

EKOLOGICZNE ASPEKTY ODDZIAŁYWANIA SILNIKÓW WYSOKOPRĘŻNYCH

Karol KWIATKOWSKI, Bogdan ŻÓŁTOWSKI

Wydział Mechaniczny ATR Bydgoszcz
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
ul. S. Kaliskiego 7, 85 – 796 Bydgoszcz

Streszczenie:

W ostatnich latach cały wysiłek konstruktorów silników spalinowych był skierowany na zmniejszenie emisji związków toksycznych wydalanych przez silniki spalinowe pojazdów. W pracy tej przedstawiono sposoby redukcji toksycznych składników emitowanych spalin silników wysokoprężnych, w szczególności zaś systemy ograniczające emisję cząstek stałych.

Słowa kluczowe: ekologia, silniki spalinowe, katalizatory spalin, emisja PM

ECOLOGICAL ASPECTS OF INFLUENCE OF THE DIESEL ENGINES

Summary

In last years all effort of constructors of the diesel engines was directed on diminution of issue of toxic relationships dismissed by engines of vehicles. In this work one introduced manners of reduction the toxic components emitted of fumes of the diesel engines, in peculiarities while systems restrictive issue of solid small parts.

Keywords: ecology, internal-combustion engines, catalysts of fumes, issue PM.

1. WPROWADZENIE

Problem użytkowania pojazdów samochodowych i jego wpływ na środowisko staje się z roku na rok coraz ważniejszy, z uwagi na ciągle rosnącą ilość pojazdów i wzrost natężenia ruchu. Zwiększający się udział pojazdów z silnikami o zapłonie samoczynnym zaznaczył się wzrostem cząstek stałych w strukturze globalnej emisji zanieczyszczeń motoryzacyjnych i wymusił konieczność podjęcia działań ograniczających skalę tej emisji. Mimo spadku emisji składników toksycznych wydalanych przez silniki spalinowe pojazdów (w związku z ich ciągłym udoskonalaniem) samochód jest ciągle jednym z głównych źródeł substancji zanieczyszczających środowisko. Także w Polsce coraz bardziej zwraca się uwagę na zanieczyszczenie środowiska przez toksyczne składniki spalin. Świadczy o tym dostosowywanie naszych przepisów dotyczących dopuszczalnej wielkości emisji substancji toksycznych do przepisów Unii Europejskiej. Tendencja do zaostrzania wskaźników dopuszczalnej emisji spalin wymusza konieczność poszukiwania coraz skuteczniejszych sposobów ich eliminacji.

2. ZAGROŻENIE ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Powietrze, które nas otacza jest nie tylko niezbędnym dla procesów życiowych zasobnikiem tlenu, lecz stanowi część środowiska naturalnego wywierającego wpływ na stan ludzkiego zdrowia. Ochrona środowiska naturalnego jest jednym z najważniejszych zadań, przed jakim stanął człowiek u progu XXI wieku. Emisja szkodliwych związków chemicznych do atmosfery, gleby i wody poważnie ograniczyła zasoby naturalne Ziemi. Eksploatacja naturalnych, nieodnawialnych źródeł energii i surowców powoduje ich systematyczne wyczerpywanie. Postępująca degradacja środowiska wymusiła wzrost zainteresowania sprawami ochrony środowiska przyrodniczego. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniem jest obecnie jednym z priorytetowych kierunków prawnej ochrony środowiska w Polsce i na świecie. Znaczący udział w emisji zanieczyszczeń ma motoryzacja, która w wyniku spalania paliw węglowodorowych emituje do atmosfery dwutlenek węgla CO₂, tlenek węgla CO, związki azotu NO_x, węglowodory HC, cząstki stałe PM, związki ołowiu Pb i związki siarki SO₂ i SO₃.

Ciągle rosnące stężenie wyżej wymienionych związków i ograniczenie ich asymilacji, są przyczynami zmiany klimatu i zakłócenia zjawisk przyrodniczych na ziemi. Coraz ostrzejsze wymogi ekologiczne, w połączeniu z ograniczeniami

zużycia materiałów eksploatacyjnych narzucane przepisami administracyjnymi, będą wywierać ogromny wpływ na trendy ewolucji całych pojazdów, jak i samych silników tłokowych. Biorąc pod uwagę fakt, że coraz częściej są to jednostki wysokoprężne, problem ich wpływu na coraz bardziej zdewastowane środowisko naturalne, staje się istotnym dla wszystkich producentów samochodów. Podejmowane próby znalezienia alternatywnego napędu dla pojazdów mechanicznych nie dają zadowalających rezultatów. Testowany napęd elektryczny jest jeszcze mało wydajny i kosztowny. Niebagatelne znaczenia ma również to, że przewidywany przyrost pojazdów samochodowych w roku 2010 w stosunku do roku 2000 może wynieść nawet 30%. Dlatego obecne działania producentów samochodów kierują się jeszcze w stronę udoskonalania istniejących rozwiązań, wśród których wymienić należy silnik o zapłonie samoczynnym. Prace prowadzone są między innymi w kierunku zmniejszenia emisji cząstek stałych (PM), których ilość w porównaniu z silnikami ZI jest znacznie większa.

3. PROCESY SELEKTYWNEJ REDUKCJI NO_x

Planowane na 2005 rok normy emisji spalin EURO - IV, oznaczają dla współczesnych silników ZS stosowanych w samochodach osobowych i ciężarowych dalsze zaostrzenie dopuszczalnego poziomu emisji NO_x i PM. Tlenki azotu (NO_x) jako toksyczny składnik spalin zostały uznane w 1970r. Emisję NO_x w spalinach silników o ZI zmniejszono poprzez zastosowanie katalizatorów potrójnego działania z zamkniętym układem sterowania silnika, co pozwoliło praktycznie do dziś rozwiązać ten problem. O wiele więcej trudności pojawiło się w przypadku silników o ZS, gdzie nadmiar tlenu w spalinach nie pozwala na zastosowanie podobnej technologii redukcji NO_x, jak w tradycyjnych silnikach o ZI.

Zmniejszenie emisji tlenków azotu można uzyskać poprzez:

- kontrolę procesu spalania,
- kształtowanie właściwości paliwa,
- zastosowanie wtrysku wody lub wodnych roztworów soli metali, np.: sodu w różnych możliwych wariantach, czyli np.: wtrysk wody do kanału dolotowego, bezpośredni wtrysk wody do komory spalania za pomocą specjalnego wtryskiwacza, wtrysk sekwencji paliwo – woda – paliwo za pomocą modyfikowanych wtryskiwaczy,
- wpływ na procesy podawania paliwa do komory spalania, czyli kąt wyprzedzenia wtrysku, wielkość dawki w czasie, ciśnienie wtrysku i kształt strugi paliwa.

Obecnie testowane są następujące technologie pozwalające zmniejszyć emisję NO_x zawartych w spalinach z nadmiarem tlenu już poza silnikiem:

- selektywna redukcja mocznikiem (SCR),
- katalizator DeNO_x o ciągłym działaniu z dodatkowym wzbogaceniem spalin w HC,
- adsorber + katalizator NO_x.

3.1 Selektwna redukcja NO_x (SCR – Selective Catalytic Reduction)

Przy nadmiarze powietrza w spalinach silnika z ZS czy z ZI zasilanym ubogą mieszanką, najpowszechniej stosowaną metodą redukcji NO_x jest selektywna redukcja. Jako reduktory mogą być stosowane oprócz amoniaku również: formaldehyd, mocznik, kwas cyjanouranowy, melanina i różne węglowodory.

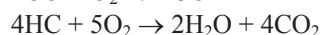
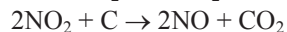
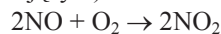
Od wielu lat znana jest i powszechnie stosowana w praktyce dla silników stacjonarnych selektywna redukcja przy pomocy amoniaku (stosunek ilości amoniaku NH₃ do NO_x wynosi 1:1, temperatura (200) 300 – 400°C w zależności od stosowanego katalizatora np.: metale szlachetne Pt, Rt, Pd lub tlenki metali przejściowych V₂O₅, TiO₂, MoO₃ – ta druga grupa jest bardziej odporna na dezaktywację).

Metoda ta z uwagi na trudności z odpowiednim dozowaniem tej substancji w dynamicznych warunkach pracy silnika (kumulowanie amoniaku na katalizatorze, co powoduje jego działanie jeszcze 3 – 5 minut po zamknięciu dopływu amoniaku do spalin) długo nie mogła znaleźć zastosowania w pojazdach i była wykorzystywana tylko w silnikach stacjonarnych dużej mocy.

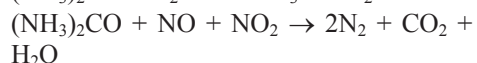
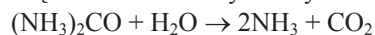
Rozwiązaniem przystosowanym do pojazdów jest system SiNO_x firmy Siemens, w którym jako reduktor stosuje się wodny roztwór mocznika. W systemie SiNO_x stosowanym do samochodów ciężarowych, używany jest katalizator na bazie TiO₂ z domieszką V₂O₅. Sprawność tego systemu wynosi około 70%.

W systemie tym wyróżniamy cztery grupy procesów (rys.1):

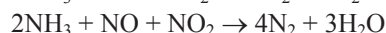
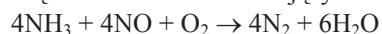
- zachodzące na reaktorze wstępnym (utleniającym):



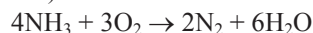
- zachodzące na reaktorze hydrolizy:



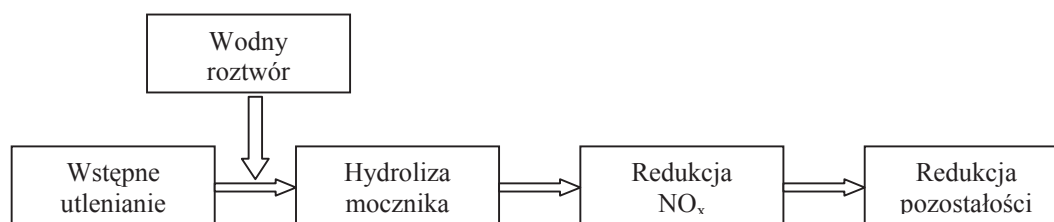
- zachodzące na reaktorze redukującym:



- zachodzące na reaktorze utleniającym reduktor (amoniak):



W omawianym systemie jako reduktor stosowany jest amoniak, choć w wejściowej postaci jest nim wodny roztwór mocznika. Pozostałości amoniaku zawarte w spalinach są utleniane na katalizatorze.



Rys.1. Schemat systemu SCR zastosowanego przez firmę MAN [4]

Zastosowanie w tym systemie katalizatora utleniającego powoduje utlenianie NO do NO₂ i przyspiesza reakcję SCR. Przyspieszenie tych reakcji następuje tylko do 50% udziału NO₂.

4. SYSTEM FILTROWANIA CZĄSTEK STAŁYCH

W silnikach ZS stosowane są wyłącznie katalizatory utleniające. Ich zadanie polega na zmniejszaniu zawartości tlenu węgla i węglowodorów, co przy prawidłowym rozwiązaniu organizacji procesów spalania i dobrym stanie technologicznym silnika nie powinno stwarzać problemu.

Najważniejszym zagadnieniem w przypadku układów wydechowych silników ZS jest zmniejszenie emisji węgla w postaci sadzy wyrzucanej wraz ze spalinami. Urządzenia używane do tego celu miały dotychczas funkcję bierną, sprowadzającą się do mechanicznego zatrzymywania cząstek przez tzw. filtry sadzy, umieszczone w końcowych odcinkach układów wydechowych. Wymagają one okresowej wymiany lub czyszczenia.

Spotyka się konstrukcje filtrów sadzowych, w których oczyszczanie (metodą wypalania) dokonuje się samoczynnie podczas jazdy samochodu. Są one przeważnie zintegrowane z katalizatorami utleniającymi we wspólnych obudowach. Regeneracja termiczna wymaga zapewnienia jednocześnie odpowiedniej temperatury oraz zawartości tlenu. Wymagana temperatura jest tym wyższa, im mniejsze jest stężenie tlenu w spalinach: 570°C przy 6% O₂ oraz 750°C przy 2% O₂. Temperatura minimalna 570°C wynika z energii aktywacji zapłonu sadzy.

Regeneracja może być realizowana w systemie:

- SIMPLEX – podczas wypalania spaliny przepływają przez filtr i zawierają tlen potrzebny do tego procesu,
- DUPLEX – w układzie wydechowym silnika znajdują się dwa filtry połączone równolegle; jeden filtruje spaliny, drugi jest w tym czasie regenerowany. Gdy pierwszy z filtrów

wyczerpie swą chłonność, przepływ zostaje automatycznie przełączony do drugiego.

Techniczną nowością jest w tej dziedzinie aktywny filtr wydechowy do silników ZS opracowany poprzez francuski koncern samochodowy PSA (Citroen – Peugeot) i stosowany w ostatniej generacji silników HDI [2,7,9].

Zastosowano w tym celu znany już filtr porowaty z węgla krzemowego, umieszczony w jednej obudowie z utleniającym katalizatorem wstępnym. Rozwiązanie PSA służy do efektywnego spalania wychwyconej sadzy. Proces taki następuje w normalnych warunkach w temperaturze ponad 550°C podczas gdy temperatura gazów wylotowych w silniku ZS wynosi około 150°C. Inżynierowie PSA zastosowali kilka znanych już technologii, jednak nie występujących dotychczas razem w samochodzie osobowym. Układ może być zastosowany w silnikach z bezpośrednim wtryskiem, wyposażonych w zasilanie „Common Rail” (w przypadku silników koncernu PSA, mają one symbol HDI). Elektroniczne sterowanie tego układu umożliwia, gdy potrzeba, wprowadzenie w każdym cyklu pracy dodatkowej fazy „spóźnionego wtrysku”, który podnosi temperaturę gazów wylotowych o około 250°C. Podnosi też moment napędowy, a więc układ elektroniczny musi zadbać, by auto samoczynnie nie zaczęło przyspieszać, gdy dopalana jest sadza w filtrze.

Wstępny katalizator utleniający (umieszczony przed filtrem) powoduje, że w obecności niespalonych węglowodorów (pochodzących z opóźnionego wtrysku dodatkowego), temperatura gazów wewnątrz obudowy filtra wzrasta o dalsze 100°C. W sumie daje to, nawet w korzystnych warunkach około 450°C. Brakuje więc w przybliżeniu 100°C do normalnego zapłonu cząstek sadzy.

Do paliwa dodawany jest specjalny, obojętny dla środowiska, dodatek o nazwie Eolys, produkowany przez firmę Rhodia. Na 60 litrowy zbiornik paliwa wystarczy 37,5 ml wymienionego płynu, zawierającego tlenek ceru. Właśnie związek ceru obniża temperaturę zapłonu sadzy o potrzebne 100°C. Już po trzech minutach jazdy możliwe jest dopalenie wyłapanych przez filtr cząstek stałych, w temperaturze około 450°C, jaką osiągnięto wewnątrz jego obudowy.

System FAP nie działa w sposób ciągły. Układ czujników ciśnienia w układzie wydechowym pozwala ocenić opory, jakie stwarza filtr (stopień jego zatkania). Gdy elektronika zintegrowana ze sterowaniem silnika stwierdza, że potrzebne jest czyszczenie filtra, następuje wspomniana wyżej faza opóźnionego wtrysku oleju napędowego. Temperatura rośnie i filtr się oczyszcza bez udziału kierowcy. Ma to miejsce, co około 400 – 500 km jazdy.

Przy każdorazowym napełnieniu zbiornika paliwem, pewna ilość uszlachetniacza (proporcjonalna do ilości wlanego oleju) jest wtryskiwana automatycznie do zbiornika, który zawsze pozostaje w układzie. Zapas ten pozwala na przejechanie 80 000 km. Pierwszym samochodem koncernu PSA jest Peugeot 607 z silnikiem wysokoprężnym HDI o pojemności 2,2 dm³ nie emitującym praktycznie cząstek stałych. Rozwiązanie to nazwano „piątym suwem silnika wysokoprężnego” i zapewnia spełnienie norm czystości spalin wynikających z EURO – IV, które będzie obowiązywało od 2005 roku.

5. NORMY TOKSYCZNOŚCI SPALIN SILNIKÓW ZS

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 17 maja 1993r. w sprawie warunków technicznych i badań pojazdów wyposażonych w silniki ZS, zadymienie spalin, mierzone przy swobodnym przyspieszeniu silnika w zakresie od prędkości obrotowej biegu jałowego do prędkości obrotowej maksymalnej, wyrażone w postaci współczynnika pochłaniania światła nie powinno przekraczać:

- a) 2,5 m⁻¹ dla silników wolnossących,
- b) 3,0 m⁻¹ dla silników z turbodoładowaniem.

Rozporządzenie to obowiązuje od dnia 1 maja 1993 r. i dotyczy wszystkich pojazdów samochodowych wyposażonych w tego typu silniki. W krajach członkowskich Unii Europejskiej od 1 października 2000r. zaczęły obowiązywać nowe ekologiczne normatywy ograniczające emisję szkodliwych substancji gazowych zawartych w spalinach silników zwane potocznie EURO – III:

- obowiązujące normy emisji związków toksycznych dla pojazdów o ciężarze do 3500 kg wyposażonych w silniki ZS. Emisja (g/km):

CO₂ → 0,64 (g/km)

HC + NO_x → 0,56 (g/km)

PM → 0,06 (g/km)

- obowiązujące normy emisji związków toksycznych dla silników ZS do pojazdów samochodowych o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3500 kg:

CO → 2,1 (g/kWh)

NO_x → 5,0 (g/kWh)

HC → 0,7 (g/kWh)

PM → 0,1 (g/kWh)

6. PODSUMOWANIE

W pracy omówiono najistotniejsze problemy związane z powstawaniem i ograniczaniem emisji cząstek stałych z układów wylotowych silników ZS. Wykazano celowość i współczesne tendencje w ograniczaniu emisji cząstek stałych. Wymieniono sposoby ograniczania emisji cząstek stałych oraz opisano podstawowe systemy i podzespoły urządzeń ograniczających emisję tych cząstek. Omówione niektóre problemy techniczne, które mogą decydować o jakości procesów w tych urządzeniach i ich walorach eksploatacyjnych.

LITERATURA

1. AutoEXPERT nr I 98, Procesy i systemy spalania w ZS, VP, Poznań 1998.
2. AutoEXPERT nr IX 99, Diesel kontratakuje, VP, Poznań 1999.
3. AutoEXPERT nr VII/VIII 01, Układy wydechowe silników samochodowych, VP, Poznań 2001.
4. Kojtych A.: Przegląd katalitycznych metod redukcji NO_x w spalinach silnika o ZS. SGGW, Warszawa 2001.
5. Merkisz J.: Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego. WPP, Poznań 1993.
6. Merkisz J.: Elektroniczne aspekty stosowania silników spalinowych. WPP, Poznań 1995.
7. Merkisz J.: Emisja cząstek stałych przez silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym. WPP, Poznań 1997.
8. Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Tom I i II, WPP, Poznań 1998.
9. Nagórski Z., Swat M.: Ograniczenie emisji cząstek stałych pochodzenia motoryzacyjnego. Kwartalnik 1/95, Problemy eksploatacji, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2001.



Mgr inż. **Karol Kwiatkowski** zajmuje się zagadnieniami ochrony środowiska, szczególnie zagrożeniami ze strony eksploatowanych silników spalinowych. Od wielu lat współpracuje z Katedrą Maszyn Roboczych i Pojazdów ATR w Bydgoszczy.

Bogdan Żółtowski – informacje o Autorze na stronie 100.