

## **PARTICLE EMISSION REDUCTION BY MEANS OF THE PARTICLE FILTER FAP**

**Wojciech Sobieraj, Tadeusz Mączyński**

*Peugeot Polska Sp. z o.o.  
Pl. Bankowy 2  
00-095 Warszawa  
fax 0-22 4442302, tel. 0-22 4442301  
e-mail: tadeusz.maczynski@peugeot.com*

### **Abstract**

*The particle filter system FAP reduces particle emission in Diesel engines. This is the world first in the pollution control of Diesel engines in cars. It is used in Diesel engines with Common Rail injection system (HDI) and engine management system Bosch EDC15C2. The system as a whole consists of: a particle filter located immediately downstream of the catalytic converter, the engine management system which controls the HDI injection system and the regeneration process, an additive system that injects a special (cerium dioxide based) additive into the fuel to encourage burning of the particles during regeneration. The particle filter consists of a porous structure in sintered silicon carbide, comprising passages arranged so as to force the exhaust gases to pass through their walls. The filter is backed up by a system that keeps it fully serviceable by means of periodic regenerations. The regeneration process involves periodically burning the particles that have built up in the filter, so as to bring the control differential pressure back to proper value. The particle filter system FAP forms part of a strategy for reducing pollutant emissions. It gives the HDI Diesel engines a decisive ecological advantage.*

## **OGRANICZENIE EMISJI CZĄSTEK STAŁYCH Z WYKORZYSTANIEM FILTRA FAP**

### **Streszczenie**

*Filtr cząstek stałych systemu FAP ogranicza emisję w silnikach wysokoprężnych. Jest to pierwszy w świecie taki filtr, który stosowany jest do kontroli emisji cząstek stałych z silników wysokoprężnych samochodów osobowych. Jest stosowany w silnikach z systemem wtrysku Common Rail (HDI) oraz z systemem sterowania Bosch EDC15C2. System jako całość składa się z filtra cząstek stałych, umieszczony bezpośrednio za katalizatorem, systemu sterowania, który steruje systemem wtrysku HDI i procesu regeneracji, dodatkowego systemu, który wtryskuje specjalny dodatek (na bazie dwutlenku ceru) do paliwa, aby przyspieszyć spalanie cząstek stałych w czasie regeneracji. Filtr cząstek stałych składa się ze spiekanej porowatej struktury węgla krzemu, ułatwiającej przejście gazów przez porowate ścianki. Filtr pracuje w sprzężeniu zwrotnym, co pozwala na całkowite utrzymanie sprawności jego działania poprzez cykliczną regenerację. Proces regeneracji obejmuje periodyczne spalanie cząsteczek stałych, wylapanych przez strukturę wewnętrzną filtru i poprzez pracę w systemie sprzężenia zwrotnego utrzymania ciśnienia na właściwym poziomie. System filtra FAP jest częścią strategii skierowanej na zmniejszenie poziomu emisji zanieczyszczeń. Daje to silnikom wysokoprężnym istotne zalety ekologiczne.*

## 1. Zespół filtra cząstek stałych FAP

Zespół filtra FAP (Filtre a Particules) ogranicza emisję cząstek stałych - sadzy. Przystosowany jest do współpracy z silnikami Diesla, z układem zasilania typu Common Rail (HDI) oraz systemem sterowania typu Bosch EDC15C2. W gamie pojazdów Peugeot zespół filtra FAP stosowany jest z silnikami typu HDI: DW10ATED (110KM) oraz DW12TED4 (136KM) – modele: 307, 406, 607, 807. W porównaniu do konstrukcji poprzedniej generacji o tych samych osiągach, zastosowanie zespołu filtra FAP zaowocowało niemalże 1000 krotnym zmniejszeniem emisji cząstek stałych.

Ograniczenie emisji odbywa się dwuetapowo. Pierwszy etap to zatrzymanie cząstek stałych w porowatej strukturze filtra FAP, aż do tzw. fazy nasycenia. Kolejny etap to regeneracja, a więc proces wypalenia zgromadzonych w filtrze cząstek stałych. Zespół filtra FAP jest układem bezobsługowym. Oznacza to, że jest on przystosowany do wielokrotnego wykonywania procesu regeneracji. Co ważne, proces filtracji i regeneracji odbywa się automatycznie, bez ingerencji użytkownika pojazdu. Na obecnym etapie rozwoju obsługa serwisowa zespołu przewidziana jest co 120 tys. przebiegu pojazdu.

## 2. Budowa Zespołu

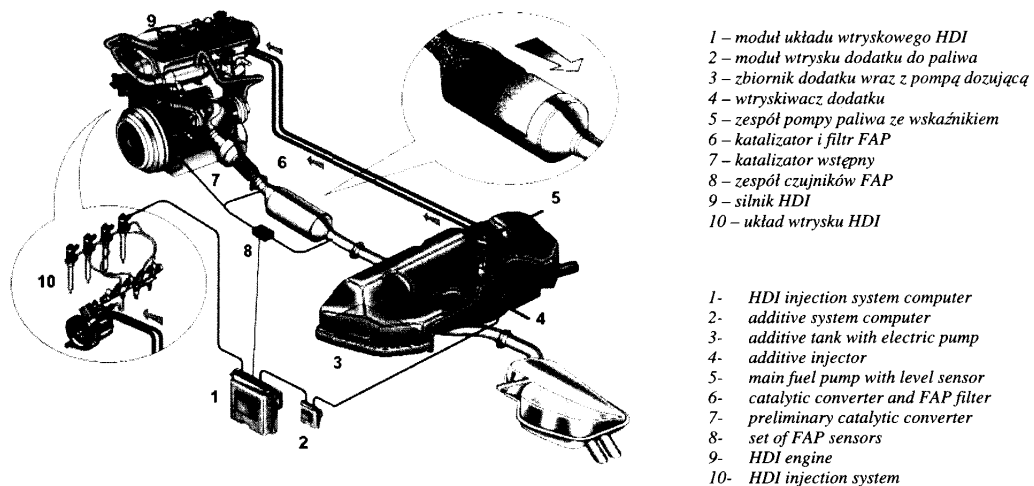
W skład zespołu filtra FAP wchodzi: filtr FAP, zbiornik dodatku wraz z dozownikiem, zespół czujników FAP oraz moduł sterujący. Zespół filtra FAP jest ściśle związany z systemem sterowania silnika. Praca całego zespołu jest nadzorowana przez moduł układu wtryskowego HDI.

Ze względu na spełniane funkcje w budowie zespołu filtra FAP możemy wyróżnić:

- filtr,
- system dodatku do paliwa,
- system regeneracji filtra.

### 2.1. Filtr

Filtr FAP jest umieszczony w układzie wydechowym, bezpośrednio za głównym katalizatorem utleniającym.



Rys. 1. Podstawowe elementy zespołu filtra FAP

Fig. 1. Main components of the particle filter system FAP

Ceramiczny wkład filtra wykonano z węgla krzemu. Porowata struktura oparta o układ kanałów równoległych charakteryzuje się progiem filtrowania na poziomie 0,1 mikrona. Wkład filtra przy przekraczającej 95% sprawności filtrowania, powoduje straty przepływu porównywalne z typowym katalizatorem utleniającym.

Podczas eksploatacji silnika w strukturze filtra zatrzymywane są trzy grupy substancji:

- cząstki stałe
- dwutlenek ceru (dodatek katalizujący)
- pozostałości wynikające ze zużycia silnika i oleju

Cząsteczki stałe usuwane są w procesie regeneracji filtra, przy czym proces regeneracji może mieć charakter naturalny lub wymuszony, zależnie od warunków eksploatacji pojazdu.

Dwutlenek ceru, który w postaci dodatku katalizującego EOLYS (związek na bazie dwutlenku ceru i rozpuszczalnika ropopochodnego) dodawany jest do paliwa pozwala na obniżenie o ok. 100°C temperatury zapłonu cząstek stałych. Podczas wypalania cząstek stałych w procesie regeneracji dwutlenek ceru nie spala się i jest odkładany w strukturze filtra. Wypełnianie filtra dwutlenkiem ceru jest precyzyjnie nadzorowane przez system sterujący i ma wpływ na strategię właściwego procesu regeneracji. Po osiągnięciu progu wypełnienia (dwutlenkiem ceru) filtr musi być poddany operacji czyszczenia. Polega ona na wypłukaniu wodą dwutlenku ceru ze struktury filtra i jego ponownym odzyskaniu. Czyszczenie filtra FAP wykonywane jest przez wyspecjalizowaną firmę współpracującą z grupą PSA.

Pozostałości wynikające ze zużycia silnika odkładają się w strukturze filtra w sposób trwały i wpływają bezpośrednio na żywotność tego elementu.

## 2.2. System dodatku do paliwa

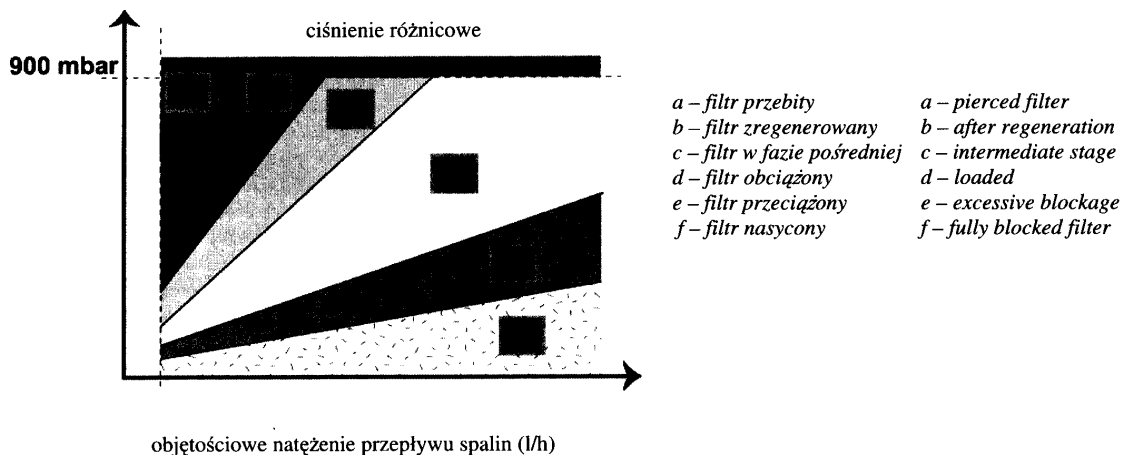
Naturalne wypalanie cząstek stałych, zatrzymanych w strukturze filtra FAP następuje w temperaturze ok. 550° C. Średnia temperatura spalin, mierzona w przestrzeni filtra w zakresie obciążeń częściowych silnika HDI osiąga poziom ok. 150°C. Konieczne staje się więc wprowadzenie tzw. wspomaganie regeneracji, a więc zespołu czynności mających na celu obniżenie progu zapłonu cząstek stałych oraz zwiększenie temperatury spalin.

Podstawowym elementem wspomaganie regeneracji jest zastosowanie dodatku katalizującego (dwutlenku ceru). Dwutlenek ceru dodawany jest do paliwa, a następnie po jego spalaniu (dwutlenek ceru jest substancją nieorganiczną, która nie ulega spalaniu) nasącza tworzące się w komorze spalania sadze – cząstki stałe. Podczas procesu regeneracji filtra dwutlenek ceru obniża temperaturę zapłonu cząstek o ok. 100°C oraz ułatwia rozprzestrzenianie się płomienia na skupiska cząstek zatrzymanych w strukturze filtra FAP.

System dodatku odpowiedzialny jest za sterowanie procesem wtrysku dodatku ELOYS do zbiornika paliwa. Wyznacza on również masę wtrysniętego dodatku, a więc stopień wypełnienia filtra dwutlenkiem ceru (dwutlenek ceru jest w całości zatrzymywany w strukturze filtra, nie jest wydalany do atmosfery).

W skład systemu wchodzi dodatkowy zbiornik dodatku ELOYS ze zintegrowaną, elektryczną pompą waporową, wtryskiwacz umieszczony na zbiorniku paliwa, przewody oraz moduł sterujący wtryskiem dodatku. W procesie wtrysku dodatku wykorzystywane są sygnały z czujnika poziomu paliwa, czujnika obecności korka oraz czujnika poziomu minimalnego dodatku

Masa wtryskiwanego dodatku wyznaczana jest w funkcji zmiany poziomu paliwa (czujnik poziomu), przy czym wtrysk dodatku może nastąpić tylko po zakończeniu tzw. cyklu korka (czujnik obecności korka).



Rys. 4. Poziomy obciążenia filtra w funkcji ciśnienia różnicowego i objętościowego natężenia przepływu

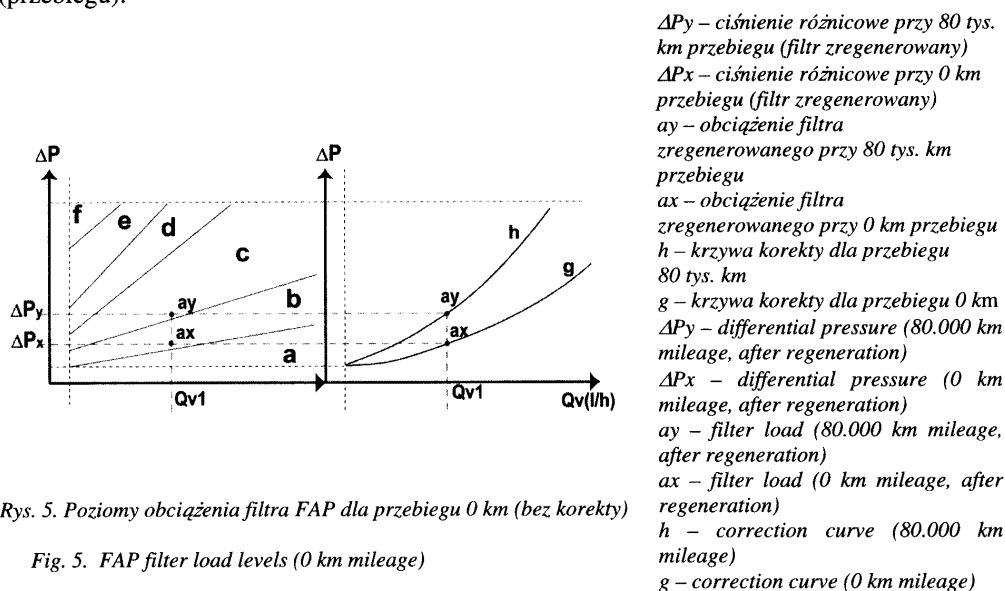
Fig. 4. FAP filter load levels as a function of differential pressure and exhaust gases volumetric flow rate

Celem procesu regeneracji jest utrzymywanie stanu filtra w zakresie strefy b i c bez względu na przebieg i sposób użytkowania pojazdu. Moduł układu wtryskowego HDI aktywuje proces regeneracji filtra w następujących przypadkach:

- obciążenie filtra w zakresie strefy d (normalne warunki),
- obciążenie filtra w zakresie strefy e (ekstremalnie złe warunki dla procesu regeneracji).
- obciążenie filtra w zakresie strefy c (korzystne warunki dla procesu regeneracji).

Strefy a i f są strefami anormalnej pracy filtra FAP.

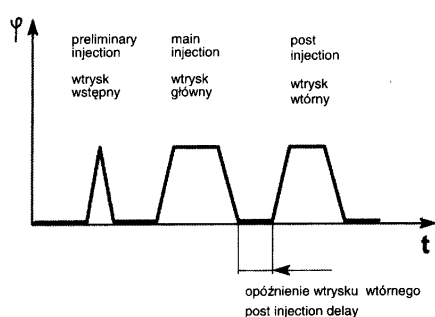
Podczas normalnej eksploatacji ciśnienie różnicowe dla filtra zregenerowanego (cząstki stałe wypalone) zmienia się wraz z masą dwutlenku ceru, zatrzymaną w strukturze filtra FAP, a więc z przebiegiem pojazdu. Moduł układu wtryskowego HDI wprowadza korekty stref obciążenia filtra FAP w funkcji masy dwutlenku ceru, zatrzymanej w strukturze filtra (przebiegu).



Rys. 5. Poziomy obciążenia filtra FAP dla przebiegu 0 km (bez korekty)

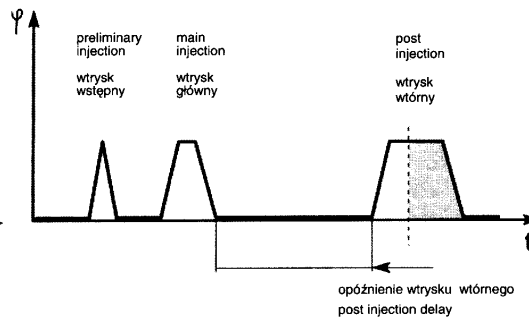
Fig. 5. FAP filter load levels (0 km mileage)

Strategia wspomaganie procesu regeneracji filtra dla poziomu II charakteryzuje się dalszym opóźnieniem wtrysku wtórnego i zwiększeniem czasu jego trwania (zwiększeniem dawki wtrysku wtórnego). Taka korekta procesu wtrysku paliwa prowadzi do intensywnego dopalania się nie spalonych węglowodorów w objętości katalizatora i w efekcie do zwiększenia temperatury spalin na wejściu do filtra FAP (ok. 450°C). Warunkiem wprowadzenia strategii dla poziomu II jest pełne zakończenie procesu wspomaganie regeneracji dla poziomu I.



Rys. 7. Przebieg wtrysku paliwa dla I poziomu regeneracji filtra FAP

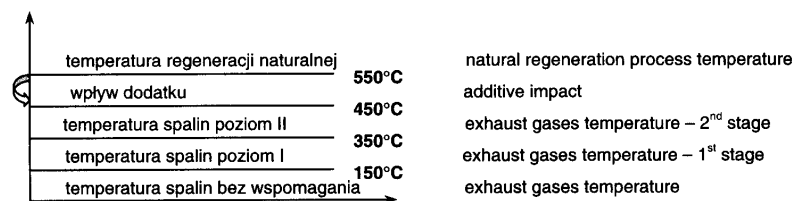
Fig. 7. Fuel injection for the 1<sup>st</sup> regeneration stage



Rys. 8. Przebieg wtrysku paliwa dla II poziomu regeneracji filtra FAP

Fig. 8. Fuel injection for the 2<sup>nd</sup> regeneration stage

W zakresie niskich obciążeń silnika zarówno podczas I i II poziomu wspomaganie regeneracji, moduł układu wtryskowego HDI dzięki zmultipleksowanej instalacji elektrycznej pojazdu, może aktywować główne odbiorniki energii elektrycznej w celu zwiększenia obciążenia silnika spalinowego (grzałka szyby tylnej, motowentylator, świece żarowe). Ponadto w układzie dolotowym zastosowano wymiennik ciepła: płyn chłodzący – powietrze, który podczas wspomaganie regeneracji podgrzewa powietrze docierające do cylindrów. W pojeździe wyposażonym w automatyczną skrzynię biegów, obciążenie silnika może być także zwiększone dzięki podwyższeniu ciśnienia obwodu hydraulicznego przekładni.



Rys. 9. Temperatura spalin dla poszczególnych etapów procesu wspomaganie regeneracji

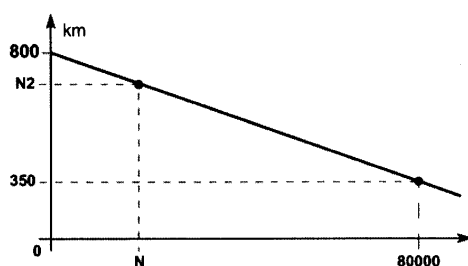
Fig. 9. Exhaust gases temperature at particular stages of regeneration process

Częstotliwość procesu regeneracji określana jest na podstawie odczytu ciśnienia różnicowego. Niezależnie od informacji o ciśnieniu różnicowym, proces regeneracji może być aktywowany w funkcji przebiegu pojazdu od ostatniej regeneracji. Rozwiązanie to umożliwi ograniczenie masy cząstek stałych, która ma zostać wypalona w procesie regeneracji filtra.

Odczyt poziomu ciśnienia różnicowego jest priorytetowy (nasylenie filtra cząsteczkami stałymi nie zawsze jest spowodowane przebiegiem).

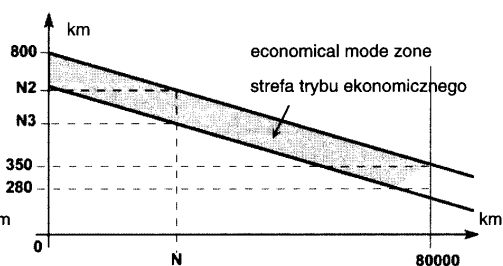
### 2.3.2.2. Regeneracja w trybie ekonomicznym

Każdy z parametrów określających częstotliwość regeneracji, posiada niższy poziom kontrolny tzw. tryb ekonomiczny. Oznacza to, że moduł wtrysku HDI może aktywować regenerację dla ciśnienia różnicowego lub przebiegu niższego od poziomu granicznego, jeżeli tylko warunki eksploatacji silnika sprzyjają procesowi regeneracji (znaczne obciążenie, jazda z wysoką prędkością). W trybie ekonomicznym regeneracja filtra FAP realizowana jest przez strategię zbliżoną do strategii poziomu I. Wprowadzenie trybu ekonomicznego pozwala ograniczyć zużycie paliwa.



Rys. 9. Częstotliwość regeneracji filtra FAP w funkcji przebiegu

Fig. 9. Frequency of FAP filter regeneration as a function of mileage



Rys. 10. Częstotliwość regeneracji filtra FAP w funkcji przebiegu ze strefą trybu ekonomicznego

Fig. 10. Frequency of FAP filter regeneration as a function of mileage with economical mode zone

### 2.3.2.3. Regeneracja naturalna

W odniesieniu do eksploatacji pojazdu z granicznymi obciążeniami silnika (długotrwała jazda z wysoką prędkością) ze względu na wysoką temperaturę spalin, cząstki stałe zatrzymane w strukturze filtra FAP spalają się samoistnie. Żadna czynność zewnętrzna nie jest wykonywana w celu regeneracji filtra FAP.

### 3. Zakończenie

W kontekście znacznych perspektyw rozwoju silników Diesla z układami zasilania typu Common Rail zespół filtra FAP jest elementem decydującym o ekologicznym aspekcie ich pracy. Praktyczne możliwości adaptacji zespołu filtra FAP w pojazdach osobowych podkreśla fakt, że do chwili obecnej grupa PSA wyposażyła ponad 500 tys. samochodów w jednostki tego typu.