

Konrad PRAJWOWSKI¹, Wawrzyniec GOŁĘBIEWSKI¹, Marian KORDAS², Rafał RAKOCZY²

e-mail: kprajwowski@zut.edu.pl

¹ Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin² Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Ocena wpływu dodatku ozonu na jakość spalin silnika o zapłonie samoczynnym

Wstęp

Jeden ze sposobów zwiększenia mocy silników spalinowych polega na zwiększeniu zawartości tlenu w doprowadzonym do komory spalania powietrzu poprzez doprowadzenie ozonu do układu dolotowego lub do przestrzeni roboczej silnika [Foucher i in., 2013]. Korzystne jest wykonanie powierzchni układu dolotowego lub elementów przestrzeni roboczej silnika w formie chropowatej lub ożebrowanej [PL 217476]. Powoduje to powstawanie zawirowań w doprowadzonym powietrzu wraz z ozonem, co może zwiększać efektywność kontaktu ozonu z paliwem [Oh i in., 2012; Oh i Lee, 2014].

Ozon stosowany w mieszaninie z powietrzem działa, jako katalizator przyspieszający proces utleniania zachodzący w niższej temperaturze. Katalityczne działanie ozonu polega na jego rozpadzie na rodniki atomowego tlenu oraz na rozpoczęciu łańcuchowej reakcji utleniania, która wpływa na produkty spalania oraz może zmniejszyć zużycie paliwa [Wilk, 2007].

Głównym celem pracy jest określenie wpływu ozonu na toksyczność spalin wylotowych oraz uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy doprowadzenie ozonu do silnika skutkuje obniżeniem emisji CO, CO₂, NO, NO_x oraz czy wpływa na redukcję zadymienia spalin (obecności w nich cząstek stałych, głównie sadzy), wyrażonego w postaci współczynnika pochłaniania światła.

Badania doświadczalne

Stanowisko badawcze

Prace badawcze wykonano na jednostce Fiat 1,3 JTD 16V MULTIJET. Jest to turbodoładowana, czterocyldrowa jednostka wysokoprężna, z systemem wtrysku bezpośredniego typu Multijet Common Rail. Silnik został wyposażony w układy zapewniające prowadzenie eksperymentu zgodnie z normą [PN-ISO 15550:2009]. Widok stanowiska badawczego pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego z silnikiem Fiat 1,3 JTD 16V MULTIJET

Na rys. 2 pokazano sposób doprowadzenia ozonu do testowanego silnika. W przypadku tych badań ozon doprowadzono do filtra powietrza przed przepływomierzem powietrza.



Rys. 2. Doprowadzenie ozonu do silnika Fiat 1,3 JTD 16V MULTIJET

Metodyka pomiarów

W trakcie badań silnik Fiat 1,3 JTD 16V MULTIJET zasilano olejem napędowym letnim B [PN-EN 590+A1:2011]. Pomiary prowadzono w zakresie prędkości obrotowych wału korbowego od 1000 do 4400 obr/min przy maksymalnej dawce paliwa. Stanowisko badawcze wyposażono w hamulec z płynną regulacją wartości zadanej obciążenia silnika spalinowego. Podczas badań wykorzystano hamulec elektrowrowy firmy AUTOMEX AMX 100 wraz z miernicą masową AUTOMEX AMX 212F oraz oprzyrządowanie sterująco-pomiarowe (panel mocy, tablicę rozdzielczą Fiat Panda 2, komputer PC z oprogramowaniem PARM). Do pomiaru zadymienia spalin wykorzystano dymomierz absorpcyjny MAHA MDO 2 oraz analizator spalin IMR 1500, który umożliwiał odczyt zawartości CO, CO₂, NO i NO_x. Ozon wytwarzano poza silnikiem wykorzystując generator typu OZ-1G/OZ-B1000 o wydatku 1000 mg/h.

Wyniki i dyskusja

Uzyskane wyniki opracowano stosując następującą zależność [Wang i in., 2012]:

$$\eta = \left(\frac{S_{ozon} - S_0}{S_0} \right) 100\% \quad (1)$$

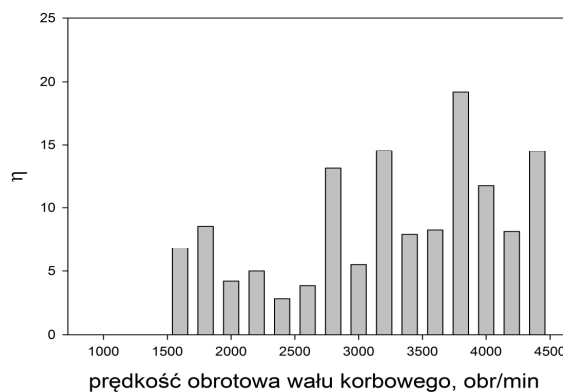
gdzie:

S_{ozon} – stężenie/zawartość (CO, CO₂, NO, NO_x lub zadymienie) dla silnika pracującego z doprowadzonym ozonem;

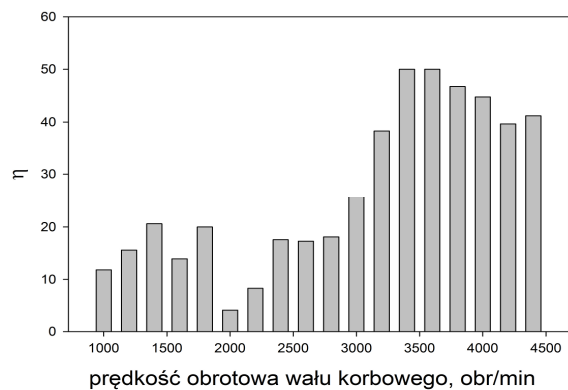
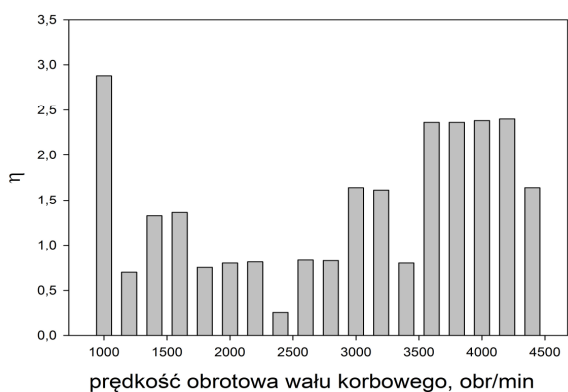
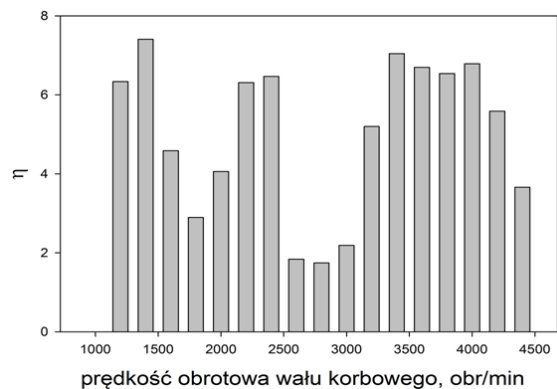
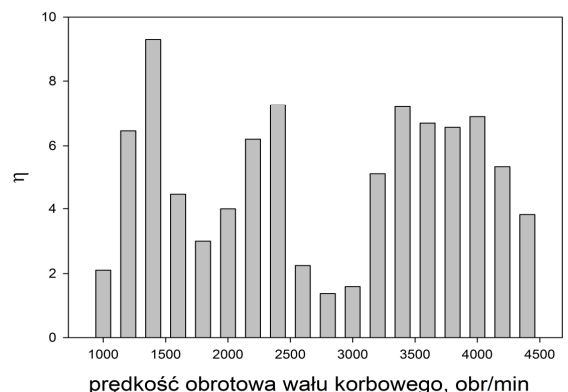
S_0 – stężenie/zawartość (CO, CO₂, NO, NO_x lub zadymienie) dla silnika bez doprowadzonego ozonu.

Należy zauważyć, że w równ. (1) zastosowano wartość bezwzględna z wyrażenia $((S_{ozon} - S_0)/S_0)$ 100%. Pozwala to na uzyskanie wartości dodatnich dla parametru η , wskazujących na poprawienie jakości spalin po dodatku ozonu.

Na rys. 3 pokazano wyniki dotyczące zadymienia spalin dla pracy silnika bez lub z doprowadzonym ozonem. Uzyskane wyniki opracowano w zależności od prędkości obrotowej wału korbowego – parametru, który był zmieniany podczas pomiarów.

Rys. 3. Zależność parametru η od prędkości obrotowej wału korbowego uzyskana dla zadymienia spalin

Jak można zauważyć, dodatek ozonu powoduje zmniejszenie zadymienia spalin, co przekłada się na zmniejszenie zawartości sadzy w spalinach. Efekt ten jest szczególnie widoczny w obszarze średnich i wysokich prędkości obrotowych wału korbowego.

Rys. 4. Zależność parametru η od prędkości obrotowej wału korbowego uzyskana dla CORys. 5. Zależność parametru η od prędkości obrotowej wału korbowego uzyskana dla CO₂Rys. 6. Zależność parametru η od prędkości obrotowej wału korbowego uzyskana dla NORys. 7. Zależność parametru η od prędkości obrotowej wału korbowego uzyskana dla NO_x

W silnikach wydzielanie CO związane jest zazwyczaj z wydzielaniem sadzy. Na rys. 4 przedstawiono zmienność wyznaczonego parametru w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego dla CO.

Należy zaznaczyć, że dodatek ozonu wpłynął pozytywnie na ilość omawianego związku w spalinach. Pozytywny efekt wpływu dodatku ozonu zaobserwowano również dla CO₂ mierzonego w spalinach (Rys. 5). Jednak redukcja CO₂ w układzie wyposażonym w generator ozonu wynosi maksymalnie ok. 3% (dla prędkości równej 1000 obr/min).

Odpowiednio na rys. 6 i 7 pokazano wpływ dodatku ozonu na zawartość NO i NO_x w spalinach. Jak można zauważyć dodatek ozonu wpływa pozytywnie na redukcję NO i NO_x. Maksymalna redukcja NO wynosi ok. 8% dla prędkości obrotowej wału korbowego wynoszącej 1400 obr/min. W przypadku NO_x największy efekt uzyskano również dla tej prędkości (redukcja o ok. 10%). Redukcję NO_x osiągnięto również w przypadku wysokich wartości prędkości obrotowych wału korbowego (od 3200 obr/min).

Wnioski

Wpływ ozonu na pracę silników spalinowych jest tematem, który cechuje się wysokim zainteresowaniem badaczy. Z punktu widzenia ochrony środowiska redukcja toksyczności spalin wydzielanych przez silniki spalinowe jest obecnie jednym z najważniejszych problemów.

Przedstawiona w pracy tematyka jest aktualna oraz charakteryzuje się dużym aspektem praktycznym. Uzyskane wyniki wykazały, że wprowadzenie ozonu wraz z powietrzem wlotowym skutkuje obniżeniem emisji CO, CO₂, NO, NO_x oraz wpływa na redukcję zadymienia spalin.

Należy zauważyć, że w pracy zastosowano jedno stężenie ozonu, który był wprowadzany przed filtrem powietrza. Dokładniejsza ocena pracy jednostki napędowej wymaga przeprowadzania dalszych badań dla różnych wartości stężenia ozonu, jak również dla różnych punktów jego dozowania.

Ponadto uzyskane wyniki świadczą, że nie jest możliwe wskazanie ogólnej zależności parametru η od prędkości obrotowej wału korbowego – parametru, który był zmieniany podczas pomiarów.

Należy mieć na uwadze fakt, że zaprezentowane wyniki stanowią pierwszy, początkowy etap prac badawczych związanych z analizą wpływu ozonu na jakość spalin. Planowane jest wykonanie dalszych prac badawczych związanych z analizą dodatku ozonu i wpływu różnych parametrów opisujących działanie jednostki napędowej na jakość otrzymywanych spalin.

LITERATURA

- Foucher F., Higelin P., Mounaim-Rousselle C., Dagaut P., (2013). Influence of ozone on the combustion of *n*-heptane in a HCCI engine. *P. Combust. Inst.*, 34, 3005-3012. DOI: 10.1016/j.proci.2012.05.042
- Oh J., Kim K., Lee K., (2012). Effects of various mixer types on the spatial distribution of a De-NO_x reductant. *Fuel*, 94, 93-101. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.12.018
- Oh J., Lee K., (2014). Spray characteristics of a urea solution injector and optimal mixer location to improve droplet uniformity and NO_x conversion efficiency for selective catalytic reduction. *Fuel*, 119, 90-97. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.11.032
- PN-EN 590+A1:2011. *Paliwa do pojazdów samochodowych - Oleje napędowe - Wymagania i metody badań*
- PN-ISO 15550:2009. *Silniki spalinowe tłokowe - Określanie i metoda pomiaru mocy silnika - Wymagania ogólne*
- Wang Z.H., Yang L., Li B., Li Z.S., Sun Z.W., Alden M., Cen K.F., Konnov A.A., (2012). Investigation of combustion enhancement by ozone additive in CH₄/air flames using direct laminar burning velocity measurements and kinetics simulations. *Combust. Flame*, 159, 120-129. DOI: 10.1016/j.combustflame.2011.06.017
- Wilk M., (2007). *Badanie wpływu ozonu na proces spalania gazu*. Praca doktorska, AGH, Kraków