

Conception of utilization of the heat from cooling system to increase of the work and ecological parameters of the combustion engine

Abstract: The article refers to the conception of utilization of the heat from combustion engine cooling system to the fuel consumption and the exhaust gas toxic components emission decrease. This refers to the initial period of engine work, during cold start and warming up phase. Combustion engine is the heat engine, which start phase is followed by sequential warming up of its elements. In that period the engine shows the low efficiency and the high carbon dioxide and hydrocarbons concentration in the exhaust gas. In the aim of the improvement of these parameters, there has been elaborated the system of support of the engine start and warming up phase by use of the stored heat from the cooling system.

Key words: engine efficiency, exhaust gas toxic components emission, cooling system heat utilization

Koncepcja wykorzystania ciepła z układu chłodzenia do poprawy parametrów roboczych i ekologicznych silnika spalinowego

Streszczenie: Artykuł dotyczy przedstawienia koncepcji wykorzystania ciepła z układu chłodzenia silnika spalinowego do zmniejszenia zużycia paliwa i zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin w początkowym okresie jego pracy, podczas zimnego rozruchu i okresu nagrzewania się. Silnik spalinowy jest maszyną cieplną, w której po fazie uruchomienia następuje nagrzewania się kolejnych jego elementów. W tym okresie silnik wykazuje małą sprawność oraz duże stężenie tlenu węgla i węglowodorów w emitowanych spalinach. W celu poprawy tych parametrów opracowano system nagrzewania silnika podczas zimnego rozruchu i w fazie jego nagrzewania się zmagazynowanym ciepłem, pochodzącym z układu chłodzenia silnika.

Słowa kluczowe: sprawność silnika, emisja toksycznych składników spalin, wykorzystanie ciepła z układu chłodzenia

1. Wstęp

Efektywną metodą wspomaganie procesu rozruchu silnika spalinowego i fazy jego nagrzewania jest stosowanie akumulatorów ciepła. To rozwiązanie polega na wykorzystaniu części energii cieplnej przekazywanej do układu chłodzenia, a następnie rozpraszanej w otoczeniu. Część tej energii zostaje zmagazynowana w izolowanym naczyniu w czynniku chłodzącym, by następnie mogła być wykorzystana podczas rozruchu zimnego silnika i w fazie jego nagrzewania się.

Problematyką współpracy akumulatorów ciepła z silnikiem spalinowym zajmowały się głównie firmy (Ritter, Schatz, Werner GmbH) produkujące i oferujące tego typu urządzenia, przy czym ich prace koncentrowały się głównie na korzyściach wynikających ze skrócenia okresu nagrzewania się silnika i szybszego osiągnięcia gotowości pracy przez układ ogrzewania wnętrza pojazdu.

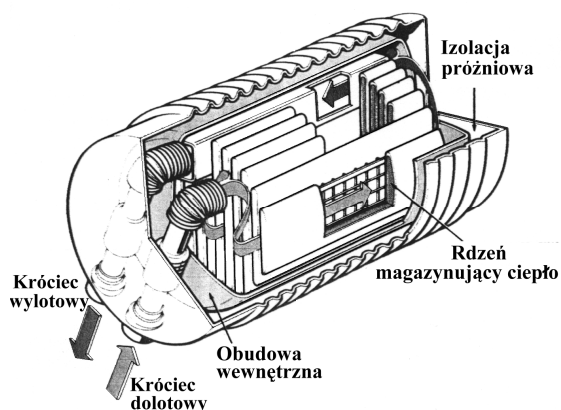
W porównaniu z konwencjonalnym systemem, przekazanie ciepła z akumulatora przed zimnym rozruchem przynosi w fazie nagrzewania znacznie

szybszy wzrost temperatury czynnika chłodzącego. Ponadto, przy wstępnym podgrzaniu silnika jego rozruch następuje w wyższej temperaturze. Obok łatwiejszego rozruchu, główną korzyścią wynikającą ze stosowania akumulatorów ciepła jest zmniejszenie zużycia paliwa oraz zmniejszenie emisji toksycznych składników spalin w fazie nagrzewania silnika. Efekt ten zależy zarówno od pojemności cieplnej akumulatora, jak i od temperatury otoczenia, przy jakiej następuje rozruch silnika. Najważniejszą cechą akumulatorów ciepła jest możliwość zastosowania dużej prędkości przepływu energii z akumulatora do silnika, która jest znacznie większa, niż przy systemach elektrycznego lub płomieniowego nagrzewania. Przekazanie ciepła do zimnej głowicy zmienia warunki rozruchu silnika oraz jego pracy w fazie nagrzewania się, prowadząc do poprawy przebiegu procesu spalania, znacznego skrócenia czasu osiągnięcia nominalnej temperatury pracy silnika i reaktora katalitycznego oraz zmniejszenia emisji produktów niepełnego i niecałkowitego spalania. Poza wymienionymi zaletami, do najważniejszych cech akumulatora ciepła należy zaliczyć możliwość efektywnego odzysku i wykorzy-

stania części energii, która w konwencjonalnych systemach jest rozpraszana przez układ chłodzenia. Ta energia jest następnie wykorzystana w celu zwiększenia sprawności ogólnej silnika, zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin oraz przyczynia się do zwiększenia trwałości silnika.

2. Rodzaje akumulatorów ciepła

W akumulatorach ciepła pierwszej generacji, zwanych akumulatorami typu A, energia przechowana jest w substancji podlegającej przemianie fazowej. Ciepło potrzebne do stopienia substancji akumulatora pobierane jest z układu chłodzenia silnika lub znacznie rzadziej, ze spalin. Rdzeń magazynujący ciepło wykonany jest w formie stosu cienkich blaszanych kopert wypełnionych substancją, która odznacza się dużą wartością ciepła przemiany fazowej. W akumulatorach typu A najczęściej stosowanymi substancjami podlegającymi przemianie fazowej są: wodorotlenek baru $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, mieszaniny eutektyczne soli nieorganicznych lub niektóre substancje organiczne. Przy wykorzystaniu energii spalin (wyższa temperatura topnienia substancji) stosuje się zwykle mieszaninę eutektycznych azotanów potasu KNO_3 i litu $LiNO_3$. Na rys. 2.1 przedstawiono przekrój cylindrycznego akumulatora typu A o długości 370 mm, średnicy 170 mm, masie 10 kg i pojemności cieplnej 600 W·h.



Rys. 2.1. Akumulator ciepła typu A [1]
Fig. 2.1. Heat storage- type A [1]

Izolacja próżniowa gwarantuje małe straty ciepłne, które przy temperaturze otoczenia $-7^{\circ}C$ dla naładowanego w pełni akumulatora wynoszą około 6 J/s. Podczas rozruchu silnika, płyn chłodzący przejmuje ciepło zgromadzone w akumulatorze, ogrzewając ścianki cylindra i komory spalania. Ilość ciepła oddawana do czynnika chłodzącego podczas wymiany ciepła i przy spadku temperatury wewnętrznej akumulatora z $80^{\circ}C$ do $50^{\circ}C$, wynosi 2200 kJ, natomiast chwilowa moc urządzenia osiągnąć może wartość 30 kW.

Akumulatory ciepła typu A są wycofywane z użycia, ponieważ dość często pojawiały się problemy z ich trwałością. Objawia się to utratą szczelności wraz z upływem czasu i dość często dochodziło do mieszania toksycznej substancji akumulatora z płynem chłodzącym, powodując uszkodzenia silnika i możliwości skażenia środowiska. Z tych względów są one obecnie zastępowane akumulatorami ciepła typu B (rys. 2.2).



Rys. 2.2. Akumulator ciepła typu B [2]
Fig. 2.1. Heat storage - type B [2]

Jest to termicznie izolowane naczynie zawierające określoną objętość czynnika chłodzącego. Podczas pracy silnika akumulator magazynuje gorący czynnik, aby następnie podczas kolejnego rozruchu wykorzystać go do rozgrzania ścianek przestrzeni roboczej. Wnętrze akumulatora ciepła typu B zawiera często system kanałów umożliwiających rozdział i uporządkowanie przepływu zimnego i gorącego czynnika oraz przyczyniających się do zmniejszenia mieszania się obu czynników. Sposób instalacji oraz zasada działania akumulatorów obu typów nie różnią się, przy czym ze względu na właściwości czynnika magazynującego ciepło, przy tych samych wymiarach, akumulatory typu B dysponują nieco mniejszą pojemnością cieplną. Najbardziej korzystnym miejscem montażu akumulatora ciepła jest wnętrze komory silnikowej pojazdu, przy czym w przypadku braku miejsca może być on montowany również w innych miejscach pojazdu.

3. Akumulator ciepła w układzie chłodzenia silnika

Ciepło potrzebne do ogrzania głowicy, kadłuba silnika oraz czynnika chłodzącego wypełniającego kadłub i głowicę do określonej temperatury końcowej T_{kn} można obliczyć z bilansu ciepła:

$$Q = (m_g \cdot c_g + m_{kd} \cdot c_{kd} + m_{ch} \cdot c_{ch}) \cdot (T_{kn} - T_{ch})$$

gdzie: m_g , c_g , m_{kd} , c_{kd} , m_{ch} , c_{ch} kolejno masa i ciepło właściwe: głowicy, kadłuba i znajdującego się w nich czynnika chłodzącego.

Ciepło Q_a zgromadzone w czynniku znajdującym się w akumulatorze ciepła wynosi:

$$Q_a = m_a \cdot c_{ch} \cdot (T_a - T_{kn}).$$

Przy założeniach upraszczających całkowitej wymiany ciepła między akumulatorem a silnikiem, wymieszaniu czynników z akumulatora i silnika oraz pominięciu wszelkich strat, można obliczyć teoretyczną temperaturę końcową T_{kn} jaką osiągną: głowica, kadłub i czynnik chłodzący znajdujący się w silniku:

$$T_{kn} = \frac{T_a \cdot (m_a \cdot c_{ch}) + T_{ch} \cdot (m_g \cdot c_g + m_{kd} \cdot c_{kd} + m_{ch} \cdot c_{ch})}{(m_g \cdot c_g + m_{kd} \cdot c_{kd} + m_{ch} \cdot c_{ch} + m_a \cdot c_{ch})}$$

Z punktu widzenia rozruchu i pracy silnika w fazie nagrzewania się, najkorzystniejsza jest bardzo szybka wymiana ciepła między akumulatorem i głowicą. Przy zastosowaniu akumulatora typu B, energia cieplna jest zgromadzona w czynniku chłodzącym znajdującym się w izolowanym cieplnie zbiorniku. Ilość zmagazynowanego ciepła zależy od objętości akumulatora, ciepła właściwego czynnika chłodzącego oraz jego temperatury. W celu uzyskania wyższej temperatury magazynowanego czynnika w stosunku do średniej temperatury czynnika chłodzącego podczas pracy silnika, celowe jest jego doprowadzanie do akumulatora ciepła dopiero po wyłączeniu nagrzanego silnika. Nie występuje wówczas wymuszony pompą ruch czynnika chłodzącego, w związku z czym w głowicy silnika następuje znaczny wzrost temperatury czynnika chłodzącego, skąd powinien być on przepompowywany dodatkową pompą elektryczną do akumulatora ciepła. Wykorzystanie zgromadzonego ciepła do nagrzania silnika zależy od przyjętej koncepcji współpracy akumulatora ciepła z układem chłodzenia silnika. W pierwszej z nich gorący czynnik z akumulatora, jeszcze przed rozruchem silnika, może być pompowany dodatkową pompą elektryczną do głowicy a następnie do kadłuba. Czas pracy pompy sterowany jest zwykle czujnikiem temperatury umieszczonym w wybranym miejscu głowicy. Innym sposobem jest włączenie obiegu akumulatora ciepła do układu chłodzenia jednocześnie z rozruchem silnika. W tym wypadku ruch cieczy z akumulatora do kadłuba, a następnie głowicy, wymuszony jest pompą silnika.

W silnikach wyposażonych w podgrzewany układ zasilania, jest celowe doprowadzenie do układu gorącego czynnika z akumulatora ciepła jeszcze przed rozruchem, dzięki czemu w pierwszych cyklach pracy silnika można uzyskać w kanale dolotowym lepsze odparowanie paliwa.

Pierwszym i jedynym jak dotąd przykładem świadczącym o przydatności akumulatora ciepła do zmniejszenia emisji toksycznych związków spalin

podczas rozruchu i nagrzewania silnika, jest zastosowanie tego rozwiązania w samochodzie marki Toyota Prius przeznaczonej na rynek amerykański. Dysponuje on hybrydowym układem napędowym, który umożliwia ruszanie pojazdu przy wykorzystaniu tylko silnika elektrycznego, natomiast rozruch silnika spalinowego następuje dopiero po przekazaniu ciepła z akumulatora do ścianek kanałów dolotowych. Pod względem emisji toksycznych związków spalin uważany jest obecnie za jeden z najlepszych na świecie i dzięki temu rozwiązaniu mógł spełnić wymagania norm kalifornijskich kategorii AT-PZEV. Badania prowadzone w teście FTP-75 w temperaturze otoczenia 25°C wykazały, że podgrzanie ścianek kanałów dolotowych silnika do temperatury 40°C przynosi zmniejszenie emisji węglowodorów o około 50%.

4. Sterownik akumulatora ciepła

Zarządzanie systemem doprowadzania ciepła z akumulatora do układu chłodzenia silnika wymaga systemu sterowania. Ten system korzystając z sygnałów pochodzących z czujników temperatury steruje zaworami elektromagnetycznymi oraz dodatkową, elektryczną pompą cieczy chłodzącej. Położenie zaworów, jak również stan pracy pompy decydują o kierunku i wielkości przepływu czynnika chłodzącego w poszczególnych gałęziach układu chłodzenia i akumulatora ciepła.

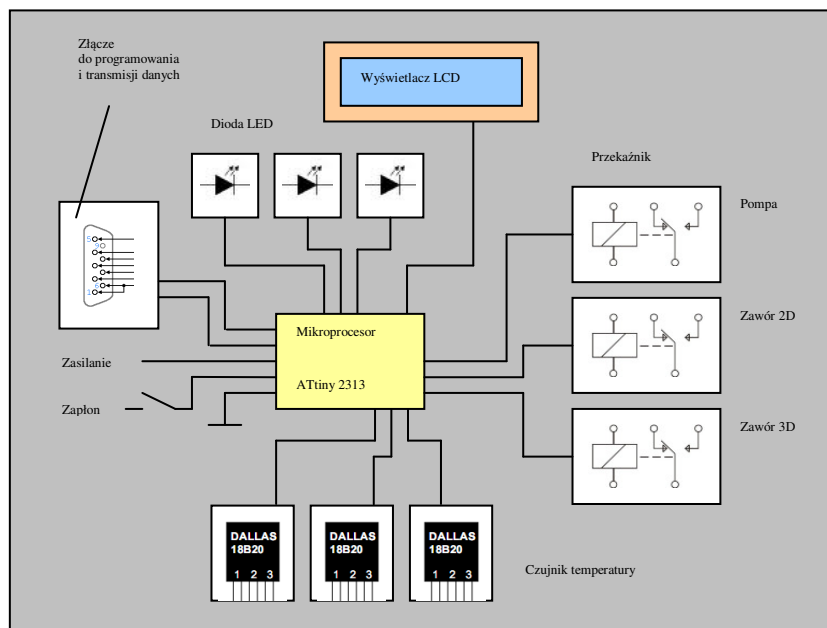
Podczas realizacji projektu opracowano i wykonano dwa elektroniczne sterowniki do zarządzania przepływem czynnika pomiędzy układem chłodzenia silnika i akumulatorem ciepła. Jeden z nich był wykorzystywany w badaniach stanowiskowych, natomiast drugi został zamontowany w kabinie badanego pojazdu. Sterowniki różniły się od siebie obudową i rozmieszczeniem poszczególnych podzespołów elektronicznych, jak również rodzajem czujników temperatury. Wynikało to z różnych warunków montażu urządzenia na stanowisku badawczym i w badanym pojeździe wyposażonym w akumulator ciepła.

Pierwszy sterownik (rys. 4.1) służył do zarządzania w układzie chłodzenia silnika przy zastosowaniu akumulatora ciepła w badaniach stanowiskowych na hamowni silnikowej. Ten sterownik został opracowany dla środowiska Lab View i obejmował zarówno funkcje sterowania przepływem czynnika pomiędzy układem chłodzenia silnika i akumulatorem ciepła oraz dodatkowej pompy elektrycznej, jak i też funkcje obsługi kart pomiarowych współpracujących z termoparami i karty odpowiedzialnej za pomiar zużycia paliwa.



Rys. 4.1 Sterownik zarządzający systemem z akumulatorem ciepła w badaniach stanowiskowych na hamowni silnikowej
Fig. 4.1. Controller of the system with the heat storage during engine test stand investigations

W sterowniku przeznaczonym do pojazdu badawczego do pomiaru temperatury użyto systemu czujników typu DS18B20 firmy Dallas Semiconductor. Są to mikroprocesorowe układy, które komunikowały się z mikrokontrolerem za pomocą linii „1 wire”.



Rys. 4.2 Sterownik zarządzający systemem z akumulatorem ciepła w badaniach w pojeździe
Fig. 4.2. Controller of the system with the heat storage during vehicle investigations

Wartość temperatury z czujnika przesyłana jest w postaci cyfrowej, nie narażonej na zakłócenia poziomu sygnału.

Mikrokontroler realizował program w zależności od danych wejściowych, które stanowiła temperatura w miejscach pomiarowych w układzie chłodzenia silnika oraz sygnał włączenia zapłonu. Punkty pomiarowe temperatury to:

- temperatura cieczy chłodzącej silnika mierzona w przewodzie przelewowym,
- temperatura na wejściu akumulatora ciepła,
- temperatura na wyjściu akumulatora ciepła.

Dokładność pomiaru to $\pm 0,5$ °C. Do badań pojazdu doświadczalnego wyposażonego w system odzyskiwania ciepła zbudowano sterownik, który jest dedykowanym układem opartym na programowalnym mikrokontrolerze typu ATtiny 2313 firmy Atmel. Na rys. 4.2 przedstawiono schemat blokowy sterownika.

Sterowanie pompą oraz zaworami kierującymi przepływ cieczy w układzie odbywało się przez przełączniki podłączone do mikrokontrolera. Informacja o cyklu, który był realizowany wyświetlana była na wyświetlaczu LCD, w który wyposażony był sterownik. Diody LED informowały o załączeniu przełączników. Sterownik umożliwił podłączenie do komputera programującego poprzez złącze do transmisji danych (RS232). Za pomocą odpowiedniego programu możliwe było rejestrowanie przebiegu temperatury oraz stanu przełączników w pliku. Aplikacja została napisana w środowisku programistycznym LabVIEW. Możliwe było również modyfikowanie programu mikrokontrolera na pracującym stanowisku bez demontażu układu.

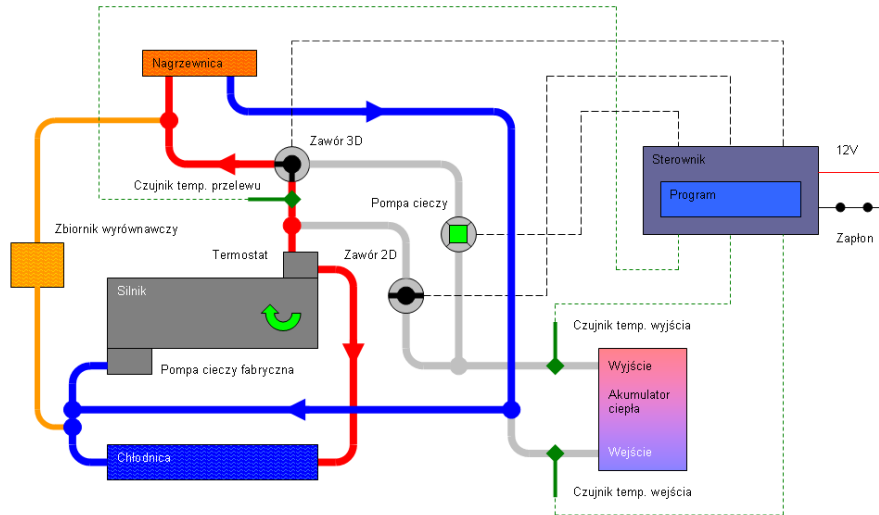
Do programowania mikrokontrolera użyto kompilatora firmy MCS Bascom AVR. Pozwalało to na sprawne wprowadzanie korekt wartości temperatury do warunków decydujących o wyborze danego programu i cyklu mikrokontrolera. Sterownik zasilany był z instalacji samochodu i wyposażony był we własny zasilacz dostosowujący napięcia do potrzeb wykorzystanych układów (5V, 12V).

Wartości temperatury użyte w warunkach dotyczących uruchomienia danego cyklu były zmieniane i były dostosowywane do konkretnej aplikacji wynikającej np. z temperatury otwarcia termostatu.

5. Współpraca akumulatora ciepła z systemem chłodzenia silnika

Akumulator ciepła włączono w obieg układu chłodzenia równoległe do zbiornika wyrównawczego. Na przewodzie doprowadzającym czynnik do akumulatora zainstalowano dodatkową pompę elektryczną, która umożliwiała tłoczenie czynnika w obu kierunkach w celu napełniania i opróżniania akumulatora, a ponadto stwarzała możliwość przepompowywania gorącego czynnika chłodzącego z

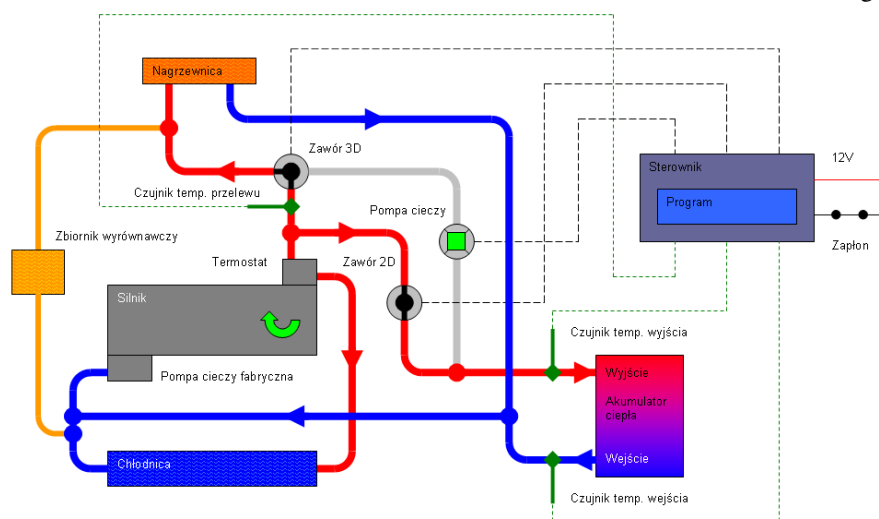
akumulatora ciepła do silnika przed jego rozruchem. Zakres wprowadzonych modyfikacji i rozkład poszczególnych elementów układu chłodzenia z zabudowanym akumulatorem ciepła przedstawiono schematycznie na rysunku 5.1.



Rys. 5.1. Schemat zmodyfikowanego układu chłodzenia z akumulatorem ciepła i dodatkową, elektryczną pompą czynnika chłodzącego.

Fig. 5.1. Diagram of modified cooling system with heat storage and additional electric pump of cooling medium

Na schemacie przedstawiony został stan pracy silnika, gdy akumulator jest odłączony od układu chłodzenia, o czym decyduje położenie sterowanego elektromagnetycznie zaworu „2D” (rys.5.1).



Rys. 5.2. Schemat napełniania akumulatora ciepła gorącym czynnikiem

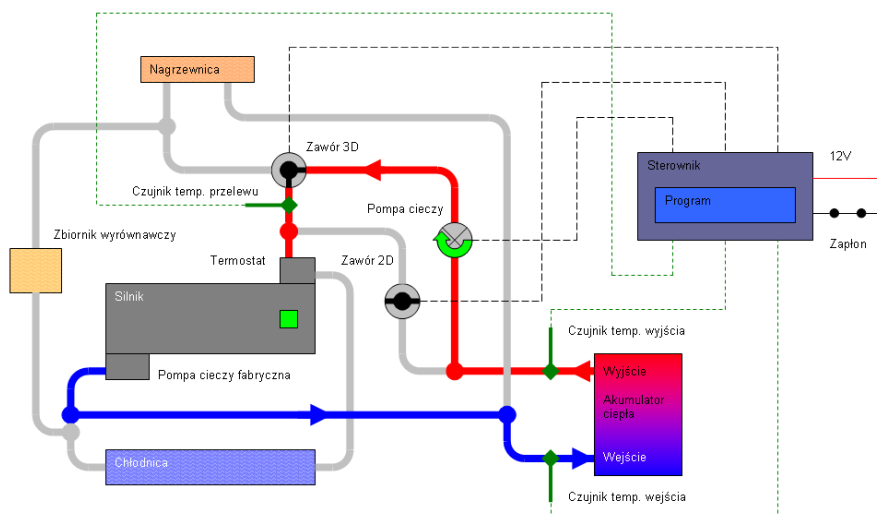
Fig. 5.2. Diagram of heat storage filling with the hot medium

Napełnianie akumulatora ciepła gorącym czynnikiem następuje po osiągnięciu przez czynnika chłodzący nominalnej temperatury. Pobór czynnika chłodzącego następuje na wylocie z korpusu termo-

statu. Aby osiągnąć największą temperaturę czynnika napełniającego akumulator, system był wyposażony w układ sterowania napływu, korzystający z sygnałów pochodzących z czujników temperatury nadzorujących temperaturę czynnika w akumulatorze i w głowicy silnika. Schemat napełniania akumulatora gorącym czynnikiem przedstawiono na rys. 5.2.

Konfiguracja układu chłodzenia z zamontowanym akumulatorem ciepła umożliwia różne metody przekazywania ciepła do układu chłodzenia silnika. Na rys. 5.3 zaprezentowano schemat przekazywania gorącego czynnika z akumulatora ciepła, który rozpoczyna się przed rozruchem zimnego silnika. Czynniki doprowadzany jest bezpośrednio do głowicy przez

korpus termostatu. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu dodatkowej, elektrycznej pompy czynnika chłodzącego i dodatkowego zaworu „3D”, sterowanego elektromagnetycznie. Czas przekazywania gorącego czynnika z akumulatora do układu chłodzenia silnika jest nadzorowany przez system sterowania napływu, korzystający z sygnałów pochodzących z czujników temperatury czynnika w akumulatorze i w głowicy silnika. Przerwanie przepływu następuje po wyrównaniu temperatury czynnika w akumulatorze i w głowicy silnika. Stosowanie dodatkowej pompy elektrycznej, nie jest konieczne natomiast wymiana czynnika chłodzącego pomiędzy układem chłodzenia a akumulatorem ciepła może być wymuszona fabryczną pompą czynnika chłodzącego, stanowiącą standardowe wyposażenie silnika spalinowego. W tym systemie nie ma możliwości wymiany czynnika chłodzącego pomiędzy silnikiem a akumulatorem przed rozruchem silnika.



Rys. 5.3. Schemat nagrzewania silnika przed rozruchem.
Fig. 5.3. Diagram of engine warming up before start

Po włączeniu zapłonu sterownik uruchamia program, który na początku wykonywał procedurę mającą na celu sprawdzenie temperatury czynnika w akumulatorze oraz czynnika chłodzącego w silniku. W przypadku, kiedy w akumulatorze ciepła zgromadzony był czynnik o wysokiej temperaturze a silnik był wychłodzony następowało uruchomienie dodatkowej pompy elektrycznej i przepompowanie czynnika z akumulatora do głowicy silnika. Po wyrównaniu temperatury na wejściu i wyjściu z akumulatora, sygnał ze sterownika umożliwiał rozruch silnika. W przypadku rozruchu w niskiej temperaturze i przy dużej różnicy temperatury między czynnikiem znajdującym się w głowicy a czynnikiem wypełniającym akumulator, sterownik przydzielał dodatkowy czas na przejście ciepła z czynnika chłodzącego przez materiał głowicy. Po uruchomieniu silnika, akumulator ciepła był odłączany od układu chłodzenia. Po osiągnięciu przez silnik nominalnej temperatury roboczej następowało cykliczne ładowanie akumulatora gorącym czynnikiem chłodzącym tak, aby po wyłączeniu silnika w akumulatorze zmagazynowany był czynnik o możliwie najwyższej temperaturze. W przypadku, gdy podczas uruchomienia silnika w akumulatorze ciepła był czynnik o niskiej temperaturze lub temperatura cieczy chłodzącej w silniku była wysoka sterownik realizował uproszczony program, który omijał fazę nagrzewania silnika i odłączał akumulator.

W trakcie pracy silnika sterownik cały czas kontrolował, czy temperatura cieczy chłodzącej nie przekracza 95°C . W przypadku jej przekroczenia układ ładowania akumulatora był odłączany w celu wykorzystania pełnej wydajności układu chłodzenia silnika.

6. Podsumowanie

Zaproponowany system odzysku ciepła z układu chłodzenia silnika pozwala na wykorzystanie energii, która jest rozpraszana do otoczenia, do poprawy sprawności silnika oraz zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin. W tym obszarze nawet niewielka poprawa przynosi ogromne rezultaty w skali globalnej, biorąc pod uwagę liczbę pojazdów i maszyn napędzanych silnikami spalinowymi. Skrócenie okresu na-

grzewania się silnika, szczególnie w niskiej temperaturze otoczenia, może się przyczynić do zwiększenia trwałości niektórych jego podzespołów.

Skuteczne działanie systemu nagrzewania silnika ciepłem zgromadzonym w akumulatorze jest możliwe nawet po kilkudniowym postoju pojazdu. Opracowany system nie jest drogi i jest łatwy do montażu w każdym samochodzie, w tym również w eksploatowanych pojazdach starszego typu. Jest on szczególnie polecany dla pojazdów, w których następuje częsty rozruch zimnego silnika np. taksówki, pojazdy służbowe, pojazdy dostawcze.

Zastosowanie systemu odzysku ciepła nie zakłóca prawidłowego funkcjonowania całego pojazdu.

Stwierdzono znacząco większą wydajność układu nagrzewania wnętrza w okresie bezpośrednio po rozruchu silnika, co zwiększa komfort użytkownika pojazdu i wpływa na podniesienie bezpieczeństwa, ze względu na możliwość kierowania ciepłego powietrza do oczyszczania szyby ze skondensowanej pary wodnej.

Korzystną cechą zaproponowanego systemu, stwierdzoną w badaniach funkcjonalnych, jest także znacząco szybsze nagrzewanie się silnika po zimnym rozruchu, co pozwala w tym okresie na jego eksploatację z większym obciążeniem i większą prędkością obrotową. Ta cecha przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa użytkownika pojazdu w ruchu drogowym.

Literatura

- [1] Schatz O., *Latent heat storage*, Schatz Thermo Engineering, Materiały Fabryczne 1994.
- [2] Ritter Fahrzeug-Technik, *Das Wärmespeicher-System*, Materiały Fabryczne 2002.

Mr Marek Brzeżański, DSc., DEng. – Institute of Vehicles and Internal Combustion Engines at Cracow University of Technology

Dr hab. inż. Marek Brzeżański – Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej.

Mr Michał Mareczek, DEng. – doctor in the Combustion Engines Chair of Automobiles and Internal Combustion Engines Institute at Cracow University of Technology.

Dr inż. Michał Mareczek – doktor w Katedrze Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.



Mr Tadeusz Papuga, DEng. – doctor in the Combustion Engines Chair of Automobiles and Internal Combustion Engines Institute at Cracow University of Technology.

Dr. inż. Tadeusz Papuga – adiunkt w Katedrze Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

