

Marek SWAT

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

PALIWOWE KOMPONENTY DEPOLIMEROWE DO SILNIKA O ZI

Słowa kluczowe

Paliwa silnikowe, silnik o ZI, ekologia.

Streszczenie

Przedstawiono wyniki własnych badań silnikowych nad zastosowaniem komponentów depolimerowych jako paliwa do silnika o ZI. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że ze względów eksploatacyjnych najlepszym komponentem paliwowym jest dodatek 10% benzyny X i 20% benzyny Y z DTS (depolimeryzacji tworzyw sztucznych). Stwierdzono, że 20% dodatek benzyn X i Y z DTS jest wielkością graniczną, powyżej której efekty w ograniczeniu emisji CO i HC nie rekompensują wzrostu emisji NO_x i wyraźnego pogorszenia parametrów eksploatacyjnych pracy silnika.

Wprowadzenie

Zagospodarowanie odpadowych tworzyw sztucznych stanowiło problem, od kiedy zaczęto stosować tworzywa na masową skalę. Odpady z tworzyw sztucznych ze względu na dużą odporność na naturalną degradację stają się jednym z podstawowych problemów ekologicznych współczesnego środowiska. Próbuje się rozwiązać problem przez destrukcyjne przetwarzanie takich odpadów we frakcję węglowodorową o szerokim zakresie temperatury wrzenia z możliwością zastosowania jako komponentu paliw silnikowych i opałowych [1, 3, 5]. Większość metod polega na odzyskiwaniu energii z odpadów polime-

rowych poprzez ich rozkład do związków o niskiej masie cząsteczkowej na drodze krakingu katalitycznego lub pirolizy [2–8]. Procesy termiczne lub katalityczne na skutek rozpadu wielkocząsteczkowych polimerów generują związki o mniejszej masie cząsteczkowej. Najbardziej korzystnym wydaje się przetwarzanie olefinowych tworzyw sztucznych (niezawierających heteroatomów), dzięki czemu można otrzymywać frakcje węglowodorowe o podobnych własnościach jak frakcje uzyskiwane z przerobu ropy naftowej [1]. Jedną z ogromnych zalet tego typu depolimerów jest to, że pozbawione są zanieczyszczeń związkami, których spalanie niekorzystnie wpływa na środowisko naturalne (związki siarki, chloru, azotu).

1. Cel pracy

Zbadanie właściwości użytkowych i toksyczności spalin silnika o ZI, zasilanego paliwem (o właściwościach zbliżonych do benzyny bezołowiowej), wytworzonym w wyniku depolimeryzacji odpadowych, olefinowych tworzyw sztucznych, otrzymanego w wyniku realizacji części zadania (Program Wieloletni PW-004) przez Politechnikę Warszawską [3].

2. Stanowisko badawcze

Ze względu na niewielkie ilości paliwa (depolimeru oznaczonego jako „X” i depolimeru oznaczonego jako „Y”) wytworzonego w warunkach laboratoryjnych, na obiekt badań wybrano małolitrażowy silnik GE 100 Honda o średnim godzinowym zużyciu paliwa $G_e = 0,43 \text{ dcm}^3/\text{h}$. Do badań użyto silnika napędzającego generator prądotwórczy EM650Z firmy Honda o nominalnej podaży mocy 450 VA. Obciążenia silnika realizowano dzięki elektrycznemu układowi obciążania generatora przez wpinanie w jego obwód wyjściowy odbiorników mocy o regulowanym oporze. Dodatkowo kontroli obciążenia dokonywano przez pomiar prądu i napięcia w obwodzie wyjściowym generatora.

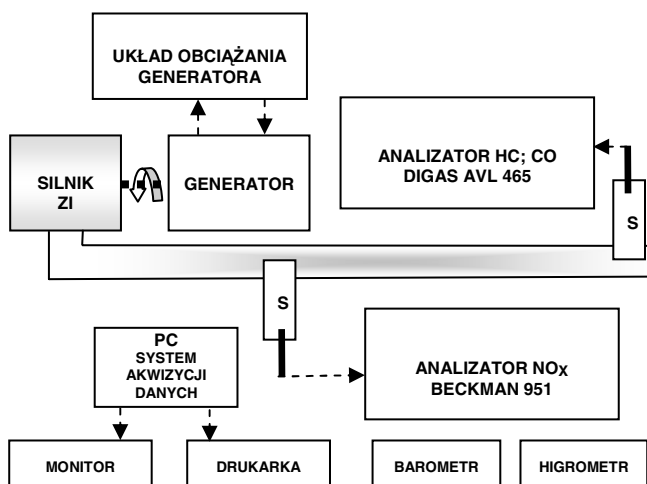
Do pomiaru stężeń tlenków azotu w spalinach układu wylotowego silnika użyto analizatora Beckman 951, a do pomiaru stężeń niespalonych węglowodorów i tlenku węgla analizatora Digas AVL 465. Schemat funkcjonalny stanowiska badawczego przedstawia rys. 1.

Do badań użyto komponentów dwóch rodzajów paliw benzynowych dostarczonych przez Politechnikę Warszawską (wykonawca części zadania) o charakterystycznych cechach prezentowanych w zestawieniu poniżej (tabela 1). Przyjęto nomenklaturę w opisie wyników badań w postaci np. „p1X” (oznacza ją mieszaninę paliwową paliwa standardowego „st” i komponentu paliwa „X”). Badaniom poddawano komponenty paliw o zawartości od 10 do 100% zawartości benzyny pochodzącej z depolimeryzacji tworzyw sztucznych (DTS).

Tabela 1. Cechy charakterystyczne paliw użytych do badań

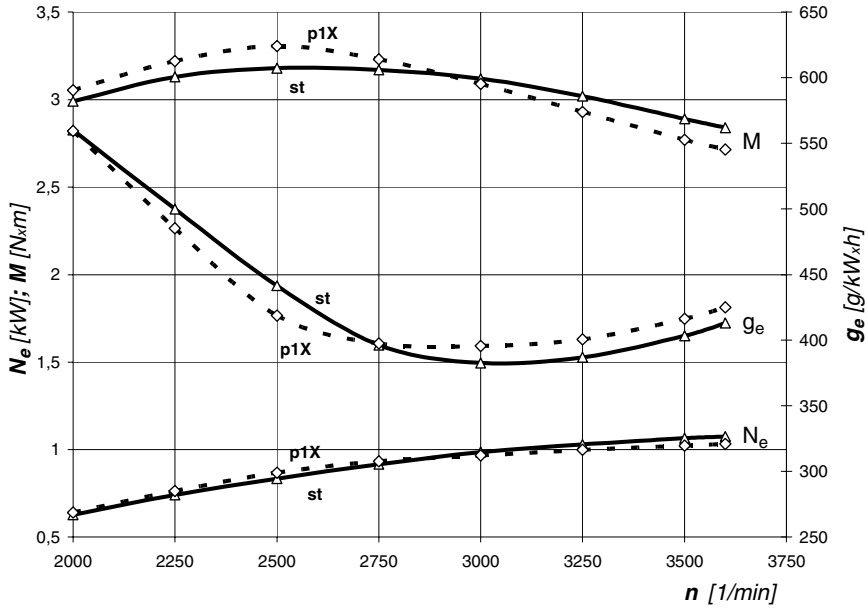
Lp.	Parametry	Pb 95 EN 228:2004	Paliwo X X DTS 100	Paliwo Y Y DTS 100
1	Liczba oktanowa	95,4	89,8	93,5
2	Gęstość w tem.15°C g/cm ³	740	680	760

Za podstawę porównań wyników badań przyjęto parametry eksploatacyjne i sprawność badanego silnika oraz poziom emisji toksycznych składników spalin emitowanych przez badany silnik przy zasilaniu paliwem standardowym.

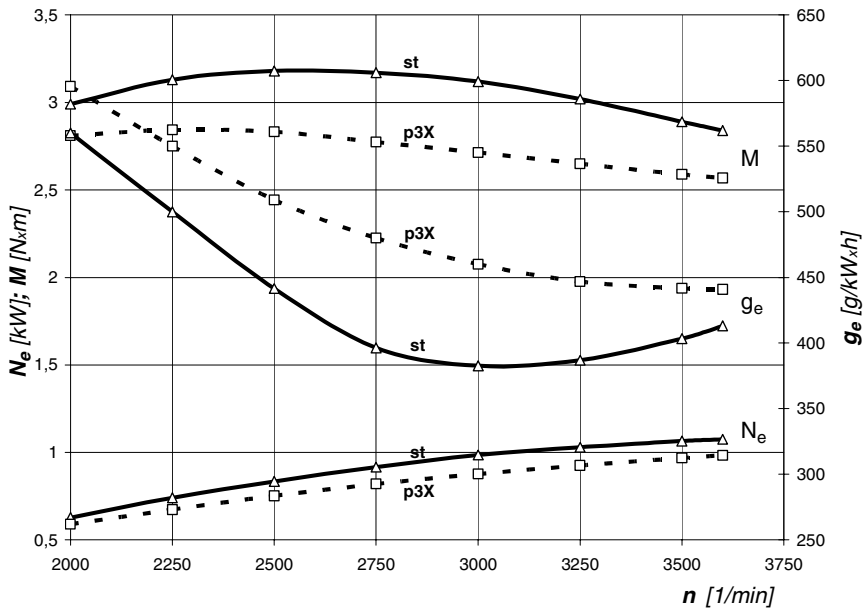
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego, gdzie: S – sondy analizatorów HC, CO i NO_x

3. Wyniki badań

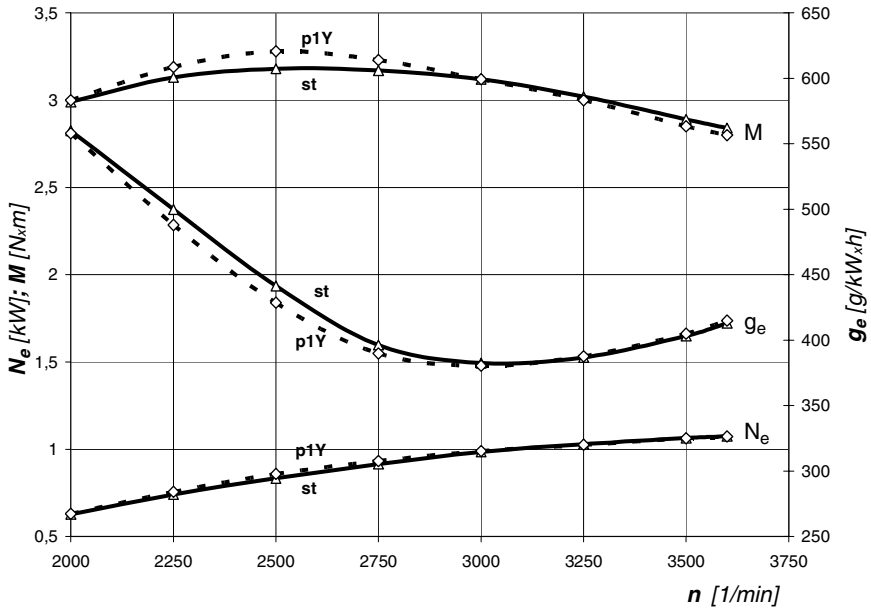
Zaobserwowano, że przy zasilaniu mieszankami zawierającymi niewielkie ilości paliwa z DTS dla badanego silnika znamionowymi są obroty maksymalnego momentu. Stwierdzono, że przy zasilaniu silnika paliwem zawierającym mniej niż 20% komponentu DTS (krzywe p1X i p1Y na rys. 2, 4 i 6, 7) obu rodzajów paliw X i Y wzrastają osiągi i sprawność silnika. Największy 5% wzrost sprawności zaobserwowano dla paliwa p1X i 3% dla paliwa p1Y dla obrotów silnika bliskich obrotom maksymalnego momentu. Po przekroczeniu obrotów maksymalnego momentu sprawność silnika zasilanego paliwem p1X zmniejsza się o około 4%, natomiast przy zasilaniu paliwem p1Y silnik wykazuje praktycznie identyczną sprawność jak przy zasilaniu paliwem standardowym.



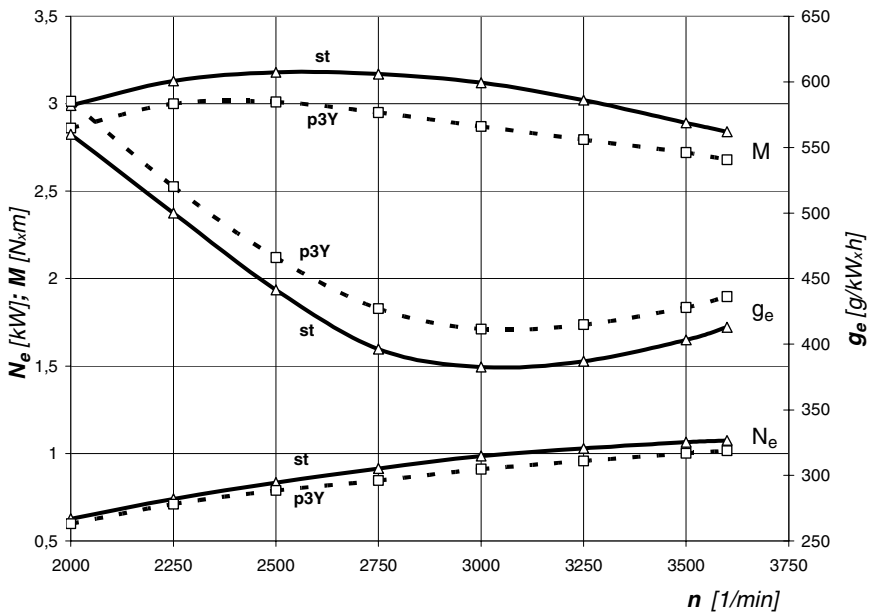
Rys. 2. Charakterystyka eksploatacyjna badanego silnika zasilanego paliwem standardowym (st) i paliwem p1X (20% dodatek komponentowy depolimeru X)



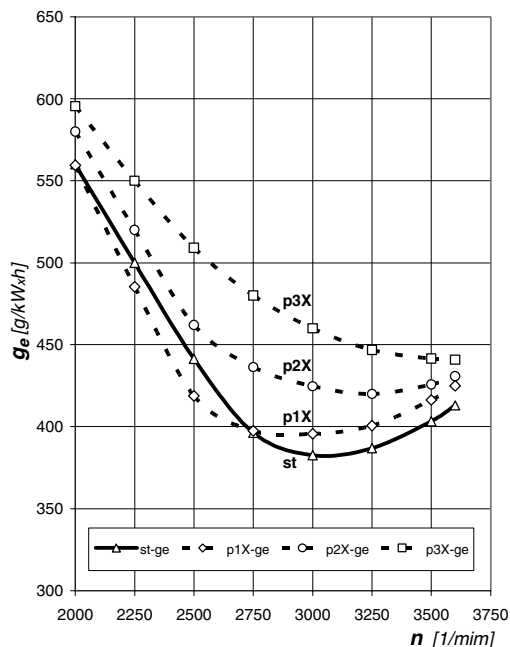
Rys. 3. Charakterystyka eksploatacyjna badanego silnika zasilanego paliwem standardowym (st) i paliwem p3X (100% czysty depolimer X)



Rys. 4. Charakterystyka eksploatacyjna badanego silnika zasilanego paliwem standardowym (st) i paliwem p1Y (20% dodatek komponentowy depolimeru Y)



Rys. 5. Charakterystyka eksploatacyjna badanego silnika zasilanego paliwem standardowym (st) i paliwem p3Y (100% czysty depolimer Y)



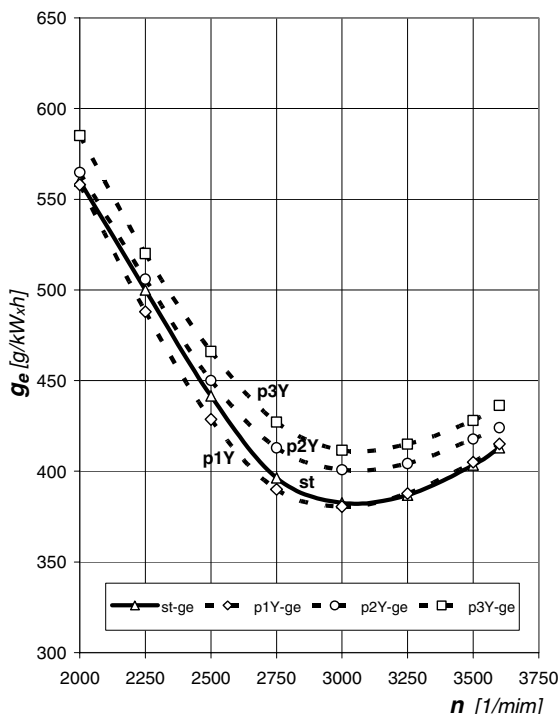
Rys. 6. Porównanie zmian jednostkowego zużycia paliwa przez badany silnik (charakterystyka eksploatacyjna) zasilanego paliwem standardowym (st.) i komponentami paliwa X, gdzie: p1 – 20%, p2 – 50%, p3 – 100% udziału depolimeru X w mieszaninie paliwowej

Zasilanie silnika „czystymi” depolimerami tworzyw sztucznych (paliwa – 100% X i 100% Y – p3X, p3Y na rysunkach 3, 5 i 6, 7), powoduje pogorszenie osiągnięć i sprawności w całym zakresie prędkości obrotowej i obciążeń silnika. Paliwo X wykazuje wyraźnie gorsze właściwości pod tym względem niż paliwo Y. Na charakterystyce eksploatacyjnej stwierdzono mniejszą o 15% sprawność badanego silnika przy zasilaniu czystym depolimerem X i o 7% mniejszą sprawność w przypadku czystego depolimeru Y.

Zasilanie mieszankami paliwa standardowego i komponentami X i Y o pośrednich udziałach procentowych między 20% a 100% powodują proporcjonalne zmiany w osiągnięciach i sprawności silnika analogiczne do prezentowanych wartości granicznych. Przykładem zmiany g_e silnika dla paliw p2X i p2Y (50% zawartości komponentów depolimerowych), na charakterystyce eksploatacyjnej (rys. 6 i 7).

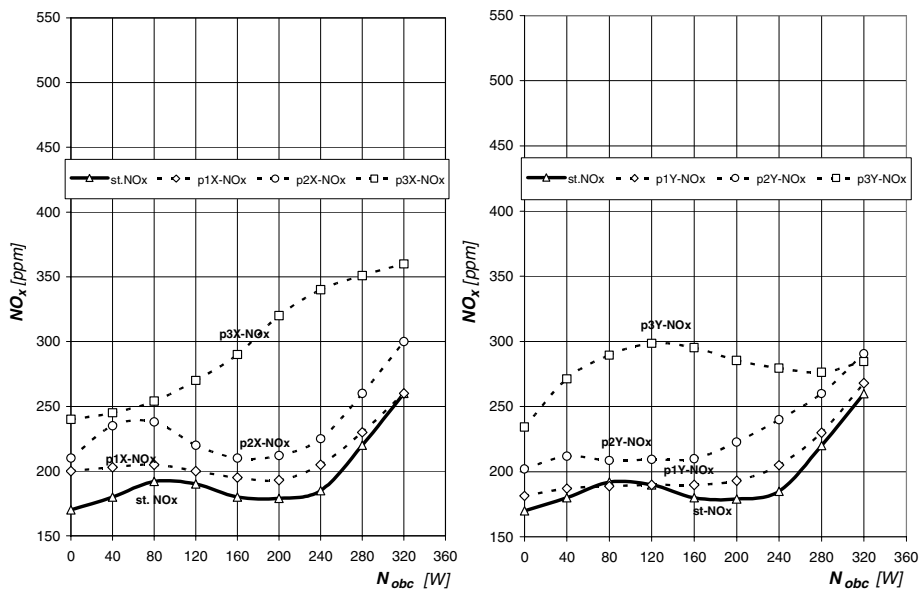
W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono wzrost emisji tlenków azotu dla wszystkich badanych komponentów paliw w całym zakresie obciążeń silnika. Na rysunku 8 przedstawiono porównanie stężeń NO_x w spalinach badanego silnika dla wybranych komponentów paliw X i Y. Zmiany stężeń tlenu azotu w spalinach dla obu rodzajów paliw p1 (20% udział w mieszaninie) mają podobne przebiegi w zakresie średnich (porównywalne ok. 10% wzrosty) i maksymalnych obciążeń silnika (zbliżone do stężeń obserwowanych przy zasilaniu

paliwem standardowym). Różnice w przebiegach stężeń NO_x obserwowano w zakresie biegu jałowego i małych obciążań. Dla paliwa p1X przy biegu jałowym stwierdzono o 18% większe stężenia niż stężenia przy zasilaniu paliwem standardowym. Różnice w poziomach stężeń malały do poziomu 5% w zakresie małych obciążań silnika. W analogicznych obciążeniach przy zasilaniu paliwem p1Y – 7% wzrost stężeń przy biegu jałowym malał do poziomu porównywalnego przy zasilaniu paliwem standardowym.

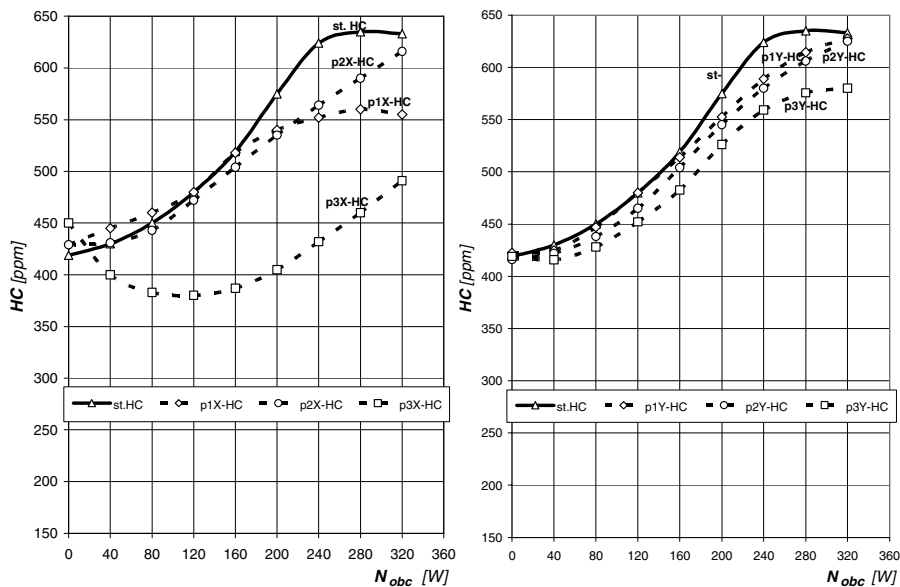


Rys. 7. Porównanie zmian jednostkowego zużycia paliwa przez badany silnik (charakterystyka eksploatacyjna) zasilanego paliwem standardowym (st.) i komponentami paliwa Y, gdzie: p1 – 20%, p2 – 50%, p3 – 100% udziału depolimeru Y w mieszaninie paliwowej

Zasilanie silnika czystymi depolimerami powoduje znaczny wzrost stężeń tlenków azotu (przebiegi p3). Depolimer X powoduje stały 40% wzrost stężeń w zakresie małych i maksymalnych obciążań silnika i 80% wzrost w zakresie średnich obciążań. Dla depolimeru Y wzrost obciążenia od biegu jałowego do zakresu średnich obciążań silnika powodował wzrost stężeń odpowiednio z 40% do 65%. Jednak dalszy wzrost obciążenia silnika przy zasilaniu depolimerem Y powodował zmniejszenie progresji wzrostu stężenia NO_x i w efekcie obserwowano 10–12% wzrost stężeń w zakresie maksymalnych obciążań silnika w porównaniu ze stężeniami przy zasilaniu paliwem standardowym.

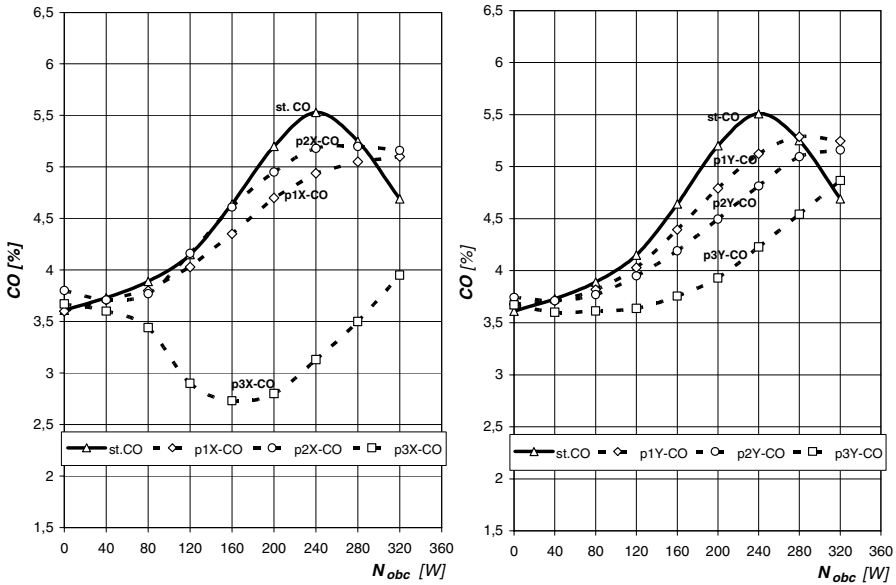


Rys. 8. Porównanie stężeń tlenków azotu w spalinach silnika zasilanego komponentami paliw X i Y

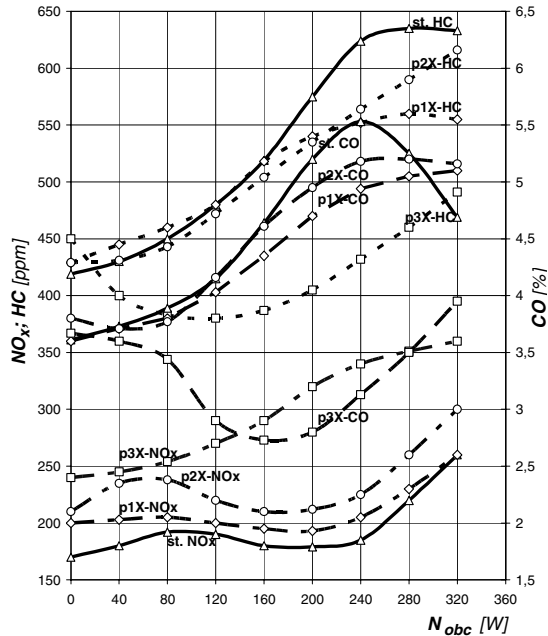


Rys. 9. Porównanie stężeń węglowodorów w spalinach silnika zasilanego komponentami paliw X i Y

Najprawdopodobniej przyczyną tak znacznego wzrostu stężeń tlenków azotu przy zasilaniu czystymi depolimerami jest spadek sprawności ogólnej silnika i związany z nim obserwowany wzrost średnich temperatur obiegu.



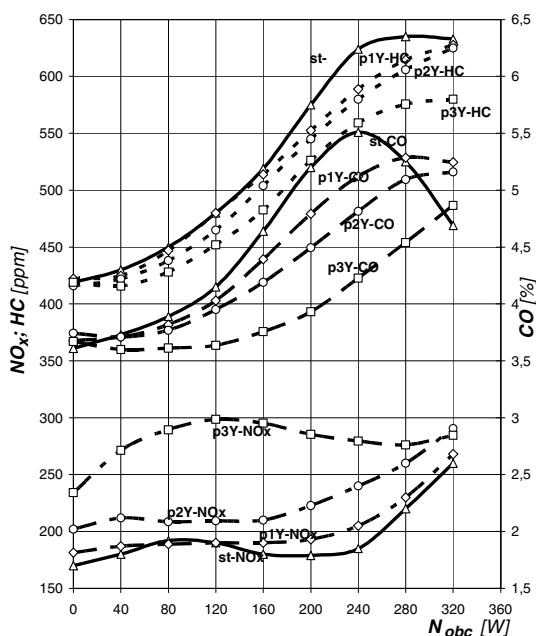
Rys. 10. Porównanie stężeń tlenku węgla w spalinach silnika zasilanego komponentami paliw X i Y



Rys. 11. Zmiany stężeń substancji toksycznych na charakterystyce obciążeniowej badanego silnika zasilanego paliwem standardowym (st.) i komponentami paliwa X

Stwierdzony wzrost średnich temperatur obiegu silnika pozytywnie wpływa na poziomy stężenie tlenku węgla i niespalonych węglowodorów (rys. 9 i 10).

Poza zakresem małych obciążeń silnika emisja tlenku węgla i niespalonych węglowodorów ulega wyraźnemu zmniejszeniu w porównaniu z zasilaniem paliwem standardowym. Efekt ograniczenia emisji CO i HC jest tym większy, im znaczniejszy jest udział procentowy paliwa z DTS w komponencie paliwowym. Największe ograniczenia stężeń CO (zmniejszenie o 46%) zaobserwowano dla czystego depolimeru X w zakresie średnich obciążeń silnika, również największy (25%) spadek stężeń HC stwierdzono dla tego paliwa przy tym samym zakresie obciążeń. Przy zasilaniu czystym depolimerem Y efekty w ograniczaniu poziomów stężeń CO i HC są średnio o połowę mniejsze, ale ogólna tendencja zmian jest podobna jak w przypadku depolimeru X.



Rys. 12. Zmiany stężeń substancji toksycznych na charakterystyce obciążeniowej badanego silnika zasilanego paliwem standardowym (st.) i komponentami paliwa Y

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że ze względów eksploatacyjnych najlepszym komponentem paliwowym jest dodatek 10% benzyny X i 20% benzyny Y z DTS, nie zaobserwowano bowiem znaczących różnic w parametrach eksploatacyjnych pracy silnika (moc, moment obrotowy). Taki poziom dodatku powoduje wyraźne ograniczenie poziomów emisji CO i HC zwłaszcza w zakresie średnich i maksymalnych obciążeń silnika. Dla maksymalnych obciążeń silnika obserwowano również porównywalne poziomy stężeń NO_x ze stężeniami przy zasilaniu paliwem standardowym.

Stwierdzono, że 20% dodatek benzyn X i Y z DTS jest wielkością graniczną powyżej której efekty w ograniczaniu emisji CO i HC nie rekompensują wzrostu emisji NO_x i wyraźnego pogorszenia parametrów eksploatacyjnych pracy silnika.

Wydaje się, że ze względów eksploatacyjnych, komponenty paliwowe z niewielką ilością dodatku benzyny z DTS (na poziomie 10 do 20%) mogą być wykorzystane szczególnie przy zasilaniu silników stacjonarnych pracujących ze stałą prędkością obrotową i stałym obciążeniem bliskim mocy znamionowej silnika.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.

Bibliografia

1. Budzyńska-Józwiak A., Sosnowska-Maciukiewicz L., Szumacher S.: Badania nad hydrorafinacją frakcji węglowodorowej z destrukcyjnej przeróbki odpadowych tworzyw sztucznych. *Problemy Eksploatacji*, 4 2008.
2. Darkowski A.: Katalityczny kraking odpadowych poliolefin na katalizatorach zeolitowych do paliw silnikowych, *Materiały XIII Forum Zeolitowego*, Polańczyk 2006.
3. Darkowski A., Swat M.: Catalytic cracking of polyolefines waste to diesel oil and gasoline, *Problemy Eksploatacji* 4 2006.
4. Kodera Y., Ishihara Y.: Novel process for recycling waste plastics to fuel gas using a moving-bed reactor. *Energy & Fuels* 20 2006.,
5. Łuksa A., Sobczak M., Gos M., Wojcieszak P., Krzezińska M., Stępień A., Dębek C.: Wykorzystanie ciekłych frakcji z termodestrukcji odpadów polimerowych jako komponentów paliw węglowodorowych. *Przem. Chem.* 87 2008.
6. Sarbak Z.: *Kataliza w ochronie środowiska*. 2004.
7. Tymiński B, Zwoliński K., Darkowski A., Jurczyk R.: Wpływ katalizatora na szybkość rozkładu polietylenu i jakość otrzymanych produktów. *Paliwa z odpadów*, praca zbiorowa pod red. J. Wandrasza i K. Piekonia. 2005.
8. Walendziewski J.; *Fuel Process. Technol.* 2005.
9. Polska Norma, *Paliwa do pojazdów samochodowych, benzyna bezołowiowa*, PN-EN 228.

Recenzent:
Sławomir LUFT

Fuel depolymerization components for the spark ignition engine

Key-words

Engine fuel, spark ignition engine, ecology.

Summary

Research results of the application of depolymerization components as a fuel to the spark ignition engine are presented. The research determined that the best fuel components for the operational conditions are the 10% gasoline X additive and the 20% gasoline Y additive with PD (Plastics Depolymerization). The 20% value gasoline X and Y additives with PD is the limiting value. Below this value, the effects in reducing CO and HC did not compensate for the increase NO_x emissions and there was a clear deterioration in the operational performance of the engine.