ARCHIWUM MOTORYZACJI
3, str. 31–47 (2001)

Pokładowe systemy diagnozowania nieszczelności w samochodowych systemach zasilania

JERZY MERKISZ, MAREK WALIGÓRSKI

Instytut Silników Spalinowych i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Poznańska

Pojazdy spełniające wymagania normy OBD II (*On-Board Diagnostics II*) powinny zawierać zmodyfikowany system zapobiegający parowaniu paliwa z układu zasilania pojazdu (EVAP – *Evaporation Prevention*), aby zmniejszyć poziom emisji węglowodorów.

Przedstawiono budowę systemu zapobiegającego parowaniu paliwa z układu zasilania pojazdu oraz opisano rozwój metod wykrywania nieszczelności dla systemów kontroli parowania z uwzględnieniem ich budowy, zasady działania, właściwości funkcjonalnych.

Symbole i oznaczenia

CARB	*California Air Resource Board* – Kalifornijska Rada ds. Zasobów Powietrza
CVS	*Canister Vent Solenoid* – zawór odpowietrzania zbiornika paliwa
ECE R83	regulamin norm europejskich dotyczący badań pojazdów osobowych o masie własnej do 2500 kg i liczbie miejsc dla 6 pasażerów, lekkich pojazdów ciężarowych o masie własnej do 3500 kg i liczbie miejsc większej niż dla 6 pasażerów
ECU	*Engine Control Unit* – centralna jednostka sterowania silnikiem
EOBD	*European On-Board Diagnostics* – europejski pokładowy system diagnozowania pojazdów
EPA	*Environment Protection Agency* – Urząd Ochrony Środowiska w USA
EU	*European Union* – Unia Europejska
EVAP	*Evaporation Prevention* – system zapobiegający parowaniu paliwa z układu zasilania
HC	Hydrocarbon – węglowodory
LEV	*Low Emission Vehicle* – pojazdy o niskiej emisji
MIL	*Malfunction Indicator Lamp* – świetlny sygnalizator uszkodzenia systemu kontroli (lampka na desce rozdzielczej o znormalizowanym kształcie sygnalizująca wystąpienie uszkodzenia i częściowo jego rodzaj)
OBD	*On - Board Diagnostics* – pojazdowa diagnostyka pokładowa (zespół programowo i sprzętowo realizowanych procedur i testów umożliwiających na bieżąco wykrywanie w czasie ruchu niesprawności poszczególnych systemów pojazdu)
OBD I	*On - Board Diagnostics* I – pokładowy system diagnozowania pierwszej generacji (metody diagnostyki pokładowej stosowanej przez producentów w celu wykrycia niesprawności, np. systemu elektronicznego pojazdów do 1996 roku w USA, a w Europie do 2000 roku)

OBD II *On - Board Diagnostics* II – pokładowy system diagnozowania drugiej generacji (norma zastosowana w USA przez EPA mająca na celu wykrywanie emisyjnie krytycznych uszkodzeń pojazdów we wczesnym stadium ich rozwoju)

SAE *Society of Automotive Engineers* – Stowarzyszenie Inżynierów Samochodowych w USA

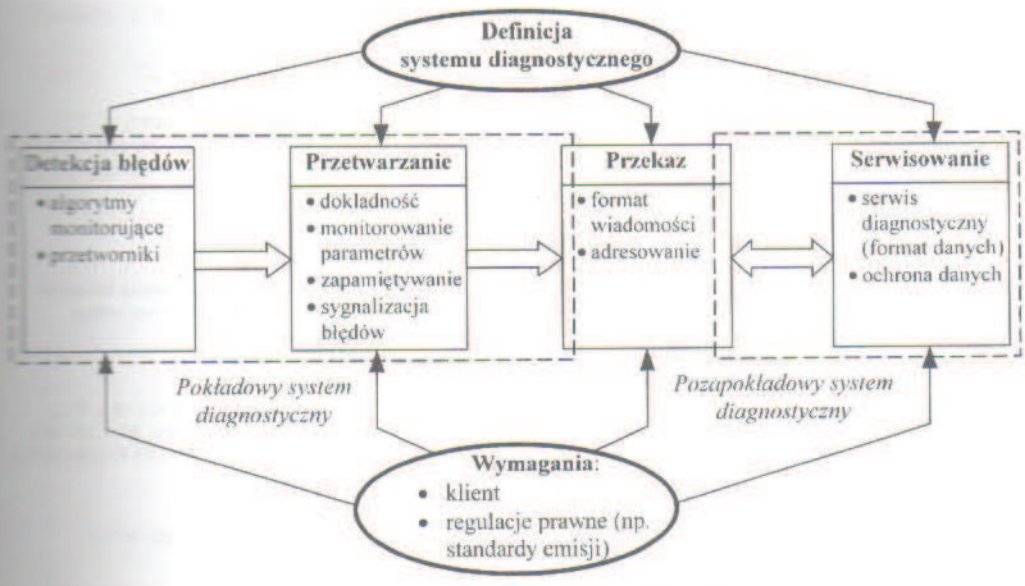
SHED *Sealed Housing Evaporative Determination* – test parowania węglowodorów z pojazdu (z nie pracującym silnikiem)

1. Wstęp

W 1981 roku firma General Motors zastosowała we wszystkich swoich pojazdach system kontroli emisji, zwany *Computer Command Control*, który w rzeczywistości był systemem diagnostyki pokładowej OBD I (*On-Board Diagnostics I*). Norma OBD I i systemy spełniające jej uregulowania dotyczące kontroli emisji w pojazdach obowiązywały aż do 1994 roku. Funkcje diagnostyczne były realizowane w tych systemach przez moduł kontrolno-pomiarowy silnika (*Engine Control Module*), a kontrola polegała na testowaniu czujników, elementów wykonawczych układu wtryskowo-zapłonowego i jednostki sterującej. W celu wykrycia niesprawności porównywano poziomy i właściwości dynamiczne sygnałów pomiarowych z wartościami oczekiwanymi, a wykrytą niesprawność zapisywano w jednostce ECU (*Engine Control Unit*) w postaci kodu diagnostycznego. Cechą charakterystyczną systemów OBD I było to, że nie umożliwiały one oceny własności funkcjonalnych i emisyjnych pojazdu. Kontrola diagnostyczna tych systemów ułatwiała obsługę i naprawę, natomiast nie rozwiązywała problemu zmniejszenia emisji z transportu samochodowego.

Urząd Ochrony Środowiska w USA (EPA – *Environment Protection Agency*) w 1990 roku nałożył na wszystkie samochody wprowadzone na rynek amerykański, począwszy od pojazdów 1996 roku, obowiązek spełnienia wymagań Kalifornijskiej Rady ds. Zasobów Powietrza (CARB – *California Air Resources Board*). Wymagania te przyjęły formę systemu monitorującego, zwanego pokładowym systemem diagnostycznym (OBD).

Wprowadzona od 1996 roku norma OBD II stanowi ważny krok w dziedzinie pokładowych systemów diagnozowania, a jej istotą jest zmniejszenie ogólnego poziomu emisji związków toksycznych z transportu samochodowego. Termin OBD II prawnie oznacza nie tylko zestaw przepisów wydawanych przez SAE (*Society of Automotive Engineers*), EPA i CARB, lecz również systemy diagnostyki pokładowej zrealizowane zgodnie z wymaganiami tej normy. Celem tej normy jest również zmniejszenie czasu od wystąpienia niesprawności aż do naprawy i usprawnienie procesu diagnostyki. Norma ta nakłada na producentów obowiązek tworzenia pokładowych systemów diagnostycznych we wszystkich pojazdach osobowych i dostawczych. System na bieżąco nadzoruje poziom emisji związków toksycznych z układu wylotowego, zasilania w paliwo i innych (np. klimatyzacji). Ponadto dąży się do wyeliminowania pozapokładowych systemów diagnostycznych i do wykonywania kontroli układu napędowego za pomocą jednego takiego systemu (rys. 1).

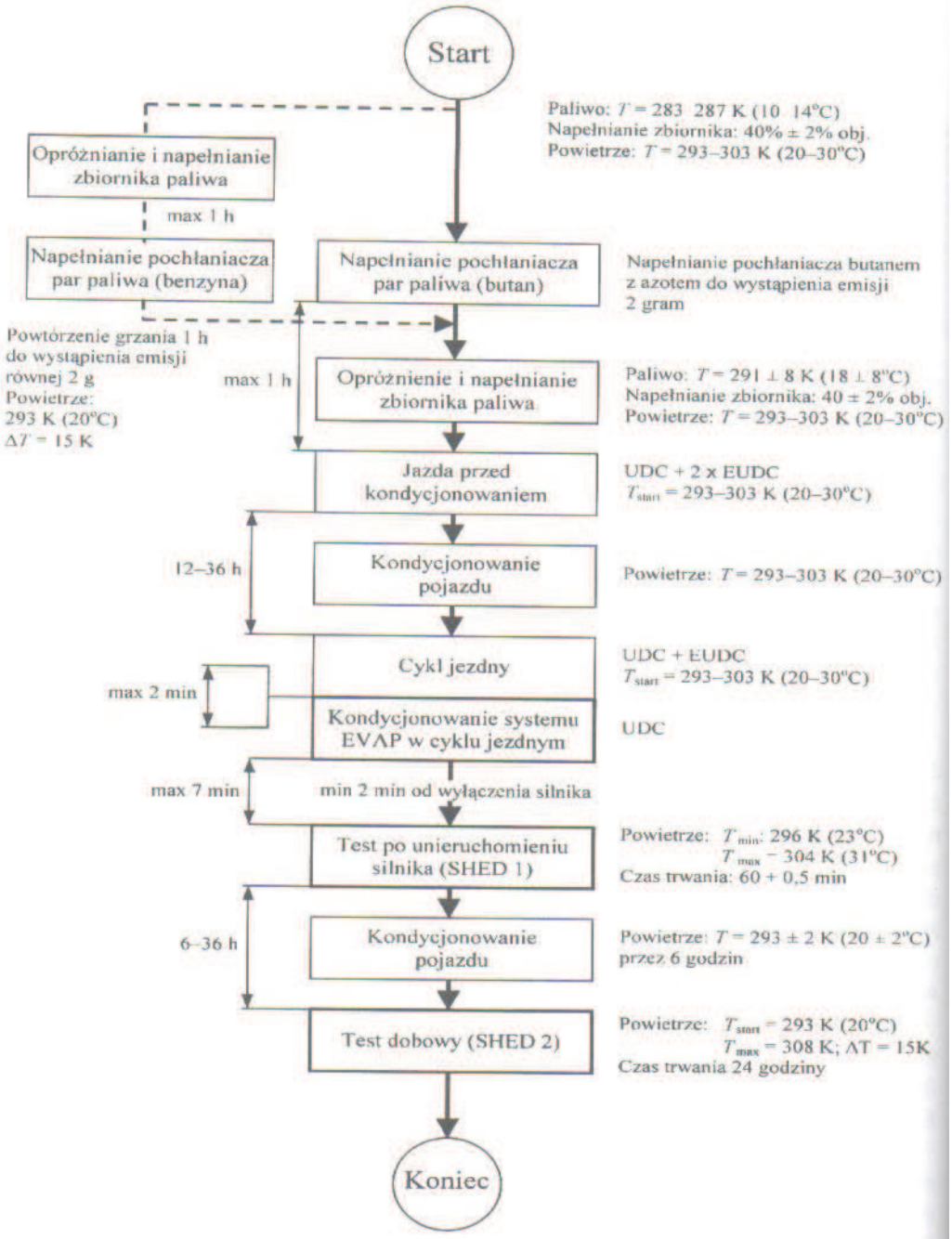


Rys. 1. Definicja systemu diagnostycznego [1].
Fig. 1. The definition of the diagnostic system [1]

Do 1994 roku producent pojazdu poświadczał, że pojazd spełnia warunki emisji dla co najmniej 80 000 km przebiegu. Od tej daty zwiększone zostały, przez restrykcyjne standardy, warunki utrzymania norm emisji do 160 000 km przebiegu. Zasadniczym zadaniem systemu OBD II jest powiadomienie kierowcy o błędach w układach pojazdu wpływających na wzrost poziomu emisji składników toksycznych. Kryterium dopuszczalnego błędu każdego z elementów układu napędowego ustalono w ten sposób, że przekroczenie o 50% granicznego poziomu dla danego pojazdu spowoduje zarejestrowanie usterki w postaci kodu diagnostycznego (dla pojazdów o poziomie emisji większym od standardów LEV – *Low Emission Vehicles*).

W krajach Unii Europejskiej (EU – *European Union*) powstał podobny system, nazywany systemem EOBD (*European OBD*), który obowiązuje od 1.01.2000 roku (dyrektywa 98/69/EC), a w całej Europie z chwilą wejścia kolejnej edycji regulaminu ECE R83.05 (29.03.2001).

Według dyrektywy 98/69/EC przewidziane są dla pojazdów osobowych badania emisji węglowodorów w wyniku parowania paliwa z układu zasilania silnika. Badania te są wykonywane według testu parowania (rys. 2). W celu spełnienia tego testu konieczne jest zastosowanie w pojeździe systemu EVAP (*Evaporation Prevention*). Na poziomie norm OBD II/EOBD, system EVAP jest nadzorowany przez zmodyfikowany układ wykrywania nieszczelności w wyniku parowania paliwa (tabela 1), zawierający procedury diagnostyczne kontroli (zastosowane zawory elektromagnetyczne, czujnik par paliwa w zbiorniku i test diagnostyczny).



Rys. 2. Test parowania dla pojazdów osobowych określony dyrektywą 98/69/EC (emisja po przebiegu 3000 km) [2].

Fig. 2. Evaporative emissions test for passenger cars, which is described by 98/69/EC standard (emission after 3000 km route) [2]

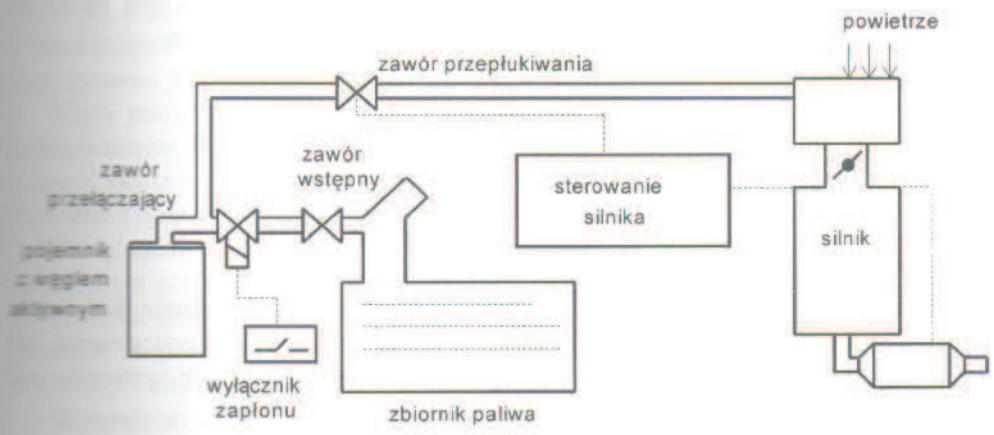
Tabela 1. Kryteria decydujące o niesprawności w systemie EVAP według przepisów: CARB OBD II, EPA OBD II, EOBD [1].

Table 1. Criteria deciding on malfunction of the EVAP system according to standards: CARB OBD II, EPA OBD II, EOBD [1]

Rodzaj przepisów	Kryteria decydujące o niesprawności
CARB OBD II	— przy nieszczelności równoważnej z powstaniem otworu o średnicy 0,04" (1,0 mm), — dla modelu od 2000 roku (50/75/100 % floty pojazdów) nieszczelność równoważna z powstaniem otworu o średnicy 0,02" (0,5 mm)
EPA OBD II	— wzrost emisji w wyniku parowania ponad 30 g/test odpowiadającej nieszczelności o średnicy otworu 0,04" (1 mm).
Silniki o ZI (data wprowadzenia 1.01. 2000)	
EOBD	— kontrola elektroniczna, — konstrukcja układu paliwowego powinna wykluczać emisję par paliwa podczas tankowania.

2. Budowa urządzenia EVAP – SYSTEM

Do spełnienia wymagań testu SHED (*Sealed Housing Evaporative Determination*), określającego emisję węglowodorów w wyniku parowania z pojazdu z nie pracującym silnikiem, jest konieczna szczelność wszystkich układów pojazdu zawierających płyny eksploatacyjne oraz zastosowanie specjalnych układów odpowietrzających. Układem takim jest system EVAP, który zapobiega przedostawaniu się węglowodorów z układu zasilania do atmosfery (rys. 3).



Rys. 3. Schemat działania systemu EVAP [2].
Fig. 3. Diagram of EVAP system operation [2]

Opary paliwa są gromadzone w specjalnym pojemniku z węglem aktywnym (pochłaniaczu) i w kontrolowany sposób doprowadzone do przewodów dolotowych silnika. Na skutek działania wysokiej temperatury, odparowane paliwo może przedostawać się ze zbiornika paliwa w dwóch kierunkach: do silnika (ulega spaleniu), albo przez przewód odpowietrzający do pojemnika z węglem aktywnym. Dopływ i odpływ powietrza ze zbiornika paliwa występuje tylko przez pojemnik z węglem aktywnym. Ponadto system elektroniczny układu, w czasie pracy silnika, oczyszcza zbiornik z par paliwa, włączając je do spalania, jednocześnie otwierając zawór doprowadzający do niego świeże powietrze. Dzięki temu filtr jest regenerowany i nie wymaga konserwacji i obsługi przez cały czas eksploatacji. Skuteczność urządzenia wynosi około 90%.

Istotną funkcję pełni pojemnik z węglem aktywnym (pochłaniacz). W pojemniku tym są magazynowane opary. Jako wkład pojemnika stosuje się węgiel aktywny, który stanowi rozdrobniony naturalny węgiel o bardzo rozwiniętej powierzchni (200–1500 m^2/g), mający bardzo dobre właściwości absorpcyjne. Otrzymywany jest z torfu, trocin i węgla drzewnego lub brunatnego przez aktywację gazową za pomocą pary wodnej w temperaturze 800–1000°C, albo przez aktywację związkami karbonizującymi w temperaturze 600–700°C. Węgiel aktywny jest powszechnie stosowany do oczyszczania par, gazów, cieczy, w tym między innymi w układach klimatyzacji samochodowej.

Ze względu na stopień napełnienia pojemnika z węglem aktywnym wyróżnia się trzy stany pracy systemu EVAP:

a) **pojemnik jest pusty** – poprzez uaktywnienie systemu mieszanka zasilająca silnik jest zubażana,

b) **pojemnik jest przepełniony** – przy uaktywnieniu systemu mieszanka zostaje wzbogacona,

c) **stan napełniania pojemnika** – odpowiada stechiometrycznemu składowi paliwa i powietrza; po uaktywnieniu systemu mieszanka zasilająca silnik nie zmienia składu ($\lambda = 1$).

W pierwszym i drugim stanie zmiana składu mieszanki jest wykrywana przez sondę lambda umiejscowioną przed reaktorem katalitycznym. Odpowiedni sygnał trafia do urządzenia sterującego i w konsekwencji skład mieszanki jest korygowany.

3. Rozwój metod wykrywania nieszczelności dla samochodowych systemów kontroli parowania

3.1. Opis ogólny systemów wykrywania nieszczelności

Rozwój systemów wykrywania nieszczelności zapoczątkowano w firmie Siemens w 1992 roku. Zasada działania tych systemów jest oparta na zaniku: podciśnienia lub nadciśnienia czynnika w układzie. Chronologicznie rozwój rozważanych systemów jest następujący:

a) VLDS (*Vacuum Leak Detection System*) – podciśnieniowy system wykrywania nieszczelności,

b) LDP 1.0 (*Leak Detection Pump*) – system wykrywania nieszczelności wyposażony w pompę LDP 1.0 (uruchamianą podciśnieniowo),

c) LDPxHF (*High Flow Pressure Leak Detection Pump*) – wysokociśnieniowe wykrywanie nieszczelności z pompą LDP 1.0,

d) VLDS II (*Second Generation Vacuum Leak Detection System*) – podciśnieniowy system wykrywania nieszczelności drugiej generacji,

e) LDPxST (*Stabilized Pressure Leak Detection Pump*) – system kontroli nieszczelności przy ustalonym ciśnieniu wyposażony w pompę LDP 1.0.

Podciśnieniowy system wykrywania nieszczelności był najwcześniej zastosowanym systemem do pomiaru nieszczelności i jest obecnie szeroko stosowany w przemyśle motoryzacyjnym. Do niedawna zanik podciśnienia był najtańszą metodą do osiągnięcia potrzeb OBD II dla nieszczelności równoważnej średnicy otworu 0,04" (1,0 mm). System ten wymaga opróżnienia gazu ze zbiornika paliwa i pomiaru czasu wzrostu ciśnienia wynikającego z nieszczelności. Mimo że system ten jest łatwiejszy do zastosowania niż obecne systemy nadciśnieniowe, trudniejsze jest wykrycie nieszczelności równoważnej średnicy otworu przy mniejszych wartościach tej średnicy, z powodu ograniczenia czułości przetwornika. Może zdarzyć się również niewłaściwe wykrycie nieszczelności w wyniku tego, że parujące paliwo zwiększa stopień zaniku podciśnienia. Okres trwania testu jest niewielki, trwa zazwyczaj poniżej 30 sekund.

Kolejną cechą systemu VLDS jest to, że podczas okresu testu świeże powietrze jest kierowane bezpośrednio w nieszczelność obecną w systemie. System jest zatem bardziej przyjazny dla środowiska.

Systemy działające w oparciu o zanik nadciśnienia w systemie są mniej skłonne do wykrywania fałszywych nieszczelności spowodowanych ciśnieniem par paliwa. Zbyt duże ciśnienie par paliwa w zbiorniku paliwa powoduje zanik nadciśnienia w systemie i niewłaściwą ocenę nieszczelności. Ujemną cechą jest też zbyt powolna odpowiedź systemu, w odniesieniu do przewidywanych wymagań oceny stopnia parowania paliwa z układu zasilania.

Pierwszym, powszechnie zastosowanym, systemem nadciśnieniowym był system LDP 1.0, który zawiera pompę wyporową przeponową, mechanicznie otwierany zawór i mechanizm sprzężenia zwrotnego przekaźnika hermetycznego. Czas trwania testu dla tego systemu jest względnie długi i wynosi około 3 minuty.

Kiedy przepisy OBD II wyznaczyły konieczność badania nieszczelności o wymiarze równoważnym średnicy otworu 0,02" (0,5 mm), potrzebne były próby rozwoju systemu drugiej generacji, który musiał uwzględniać następujące aspekty: koszt, szybkość działania i dokładność wyznaczenia nieszczelności równoważnej danej średnicy otworu.

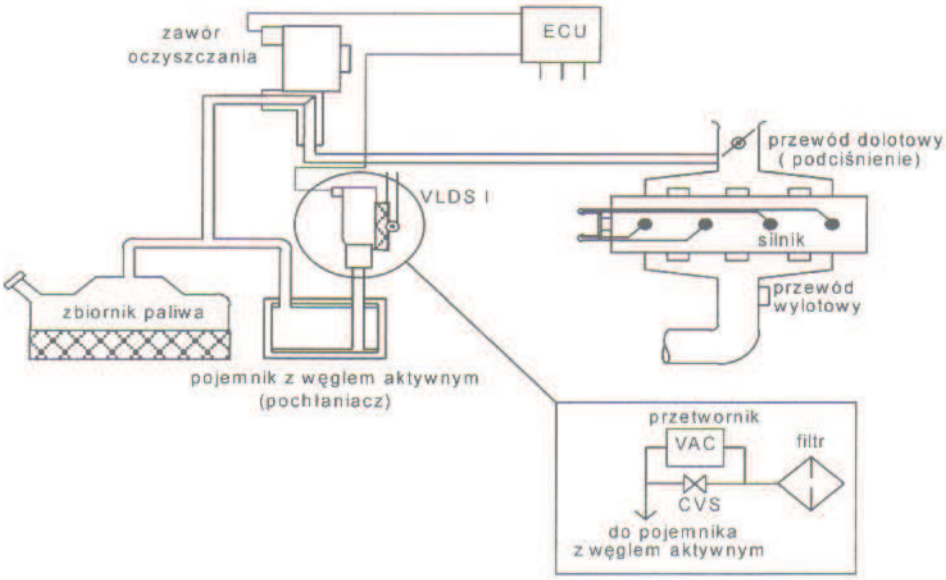
Nowy system nazwano systemem LDPx, a jego koncepcja polegała na wykorzystaniu elektrycznej pompy turbinowej z kierownicą łopatkową (pompy wirowej) do wywołania zwiększenia ciśnienia w zbiorniku paliwa. System zawiera też różnicowy przełącznik ciśnienia do pomiaru spadku ciśnienia i zawór elektromagnetyczny CVS (*Canister Vent Solenoid*). Czas trwania testu dla tego systemu jest mniejszy niż 30 sekund.

Zauważono, że zarówno systemy podciśnieniowe, jak również nadciśnieniowe wykazują podobne zdolności wykrywania nieszczelności, jeżeli będzie osiągnięty odpowiedni poziom stabilizacji ciśnienia w zbiorniku paliwa [3].

3.2. Opis systemów VLDS I, LDP 1.0 i LDPx

Podciśnieniowy system wykrywania nieszczelności (VLDS I)

W systemie VLDS I występuje przetwornik do pomiaru ciśnienia w zbiorniku paliwa. Przetwornik składa się z elementu piezorezystywnego o zakresie ±3,7 kPa (±380 mm H_2O) (rys. 4).



Rys. 4. Schemat podciśnieniowego systemu wykrywania nieszczelności w systemie EVAP (VLDS I) [3].
Fig. 4. Diagram of the Vacuum Leak Detection System (VLDS I) [3]

Cykl pracy systemu VLDS I rozpoczyna się w czasie $t = 0$ [s] (rys. 5) i wtedy zawór odpowietrzania zbiornika paliwa (CVS) jest zamknięty, a początkowe ciśnienie odczytu wynosi p_a.

Po czasie t_1 zarejestrowana wartość ciśnienia jest równa p_b. Różnica tych wartości ciśnień jest oznaczeniem stopnia aktywności tworzenia par paliwa:

$$\Delta p_g = p_a - p_b. \tag{1}$$

Po tym czasie jest zainicjowany cykl pracy sprawdzania, który trwa aż do chwili osiągnięcia podciśnienia p_c. Niewielki czas jest potrzebny systemowi do osiągnięcia stabilizacji, zanim zostanie zarejestrowane podciśnienie p_c. Okres t_2 jest równy okresowi t_1 i po tym okresie występuje pomiar ciśnienia p_d.

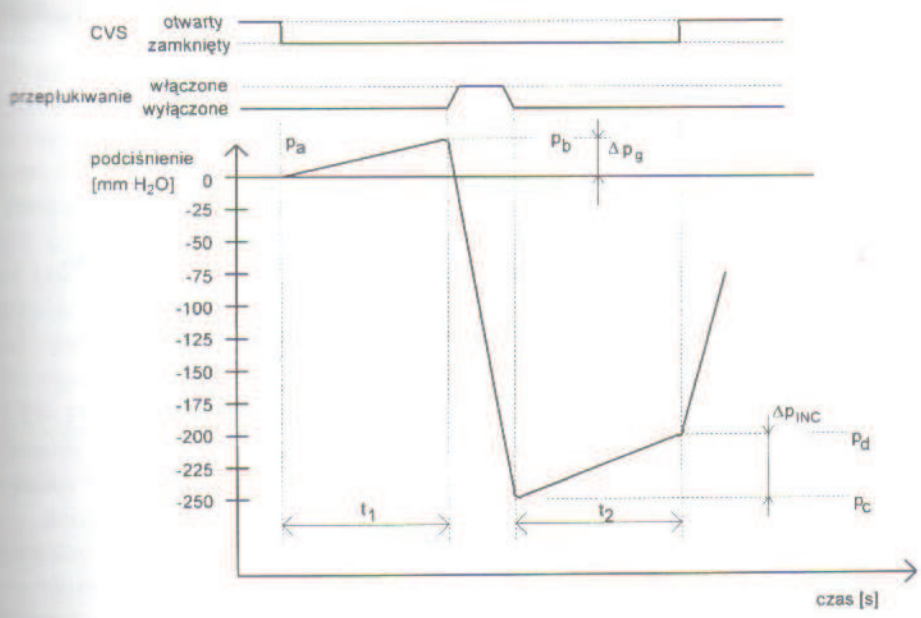
Różnica:

$$\Delta p_{INC} = p_d - p_c \tag{2}$$

jest informacją o powstaniu nieszczelności. Ciśnienia diagnostyczne wyjściowe mogą być obliczone jako:

$$\Delta p_{DIAG} = \Delta p_{INC} - \Delta p_g \tag{3}$$

i są korygowane dla danej prężności par paliwa z uwzględnieniem korekcji związanej z aktualną objętością paliwa w zbiorniku paliwa, otrzymaną ze wskaźnika poziomu paliwa.



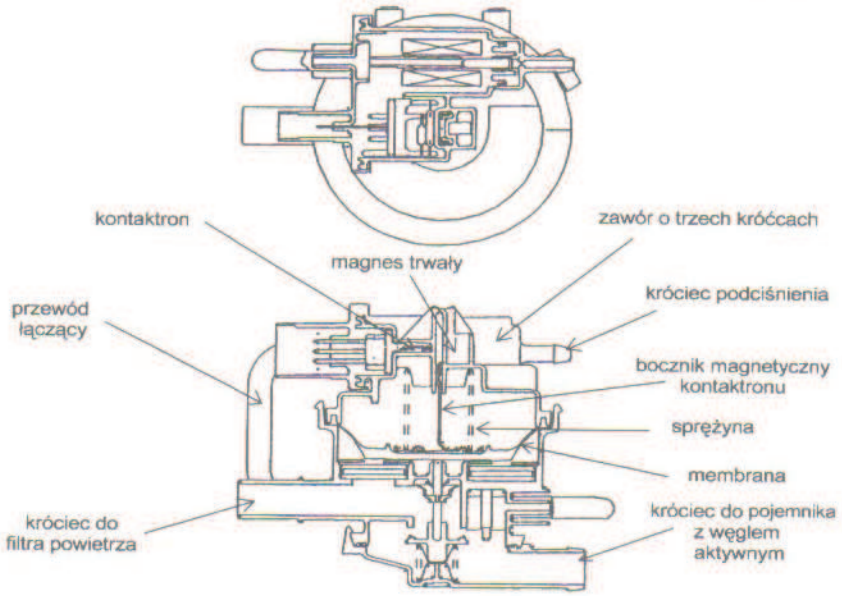
Rys. 5. Cykl pracy systemu VLDS I [3].
Fig. 5. Working cycle of the VLDS I system [3]

Istotne jest, że kontrola prężności par paliwa umożliwia wyznaczenie zmian ciśnienia otoczenia (w wyniku zmian wysokości nad poziomem morza), ponieważ przetwornik jest odniesiony do ciśnienia atmosferycznego.

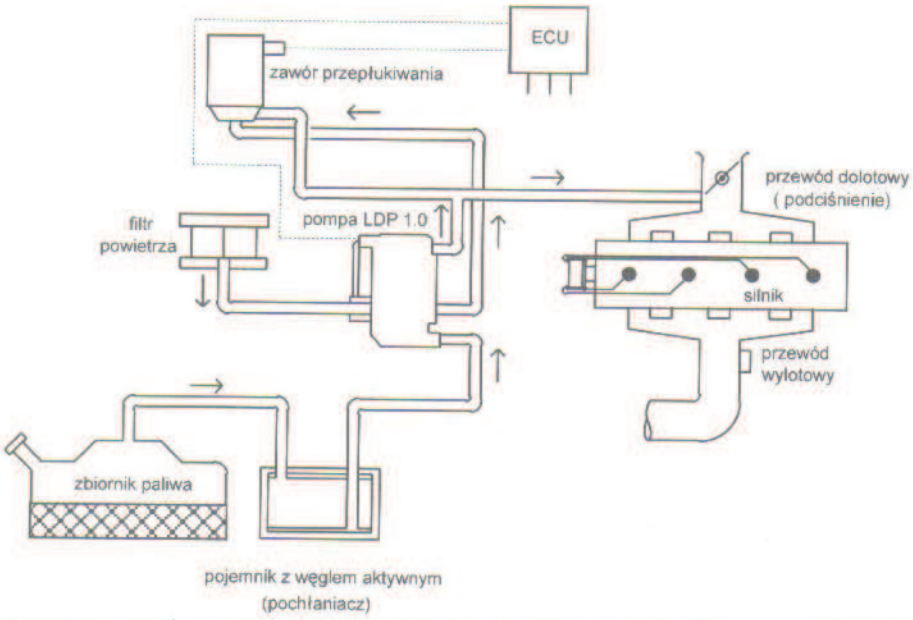
System z pompą wykrywającą nieszczelności (LDP 1.0)

Pompa wykrywająca nieszczelności jest pompą sprężynową, membranową, która jest włączana elektrycznie na podstawie podciśnienia w przewodzie dolotowym silnika, aby przygotować system emisji parowania do wykrycia nieszczelności (rys. 6, 7).

Cykl pracy pompy rozpoczyna się krótkim impulsem, wynikającym z podciśnienia w przewodzie dolotowym silnika, który powoduje podniesienie membrany i ściśnięcie sprężyny, a powietrze zostaje przetłoczone do objętości pod membraną przez zawór zwrotny. W tej chwili pochłaniacz z zaworem odpowietrzającym jest zamknięty. W końcu impulsu podciśnienie zmniejsza się, a siła sprężyny powoduje opadnięcie membrany, co powoduje przetłaczanie powietrza do systemu przez drugi zawór zwrotny.



Rys. 6. Schemat pompy LDP 1.0 [3].
Fig. 6. Diagram of the LDP 1.0 pump [3]



Rys. 7. Schemat systemu wykrywania nieszczelności w wyniku parowania paliwa z pompą LDP 1.0 [3].
Fig. 7. Diagram of the evaporative emissions control system with the LDP 1.0 pump [3]

Kiedy membrana dochodzi do końca w czasie suwu w dół, zespół przekaźnika hermetycznego (kontaktron) dostarcza elektryczny sygnał czasowy do systemu kontroli, który reinicjuje cykl. Jeżeli nie ma nieszczelności w systemie, ciśnienie wzrasta po liczbie cykli do poziomu, w którym obciążenie sprężyny i ciśnienie w systemie są w równowadze i proces przetłaczania jest zatrzymywany. Jeżeli jest nieszczelność, czas pracy okresowej albo czas trwania impulsu stabilizuje się do wartości, która zastępuje stratę wynikającą z nieszczelności. Czas trwania impulsu jest mierzony przez system kontroli, na podstawie którego system ten określa czy nieszczelność równoważna powstaniu otworu o danej średnicy przekracza czy nie zadany próg wartości.

System LDP 1.0 może wykrywać nieszczelności równoważne średnicy otworu o wymiarze 0,25 mm. Aby zapewnić wymaganą dokładność jest niezbędne wykonanie testu nieszczelności dla pojazdu w warunkach stacjonarnych. Powoduje to uniknięcie nieścisłości z powodu ruchu paliwa w zbiorniku paliwa, zmian wysokości itd.

Ponadto przy niewielkich nieszczelnościach cykl pracy systemu LDP 1.0 jest długi, a to z kolei jest przyczyną względnie długiego okresu trwania testu. Aby zmniejszyć okres pracy systemu, należy zoptymalizować czas trwania fazy ładowania za pomocą następujących modyfikacji:

a) cyklu pracy pompy,

b) algorytmu wczesnego wykrywania.

Cykl pracy pompy

Istnieją dwie możliwości skrócenia okresu trwania testu wykrycia nieszczelności w wyniku modyfikacji cyklu pracy pompy LDP 1.0:

— zmiana czasu powrotu membrany do położenia początkowego na podstawie znajomości podciśnienia w przewodzie dolotowym silnika spalinowego,

— skrócenie opóźnienia suwu powrotnego membrany w czasie wzrostu ciśnienia w zbiorniku paliwa.

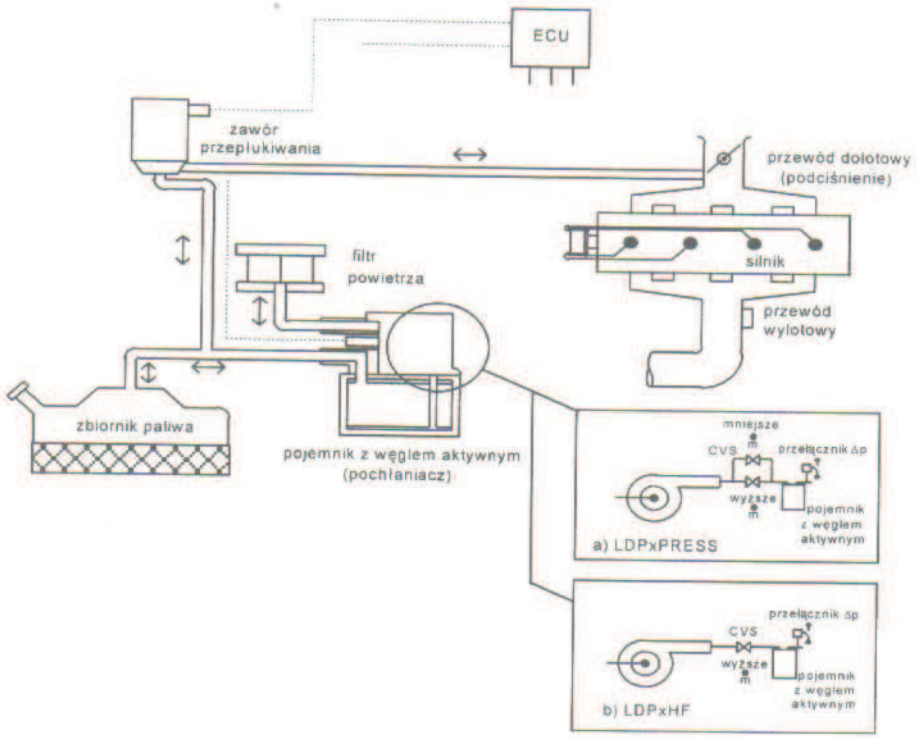
Algorytm wczesnego wykrywania

Należy określić całkowity okres pracy pompy. Pierwszym krokiem umożliwiającym określenie tego parametru jest wyznaczenie minimalnego czasu trwania impulsu podczas początkowego pompowania czynnika. Kolejne dwa punkty są uzyskane w wyniku pomiaru czasu trwania impulsu w dwóch stałych, nie następujących po sobie, odstępach czasowych. Wynik okresu trwania impulsu może być określony z błędem mniejszym niż 15% dla czasu do 100 sekund. Jest to znaczące osiągnięcie w odniesieniu do poprzedniego testu z okresem wynoszącym 3 minuty.

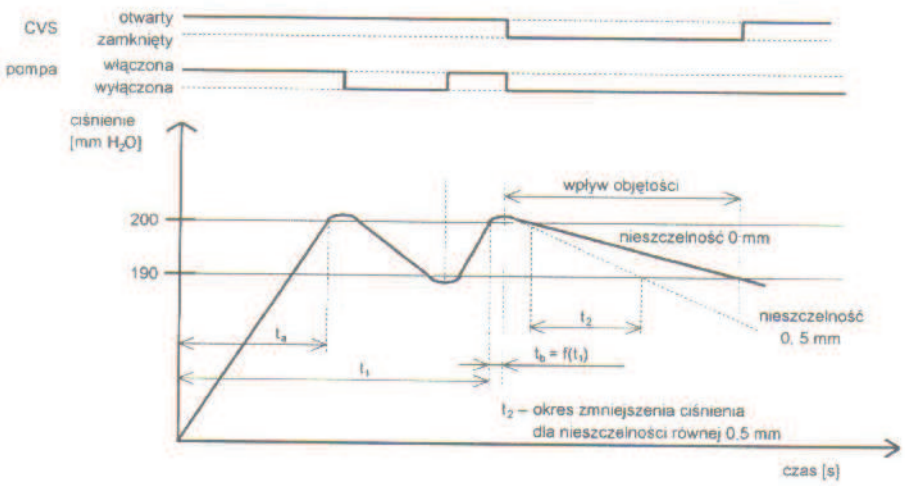
Udoskonalony system LDPx wykrywania nieszczelności

W tym systemie w zbiorniku paliwa wytwarzane jest ciśnienie równe 2,16 kPa (220 mm H_2O), po czym przepływ przez pompę zostaje przerwany i mierzony jest spadek ciśnienia. Detekcja tego spadku ciśnienia jest możliwa przy zastosowaniu różnicowego przełącznika ciśnienia (rys. 8).

Jedną z metod, która umożliwia uzyskanie mniejszych wartości spadku podciśnienia w systemie jest metoda LDPxPRESS. Układ zaworów o większym i mniejszym natężeniu przepływu umożliwia odprowadzenie par paliwa i uzyskanie modulacji



Rys. 8. Schemat udoskonalonych systemów LDPx wykrywania nieszczelności w układzie zasilania paliwem [3]
Fig. 8. Diagram of the improvemented evaporative emissions control systems LDPx [3]



Rys. 9. Cykl testu dla systemu LDPxHF [3].
Fig. 9. Test cycle of the LDPxHF system [3]

ciśnienia w zbiorniku paliwa (rys. 8). Przez naprzemienne zwiększanie i zmniejszanie ciśnienia w punktach kontrolnych przełącznika różnicowego, może być oceniony przebieg cyklu pracy, który jest zależny od tego, jak duża jest nieszczelność w systemie. W tej metodzie cykl pracy pompy uniezależniono od objętości systemu. Mimo skuteczności tej metody dla typowych warunków atmosferycznych nie nadaje się ona do zastosowań arktycznych.

Metoda zastosowana w systemie LDPxHF umożliwia uzyskanie krótszego czasu trwania testu (rys. 8, 9).

Technika pomiaru polega na wyznaczeniu spadku ciśnienia po odpowiednim kondycjonowaniu zbiornika paliwa. Pomiar spadku ciśnienia następuje wtedy, gdy zawór CVS jest zamknięty i wyłączona dmuchawa.

Na początku testu (system LDPxHF) zwiększa się ciśnienie w zbiorniku paliwa do wartości równej 1,9 kPa (200 mm H_2O), wskazanej przez różnicowy przełącznik ciśnienia. Uzyskanie tej wartości ciśnienia występuje po czasie t_a. Pompa zostaje

Tabela 2. Porównanie systemów VLDS i LDPxHF na podstawie wpływu warunków ich pracy [3].
Table 2. Comparing the VLDS and LDPxHF systems on the basis of their work conditions influence [3]

Warunki pracy	System	
	VLDS I	LDPxHF
Działanie statyczne i dynamiczne	— wykrycie nieszczelności równoważnej z powstaniem otworu o średnicy 0,5 mm jest trudne nawet w warunkach statycznych, — możliwe jest w warunkach statycznych wykrycie nieszczelności równoważnej z powstaniem otworu o średnicy 1,0 mm.	— wykrycie nieszczelności równoważnej z powstaniem otworu o średnicy 1,0 mm jest możliwe zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych, — wykrycie nieszczelności równoważnej z powstaniem otworu o średnicy 0,5 mm możliwe w warunkach statycznych, lecz nie w dynamicznych.
Wpływ temperatury	— brak wpływu.	— brak wpływu.
Wpływ wysokości	— zwiększenie wysokości powoduje pogorszenie rozróżnialności sygnału, — podczas testu dynamicznego wielkość t_i może być rekompensowana przy stałej wysokości (wyższej albo niższej).	— nie ma wpływu w warunkach statycznych, — pochylenie może powodować niedokładność w trybie dynamicznym.
Wnioski	— system charakteryzuje się niewielkim okresem trwania testu, — nie jest dość czuły dla wykrycia nieszczelności równoważnej z powstaniem otworu o średnicy 0,5 mm, — wpływ parowania paliwa na niewłaściwą ocenę nieszczelności.	— system charakteryzuje się niewielkim okresem trwania testu, — jest wystarczająco czuły dla wykrycia nieszczelności 0,5 mm, — błędne wykrycie nieszczelności może mieć miejsce w wyniku braku stabilności systemu.

następnie wyłączona i wartość ciśnienia zmniejsza się do progu równego 1,8 kPa (190 mm H_2O). W tym czasie pompa zostaje włączona ponownie, co powoduje wzrost ciśnienia do poprzedniej wartości w czasie t_1, który liczony jest od chwili zwiększania ciśnienia. Czas t_1 jest wskaźnikiem objętości systemu. Po tym czasie następuje ponowna zmiana wartości ciśnienia w czasie t_b, który jest proporcjonalny do czasu t_1. Ta proporcjonalność zapewnia, że brana jest pod uwagę objętość zbiornika paliwa, kiedy wytworzenie nadciśnienia jest wymagane do stabilizacji systemu przed rozpoczęciem testu. Pompa zostaje ponownie zatrzymana i jest kontrolowany czas spadku ciśnienia. Uzyskanie bądź nie uzyskanie granicznej wartości czasu jest obliczane na podstawie wskaźnika t_1.

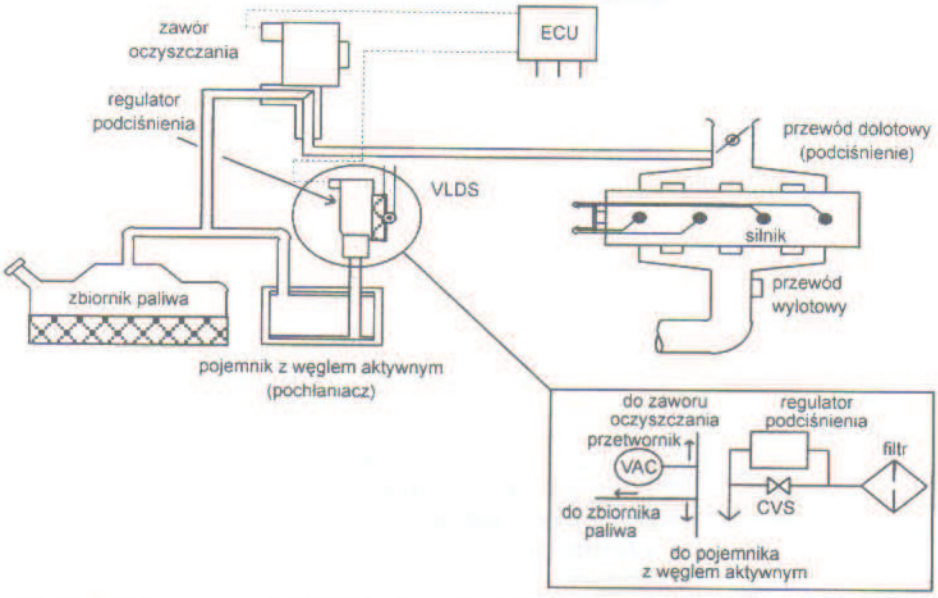
Na podstawie literatury [5] dokonano porównania systemów: podciśnieniowego VLDS I i nadciśnieniowego LDPxHF (tabela 2).

3.3. Systemy VLDS II i LDPxST

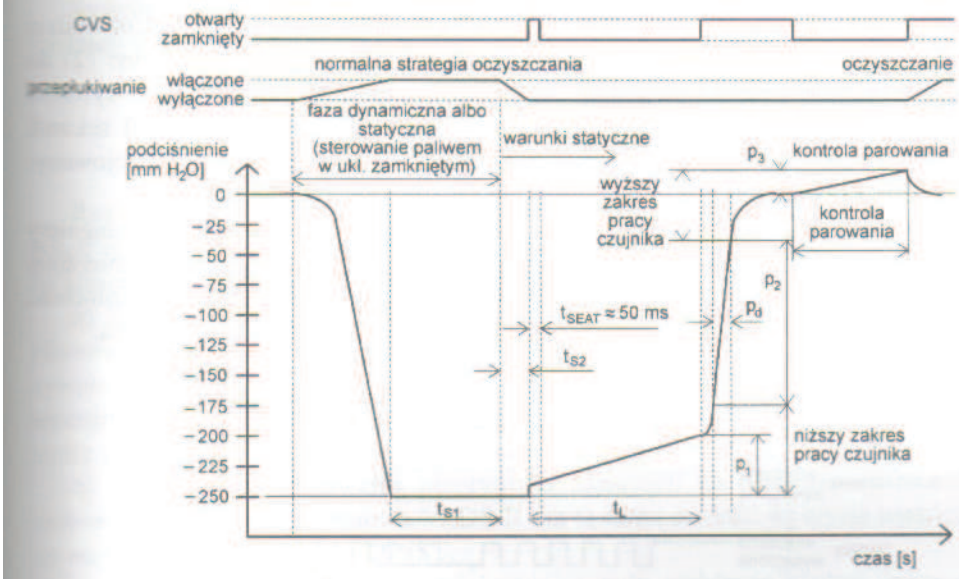
System VLDS II

W systemie VLDS II (rys. 10) zastosowano dodatkowy regulator podciśnienia, aby uprościć zadanie osiągnięcia stabilności ciśnienia w teście.

Po włączeniu silnika spalinowego i osiągnięciu sterowania paliwem w obwodzie zamkniętym (ze sprzężeniem zwrotnym), zawór CVS pozostaje zamknięty, aby uszczelnić zbiornik paliwa (rys. 11). Regulator podciśnienia pozostaje wówczas w stanie aktywności. W czasie kontroli szczelności w zbiorniku paliwa jest utrzymywana, za



Rys. 10. Schemat systemu VLDS II wykrywania nieszczelności w wyniku parowania paliwa [3].
Fig. 10. Diagram of the VLDS II vacuum leak detection system [3]



Rys. 11. Cykl pracy systemu VLDS II [3].
Fig. 11. Test cycle of the VLDS II system [3]

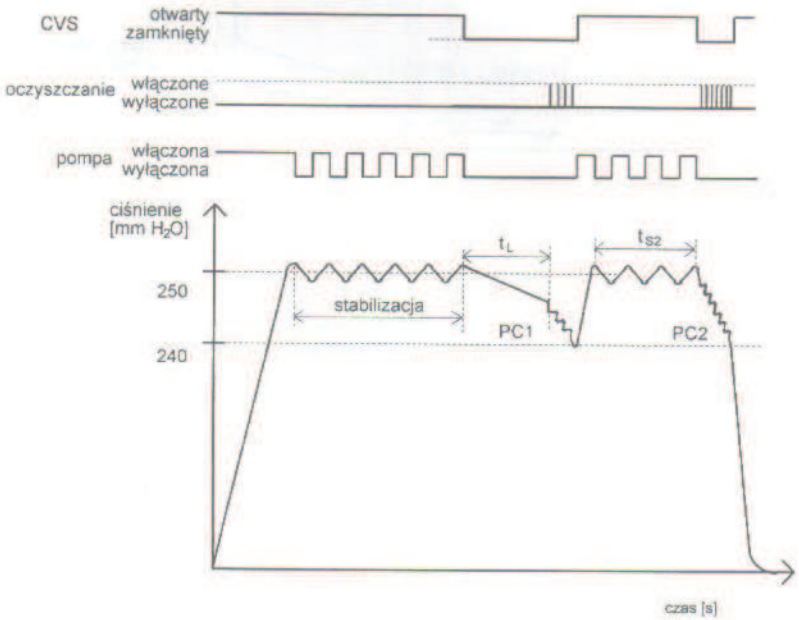
pomocą regulatora, stała wartość podciśnienia równa 2,4 kPa (250 mm H_2O). System utrzymuje te warunki przez okres t_{S1} aż do osiągnięcia jego równowagi. Faza ta może być statyczna bądź dynamiczna. Czas wymaganego okresu stabilizacji systemu jest równy 120 s. Jeżeli z jednostki ECU (*Electronic Control Unit*) jest wysłane polecenie o zatrzymaniu pojazdu, niezbędny jest dodatkowy czas t_{S2} w celu osiągnięcia równowagi paliwa. Wtedy zostaje otwarty zawór CVS ($t_{SEAT} \approx 50$ ms), w wyniku czego zmniejsza się podciśnienie i regulator powoduje uszczelnienie systemu za pomocą membrany. W tym momencie przerwane jest oczyszczanie zbiornika paliwa. Zmniejszenie podciśnienia jest zarejestrowane po czasie t_L. Iloraz (p_1/t_L) określa rozmiar nieszczelności. Objętość systemu jest wyznaczana przez pomiar czasu oczyszczania zbiornika paliwa przy otwartym zaworze CVS (p_2). Odchylenie w wartości podciśnienia p_2 umożliwia zmianę czasu zaniku t_L, a zmiana ciśnienia p_3 pozwala następnie wyznaczyć ciśnienie par paliwa albo zmiany ciśnienia otoczenia w teście. System umożliwia rozróżnienie nieszczelności odpowiadającej średnicy 0,25 i 0,5 mm.

System LDPxST

System LDPxST ma te same zasadnicze elementy, co system LDPxHF. Wyposażony jest jednak w przekaźnik dwustykowy, co zwiększa precyzję kontroli poziomu ciśnienia w systemie.

Po włączeniu silnika spalinowego i osiągnięciu sterowania paliwem w obwodzie zamkniętym jest uruchamiana pompa, która zwiększa ciśnienie w systemie (rys. 12) do wartości równej 2,4 kPa (250 mm H_2O). W celu zapewnienia stabilności systemu zbiornik paliwa jest utrzymywany w tych warunkach przez co najmniej 120 sekund. W czasie pracy silnika na biegu jałowym algorytm wykrywania zostaje zainicjowany. Jeżeli pojazd zaczyna jechać, warunki testu powracają do trybu stabilizacji.

Zawór CVS uszczelnia pojemnik z węglem aktywnym. Jeżeli zostaje osiągnięty górny zakres przełącznika, następuje pomiar czasu ucieczki par paliwa t_L (mierzony przez system upływowy), który jest zależny od objętości systemu. Aby wyeliminować wpływ objętości, zwiększa się na kilka sekund (t_{S2}) ciśnienie w zbiorniku paliwa.



Rys. 12. Cykl pracy systemu LDPxST [3].
Fig. 12. Test cycle of the LDPxST system [3]

Przewidywany czas wypływu par paliwa t_{LP} w wyniku nieszczelności oblicza się na podstawie wzoru [3]:

$$t_{LP} = 10 \cdot \frac{PC2}{PC2 - PC1}, \tag{4}$$

gdzie $PC1$ – liczba impulsów pomiarowych mających na celu zmniejszenie ciśnienia w zbiorniku paliwa, która jest miarą ciśnienia w zbiorniku i objętości paliwa, $PC2$ – liczba impulsów będąca miarą objętości paliwa w zbiorniku paliwa.

Końcowy czas wypływu par paliwa t_{LC} oblicza się z wzoru:

$$t_{LC} = t_{LP} - k_1 \cdot (PC2 - k_2), \tag{5}$$

gdzie k_1, k_2 – stałe systemu pojazdu.

System LDPxST umożliwia wykrycie nieszczelności o wymiarze równoważnym średnicy 0,25 i 0,5 mm [5].

4. Zakończenie

Rozwój wyżej wymienionych metod wykrywania nieszczelności dla samochodowych systemów zapobiegających parowaniu paliwa z układu zasilania (EVAP) pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

a) Systemy nadciśnieniowe wykazywały lepszą zdolność wykrycia nieszczelności równoważnej średnicy 0,04" (0,5 mm) niż systemy podciśnieniowe, kiedy nie obowiązywało kryterium dotyczące zapewnienia stabilności systemu. Metoda nadciśnieniowa umożliwiała określenie tej nieszczelności dla warunków statycznych, natomiast w systemie podciśnieniowym nawet w tych warunkach trudno było ją wyznaczyć.

b) W wyniku zastosowania algorytmów mających na celu uzyskanie stabilności systemu, metoda podciśnieniowa VLDS II ma tą samą czułość wykrycia nieszczelności, co metoda nadciśnieniowa LDPxST.

c) Metody podciśnieniowe w większym stopniu wykazują błędne wskazanie rozmiaru nieszczelności spowodowane parowaniem paliwa, natomiast w nadciśnieniowych dotyczyło ono braku stabilności systemu.

d) Systemy VLDS II i LDPxST spełniają wymagania normy OBDII.

Literatura

[1] MERKISZ J., PIELECHA J.: *Systemy diagnostyki pokładowej a przepisy emisji spalin*, V Sympozjum Naukowe „Automatyzacja pracy silników spalinowych AUTOMA-SIL '99". Poznań, 24.11.1999.

[2] MERKISZ J.: *Ekologiczne problemy silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, tom 1 i 2, Poznań 1998.

[3] PERRY P. D., DELAIRE J. P.: *Development and benchmarking of leak detection methods for automobile evaporation control systems to Meet OBDII Emission Requirements*. SAE Paper 980043, 1998.

[4] BOHACZ R. T.: *On-Board Diagnostic*. Adres internetowy: http://www.dakota-truck.net/OBD2/obd2high.html.

[5] MAZUREK S., MERKISZ J.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych – podstawowe cele i wymagania normy OBDII*. 25th International Scientific Conference on Conference on Combustion Engines. KONES'99. Zakopane 1999.

On-board diagnostic systems for leak detection in automobile supply systems

Summary

Vehicles meeting the OBD II requirements (*On-Board Diagnostics* II) should include the modified system which prevents fuel evaporation from a vehicle supply system (EVAP – *Evaporation Prevention*) to decrease emission level of hydrocarbons.

The paper presents the construction of system which prevents fuel evaporation from the supply system and development of leak detection methods for the evaporation control systems taking their construction, operation and functional property into consideration.