃ ŚLIZGOWYCH TYPU STAL – ALUMINIUM SMAROWNYCH OLEJEM NAPĘDOWYM Z DODATKIEM RME

Piotr Wanke, Bartłomiej Batko

Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań laboratoryjnych zmian wartości zużycia próbek wykonanych ze stopu AK 9 (AlSi9Mg), współpracujących w skojarzeniach ślizgowych typu stal – aluminium smarowanych zanurzeniowo olejem napędowym Ekodiesel Plus F50 z dodatkami paliwa RME.

Słowa kluczowe: zasilanie silników ZS, olej napędowy, paliwo RME, tarcie, zużycie, smarowanie

Wprowadzenie

Zagrożenie równowagi środowiska naturalnego ziemi, wynikające ze wzrastającej i niekontrolowanej emisji gazów cieplarnianych, uwarunkowania ekonomiczne oraz presja polityczna mają wpływ na dążenie do obniżenia światowego zużycia paliw kopalnych i sukcesywnego wprowadzania biopaliw do napędu silników spalinowych, szczególnie w rolnictwie i leśnictwie. Zastosowanie nowego rodzaju paliwa wiąże się najczęściej z koniecznością dokonania zmian konstrukcyjnych i technologicznych. Dotyczy to zarówno silników z zapłonem iskrowym (ZI) jak i samoczynnym (ZS). Jednak badania przeprowadzone w ostatnich latach wskazują, że stosowanie estrów metylowych oleju rzepakowego (RME - Rapseed Oil Methylester) w silnikach ZS jest możliwe bez istotnych zmian konstrukcyjnych. Ograniczenia dotyczą głównie stosowania gumowych przewodów paliwowych, niektórych rodzajów uszczelnień, zwiększenia częstotliwości wymiany filtrów paliwa i oleju silnikowego oraz negatywnego wpływu na pokrycia lakiernicze [Baczewski i in. 2004, Bocheński 2003, Majzner i in. 1998]. W związku z przedstawionymi uwarunkowaniami podjęto próbę wyjaśnienia wpływu dodatków estrów metylowych oleju rzepakowego do oleju napędowego na zużycie części wykonanych ze stopów aluminium, współpracujących w skojarzeniach ślizgowych typu stal – aluminium smarowanych paliwem występujące np. w pompkach zasilających czy rozdzielaczowych pompach wtryskowych.

Metodyka badań

W badaniach zużyciowych (w warunkach tarcia ślizgowego przy skoncentrowanym styku punktowym) zastosowano smarowanie zanurzeniowe olejem napędowym (ON) Ekodiesel Plus F50 charakteryzującym się niską zawartością siarki oraz zawartością dodatków smarnościowych oraz estrami metylowymi oleju rzepakowego (RME) wyprodukowanymi przez firmę „Sopór” w Bydgoszczy o zawartości siarki do $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a także ich mieszaninami zawierającymi 1%, 5%, 20%, 50% i 75% objętościowo RME w ON. Standaryzowane badania przeprowadzono na maszynie tarcowej typu T 05 sterowanej komputerem klasy PC. Nieruchomą próbkę, wykonaną z pręta AK 9 (AlSi9Mg) o średnicy 10 mm w 10 klasie chropowatości powierzchni, dociskano do wykonującego ruch obrotowy pierścienia wykonanego ze stali ŁH 15 – w stanie po utwardzeniu cieplnym ($60 \pm 3 \text{ HRC}$) i szlifowaniu wykańczającym w 10 klasie chropowatości powierzchni – o średnicy 35 mm. Badania zużyciowe wykonywano zgodnie z normą [ASTM G77], z prędkością liniową $v=1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, przy obciążeniu $P=228 \text{ N}$, na drodze tarcia $s=3300 \text{ m}$. O wyborze stopu AK 9 do wstępnych badań laboratoryjnych zdecydowały jego dobre właściwości wytrzymałościowe i odlewnicze, które determinują zastosowania na średnio i mocno obciążone części o skomplikowanym kształcie np. korpusy pomp, sprężarek, itp.

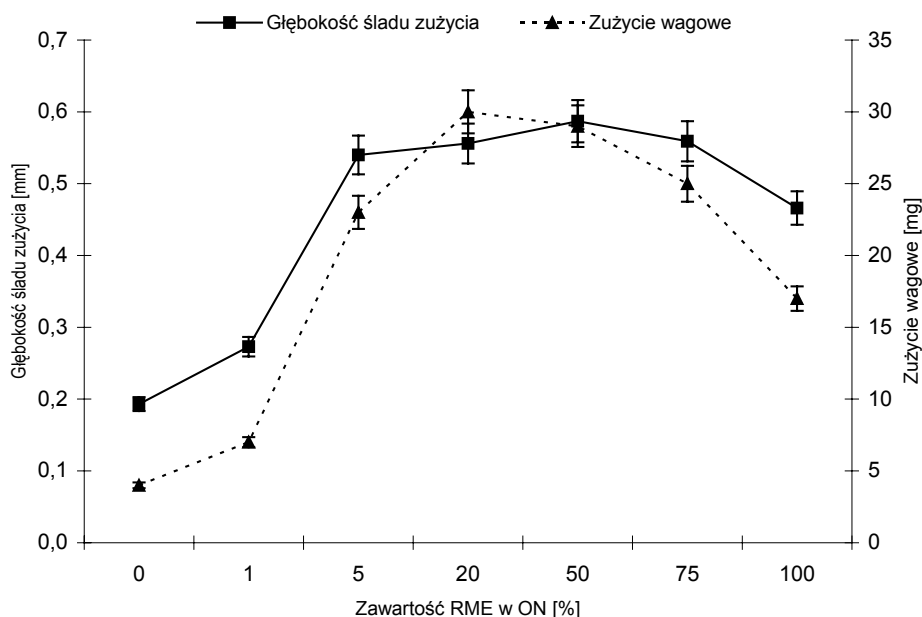
Badania wartości zużycia próbek przeprowadzono metodą wagową z dokładnością $\pm 10^{-6} \text{ kg}$ i porównawczo wykonano pomiary głębokości śladu zużycia mikrometrem elektronicznym – z kulistą końcówką pomiarową z dokładnością $\pm 10^{-6} \text{ m}$ – współpracującym z oprogramowaniem SNAP LINE. Zdefiniowano i obliczono średnią wartość zużycia jednostkowego Z , wyrażoną w mm ubytku materiału w obszarze styku na każdy kilometr drogi tarcia. Dodatkowo dokonano pomiarów zmian chropowatości powierzchni próbek na śladach zużycia zgodnie z [PN-87/M-04251] za pomocą profilografu Hommelwerke T 1000E współpracującego z oprogramowaniem TURBO DATAWIN. Wszystkie próbki i przeciwpróbki, każdorazowo przed wykonaniem pomiarów, poddawano odtłuszczeniu w benzynie ekstrakcyjnej.

Omówienie wyników badań

Wyniki badań podzielono na dwie grupy. Pierwszą, obejmującą porównanie wartości zużycia próbek wyznaczonego wagowo i przez pomiar głębokości śladu w obszarze styku tarcowego (rys. 1.), oraz drugą ilustrującą zużycie jednostkowe Z i zmiany parametru R_a profilu chropowatości powierzchni roboczej (rys. 2), w odniesieniu do ilości dodatku paliwa RME w ON.

Najmniejszą wartość zużycia próbek uzyskano w warunkach smarowania olejem napędowym Ekodiesel Plus F50 (rys. 1). W przypadku wszystkich pozostałych, zastosowanych w badaniach proporcji objętościowych dodatku RME do ON oraz czystego paliwa RME, zaobserwowano zwiększenie wartości zużycia w porównaniu do smarowania czystym ON. Największy – prawie 3-krotny w odniesieniu do smarowania ON – przyrost wartości głębokości śladu zużycia uzyskano przy zawartości 5% dodatku RME w ON (rys. 1, linia ciągła). Przy 20%, 50% i 75% mieszaninach RME w ON zaobserwowano stabilizację ubytku materiału próbek w obszarach śladu tarcia (różnice średnich wartości w granicach

5-cio procentowego błędu statystycznego, rys. 1, tab. 1). Zastosowanie czystego paliwa RME skutkowało ok. 2,5-krotnym – w odniesieniu do smarowania ON – zwiększeniem głębokości śladu zużycia.



Rys. 1. Porównanie charakteru zmian wartości zużycia próbek wykonanych ze stopu AK 9 wyznaczonego wagowo (linia przerywana) i przez pomiar głębokości śladu w obszarze styku tarcowego (linia ciągła)

Fig. 1. Comparison of the nature of changes in the value of wear for samples made of the AK 9 alloy, determined by weight (broken line), and by measuring track depth in frictional contact area (full line)

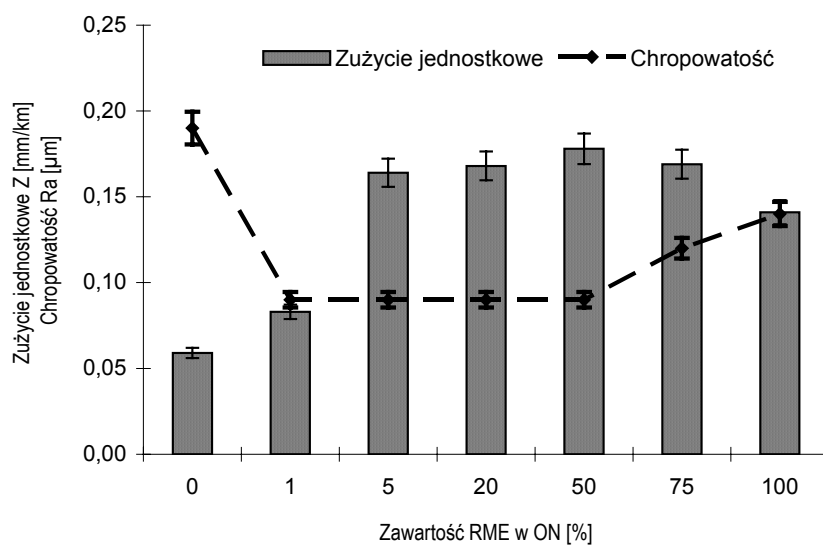
Otrzymane w badaniach średnie wartości zużycia wagowego (rys. 1, linia przerywana) wykazują odmienny charakter przebiegu zmian. Największy – ponad 7-krotny w odniesieniu do smarowania ON – przyrost wartości zużycia wagowego uzyskano przy 20% dodatku RME.

Kolejne zwiększanie zawartości RME w ON (odpowiednio do 50% i 75%) oraz zastosowanie czystego paliwa RME jako środka smarnego, powodowało zmniejszanie przyrostu wartości zużycia wagowego. Zastosowanie czystego paliwa RME skutkowało ponad 4-krotnym – w odniesieniu do smarowania ON – zwiększeniem wartości zużycia wagowego.

Tabela 1. Zestawienie średnich wartości z przeprowadzonych pomiarów
Table 1. The list of average values obtained through the measurements

Zawartość RME w ON [%]	Zużycie wagowe [mg]	Głębokość śladu zużycia [mm]	Zużycie jednostkowe Z [mm·km ⁻¹]	Chropowatość Ra [μm]
0	4	0,193	0,059	0,19
1	7	0,273	0,083	0,09
5	23	0,540	0,164	0,09
20	30	0,556	0,168	0,09
50	29	0,587	0,178	0,09
75	25	0,559	0,169	0,12
100	17	0,466	0,141	0,14

Na rys. 2 zilustrowano zmiany chropowatości powierzchni śladu zużycia (wg parametru R_a) i wartości zużycia jednostkowego Z (wyrażonego w mm ubytku materiału z obszaru styku roboczego na każdy kilometr drogi tarcia) w zależności od zawartości paliwa RME w ON.



Rys. 2. Zmiany chropowatości powierzchni tarcia wg parametru R_a i wartości zużycia jednostkowego Z w zależności od zawartości paliwa RME w ON

Fig. 2. Changes in friction surface roughness according to the R_a parameter and unit wear (Z) values depending on the RME fuel content in diesel oil

Sformułowano przypuszczenie, że taki przebieg zmian wartości, przedstawionych w omówieniu wielkości badawczych, może wskazywać na powstawanie – w obszarze analizowanego styku tarcowego – metaloorganicznych warstewek granicznych o charakterze sorpcyjnym, inicjowane wpływem dipolowych cząsteczek RME zawartych w środku smarnym. Sorbowane fizycznie i/lub chemicznie przypowierzchniowe strefy warstwy wierzchniej (WW), odporne na naciski i o znikomej odporności na ścinanie, mogą intensyfikować procesy ubytkowe w warunkach tarcia ślizgowego (mechanochemiczna forma zużywania), minimalizując zagrożenie występowania patologicznych form zużycia ściernego – mikroskrawania i bruzdowania [Hebda i in. 1980; Bowden i in. 1980; Laber i in. 1997]. Prowadzi to do stabilizacji chropowatości do poziomu równowagowego w danych warunkach pracy skojarzenia i przeciwdziała rozwojowi procesów zatarciowych przy braku trwałego rozdzielenia powierzchni roboczych stabilną warstewką środka smarnego. W przypadku smarowania mieszaniną o zawartości 75% RME i czystym paliwem RME, wpływ opisanego procesu na oddziaływania tribologiczne w skojarzeniu ulega zmniejszeniu – prawdopodobnie ze względu na zmianę właściwości reologicznych środka smarnego spowodowaną zmianami lepkości.

Badania są kontynuowane w celu zweryfikowania i uszczegółowienia wyników oraz ewentualnego wyeliminowania przypadkowych błędów, wynikających z niedokładności metod pomiarowych. Skoncentrowano się na próbie wyjaśnienia przyczyn zaobserwowanych różnic charakteru zmian wartości zużycia próbek wyznaczonego wagowo i przez pomiar głębokości śladu w obszarze styku tarcowego.

Wnioski

Dodatki RME do oleju napędowego, nawet w niewielkich proporcjach objętościowych, wpływają na zmianę właściwości tribologicznych ślizgowych węzłów tarcia typu stal – aluminium smarowanych paliwem. Charakter tych zmian może być istotny w eksploatacji obiektów technicznych, ze względu na przyspieszone zużycie elementów układu zasilania paliwem i w konsekwencji skracanie przebiegów naprawczych. Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych sformułowano następujące wnioski:

1. W przypadku wszystkich zastosowanych w badaniach proporcji objętościowych dodatku RME do ON oraz czystego paliwa RME uzyskano zwiększenie wartości zużycia próbek wykonanych ze stopu AK 9 w porównaniu do smarowania olejem napędowym Ekodiesel Plus F50.
2. Największe przyrosty wartości zużycia próbek, zaobserwowano dla 20% zawartości RME w ON - podczas pomiarów metodą wagową – i dla 5% dodatku RME – podczas pomiarów głębokości śladu zużycia.
3. Zastosowanie dodatku RME do ON, już na poziomie 1% objętościowo, może powodować zmianę dominującego procesu elementarnego zużycia tribologicznego z utleniającego na ścierny w ślizgowych węzłach tarcia typu stal – aluminium smarowanych paliwem.

Bibliografia

- Baczewski K., Kaldoński T.** 2004. Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Warszawa. WKŁ. ISBN 83-206-1510-0.
- Bocheński C.** 2003. Biodiesel. Paliwo rolnicze. SGGW. Warszawa. ISBN 83-7244-412-9.
- Bowden P., Tabor D.** 1980. Wprowadzenie do trybologii. Warszawa, WNT. ISBN 83-204-0315-4.
- Hebda M., Janecki J.** 1972. Tarcie, smarowanie i zużycie części maszyn. Warszawa, WNT.
- Laber S., Laber A.** 1997. Wybrane zagadnienia tribologiczne związane z problematyką tarcia bez-zużyciowego. Zielona Góra, Politechnika Zielonogórska, Monografie nr 85.
- Majzner M., Kajdas C., Okulicz W.** 1998. Problemy smerności olejów napędowych nowej genera-cji. Tribologia. 2. s. 109-129.
- ASTM G 77-98. 1998. Standard Test Method for ranking resistance of materials to sliding wear using Block-on-Ring wear test. American Society For Testing and Materials.
- PN-87/M-04251. Struktura geometryczna powierzchni. Chropowatość powierzchni. Wartości liczbowe parametrów.

WORK SAFETY TESTS OF SLIDING ASSOCIATIONS OF TYPE STEEL – ALUMINIUM LUBRICATED WITH DIESEL OIL WITH ADDED RME

Abstract. In the paper results of preliminary laboratory tests of changes of wear and tear values of samples made of AK 9 (AlSi9Mg) alloy, mating in sliding associations of type steel – aluminium lubricated in an immersed manner with diesel oil Ecodiesel Plus F50 with added RME fuel have been presented.

Key words: feeding compression-ignition engines, diesel oil, RME fuel, friction, wear and tear, lubricating

Adres do korespondencji:

Piotr Wanke; e-mail: pwanke@agro.ar.szczecin.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI nr 3
71-459 Szczecin