

## Engine testing during cold start and warming up phase with use of heat storage

*Abstract: Test stand investigations of the engine equipped with the heat storage has been presented in article as well as the chassis dynamometer investigations of the car fitted with such elaborated heat storage system. The methodology of investigations and the analysis of the received results in aspect of change of the engine work parameters and in aspect of the exhaust gas toxic components emission have been also presented. The possibility of implementation of that elaborated method of heat utilization from the engine cooling system was discussed in article.*

*Key words: combustion engine, cold start, warming up phase, heat storage, engine efficiency, exhaust gas toxic components emission*

## Badania silnika podczas zimnego rozruchu i fazy nagrzewania z zastosowaniem akumulatora ciepła

*Streszczenie: Artykuł przedstawia badania stanowiskowe silnika wyposażonego w akumulator ciepła na hamowni silnikowej oraz badania pojazdu wyposażonego w opracowany system na hamowni podwoziowej. Przedstawiono metodykę badań oraz przeprowadzono analizę otrzymanych wyników w aspekcie zmiany parametrów roboczych silnika oraz w aspekcie zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin. Zaprezentowano także możliwość wdrożenia opracowanej metody wykorzystania ciepła z układu chłodzenia silnika spalinowego.*

*Słowa kluczowe: silnik spalinowy, zimny rozruch, faza nagrzewania, akumulator ciepła, sprawność silnika, emisja toksycznych składników spalin*

### 1. Wstęp

Odpowiednia gospodarka ciepłem wywiązywanym w procesie spalania ma duży wpływ na usprawnienia maszyny termodynamicznej, jaką jest silnik spalinowy. Jedną z metod poprawy bilansu cieplnego silnika jest wykorzystanie energii cieplnej, która zwykle jest oddawana do otoczenia. Energia ta, zmagazynowana w akumulatorze ciepła może być wykorzystana podczas zimnego rozruchu silnika i w okresie jego nagrzewania się, przy czym zakłada się, że nastąpi wówczas zmniejszenie emisji toksycznych składników spalin oraz zwiększenie sprawności silnika. Uzyskany efekt zależy jest 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 niezupełnego i niecałkowitego spalania. Poza wy-

mienionymi zaletami, do najważniejszych cech akumulatora ciepła należy zaliczyć możliwość efektywnego odzysku i wykorzystania 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.

Ocena możliwości wykorzystania ciepła zmagazynowanego w akumulatorze do zwiększenia sprawności i zmniejszenia emisji toksycznych związków spalin podczas zimnego rozruchu i fazy nagrzewania się silnika spalinowego jest możliwa wyłącznie podczas badań stanowiskowych. Weryfikację efektów proponowanego systemu należy przeprowadzić podczas obowiązujących testów badawczych, w tym podczas tzw. szóstej próby testu homologacyjnego, która polega na realizacji testu UDC w temperaturze otoczenia -7°C.

### 2. Wybór obszaru i metodyki badań

Pierwszy etap prac przeprowadzony w specjalistycznym laboratorium badawczym Katedry Silników Spalinowych Instytutu Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Kra-

kowskiej obejmował opracowanie systemu odzysku ciepła z układu chłodzenia w aspekcie wykorzystania go do zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin oraz badania stanowiskowe silnika wyposażonego w ten system..

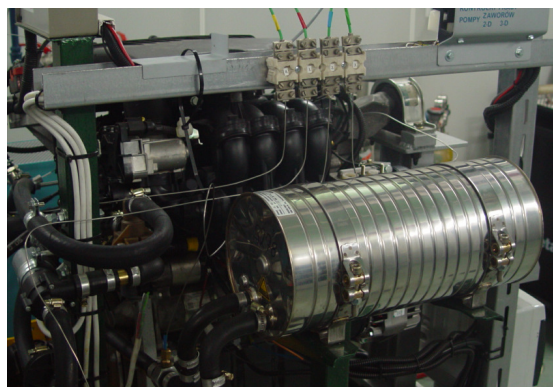
W tym etapie przewidywany zakres prac obejmował:

- zaprojektowanie układu chłodzenia silnika, pod kątem odzysku ciepła,
- zaprojektowanie systemu współpracy zasobnika ciepła z układem chłodzenia silnika, w tym metody i miejsca przekazywania ciepła do układu chłodzenia,
- opracowanie systemu sterowania, uwzględniającego współpracę zasobnika ciepła z układem chłodzenia silnika, w tym opracowanie modułu sterowania dodatkową pompą w układzie chłodzenia,
- opracowanie programu sterującego, odpowiedzialnego za skład mieszanki paliwowo-powietrznej podczas zimnego rozruchu i w fazie nagrzewania się silnika,
- opracowanie cyklu pomiarowego dotyczącego zimnego rozruchu i fazy nagrzewania się silnika,
- opracowanie odpowiednich algorytmów sterowania,
- wykonanie badań doświadczalnych silnika wyposażonego w proponowany system,
- analiza wyników badań stanowiskowych,

Drugi etap prac badawczych, wykonany w ośrodku badawczo rozwojowym BOSMAL w Białym Białej, który dysponuje certyfikowanym laboratorium badawczym i wymaganą przepisami aparaturą, obejmował weryfikację zaproponowanego rozwiązania wg obowiązujących procedur badawczych.

W tym etapie przewidziano:

- badania optymalizacyjne opracowanego systemu w zakresie wpływu na wielkość emisji toksycznych składników spalin i zużycia paliwa w teście UDC.
- badania wpływu obniżonej temperatury na pracę zaproponowanego systemu,



Rys. 1.1. Akumulator ciepła typu B  
Fig. 1.1. Heat storage - type B

- badania rozruchu i fazy nagrzewania w komorze niskiej temperatury,
- badania funkcjonalne systemu, badania drogowe,
- analiza możliwości praktycznego zastosowania zaproponowanego rozwiązania.

## 2.1 Badania stanowiskowe

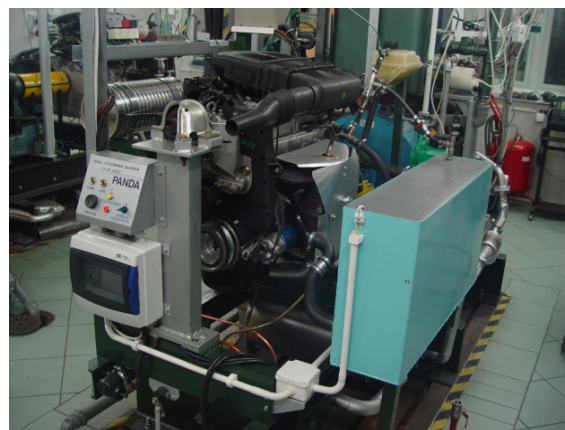
W prowadzonych badaniach stanowiskowych wybrano następujące warunki pracy silnika:

- zimny rozruch i praca silnika na biegu jałowym według fabrycznych ustawień,
- zimny rozruch, praca silnika przez 30 sekund na biegu jałowym, a następnie praca przy stałej prędkości obrotowej  $2500\text{min}^{-1}$  i stałym obciążeniu wynoszącym  $30\text{Nm}$ , co stanowi ok. 30% maksymalnej wartości momentu obrotowego,

Powyższe cykle pomiarowe stosowano zarówno w badaniach fazy nagrzewania się silnika w standardowej wersji, jak i w wersji wyposażonej w akumulator ciepła.

Badania silnika wyposażonego w akumulator ciepła realizowano w następujących konfiguracjach:

- włączanie akumulatora ciepła w obieg chłodzenia wraz z rozruchem silnika. Przekazywanie ciepła z akumulatora było wymuszone pracą fabrycznej pompy czynnika chłodzącego.
- włączanie akumulatora ciepła w obieg chłodzenia przed rozruchem silnika. Przekazywanie ciepła z akumulatora było wymuszone pracą dodatkowej pompy elektrycznej, a czynnik przepływał bezpośrednio do głowicy od strony termostatu. Rozruch silnika następował po wyrównaniu temperatury czynnika na wejściu i wyjściu z akumulatora ciepła. Prowadzono również badania przy wydłużonym czasie przekazywania czynnika z akumulatora do głowicy, w celu umożliwienia lepszego wnikanía ciepła z gorącego czynnika do ścianek



Rys. 2.1.1. Stanowisko badawcze  
Fig. 2.1.1. Test bench

głowicy silnika. Przeprowadzono też badania z zastosowaniem dwóch akumulatorów ciepła, dzięki czemu można było dokonać oceny działania systemu pod kątem ilości dostarczanego ciepła.

Metodyka prowadzonych badań zimnego rozruchu i fazy nagrzewania się silnika, przy założonym cyklu obciążenia, polegała na pomiarze stężenia toksycznych składników spalin wpływających z reaktora katalitycznego wraz z równoczesnym pomiarem temperatury w wybranych węzłach silnika oraz pomiarem współczynnika nadmiaru powietrza i chwilowego zużycia paliwa. Zapis danych z wymienionych torów pomiarowych realizowano w czasie rzeczywistym na zestawach komputerowych o zsynchronizowanej podstawie czasu.

Przyjęta metodyka pozwoliła na prowadzenie analizy zjawisk zachodzących w silniku spalinyowym podczas rozruchu i na każdym z etapów jego fazy nagrzewania się. Dotyczyło to zarówno oceny stanu cieplnego silnika, prowadzonej na podstawie przebiegu temperatury w wybranych punktach pomiarowych, jak i oceny wartości stężenia toksycznych składników spalin. Metodyka ta umożliwiała również przeprowadzenie obliczeń emisji toksycznych związków w każdym, dowolnie wybranym przedziale okresu nagrzewania się silnika. Wartość emisji stanowi najważniejszy parametr pozwalający na ocenę ekologicznych właściwości silnika spalinyowego.

Badania doświadczalne przeprowadzono na silniku Fiat 187.A1000, który jest źródłem napędu samochodów Fiat Panda.

Pomiar stężenia toksycznych składników spalin wykonywano w sposób ciągły za pomocą zastawu analizatorów MEXA 1500GH firmy Horiba, który zawierał komputerowy system akwizycji i analizy danych. Przeprowadzone badania rozpoznawcze wykazały, że do analizy procesu nagrzewania się silnika wystarczająca jest rejestracja mierzonych wartości stężenia w odstępach co 250ms.

Próbki spalin pobierano bezpośrednio za reaktorem katalitycznym.

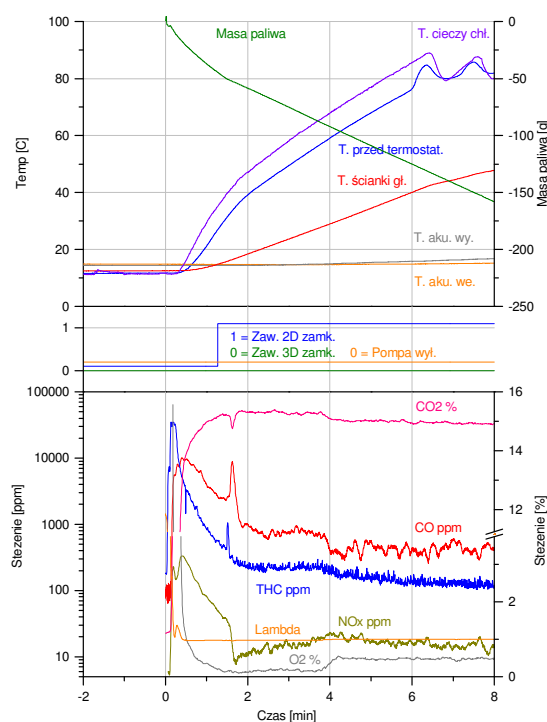
Do pomiarów temperatury użyto termopar typu „K” (NiCr-NiAl) umieszczonych w wybranych miejscach układu chłodzenia silnika

W fazie nagrzewania się silnik pracuje w nieustalonych warunkach cieplnych, w związku z tym chwilowa wartość zużycia paliwa ulega ciągłym zmianom. Biorąc to pod uwagę opracowano specjalny system pomiarowy masy zużytego paliwa, w którym korzystano z sygnału cyfrowego elektronicznej wagi, co umożliwiała pomiar chwilowego zużycia paliwa w czasie rzeczywistym.

Ocenę emisji przeprowadzono na podstawie analizy wykresów stężenia poszczególnych składników spalin. Funkcja stężenia podlegała scałkowaniu w określonym przedziale czasu, dzięki czemu uzyskano wskaźnik charakteryzujący wielkość emisji. Umożliwiło to ilościową ocenę emisji każdego ze składników spalin podczas stanowiskowych badań

hamownianych. Wartości tych wskaźników przedstawiono w opisie każdego z wykresów.

Wyjściowa charakterystyka, sporządzona dla standardowej wersji silnika bez udziału akumulatora ciepła w procesie nagrzewania została przedstawiona na rys. 2.1.2. Czas nagrzewania się silnika wynosił ok. 6 min., przy czym przyjęto tu kryterium otwarcia termostatu w układzie chłodzenia silnika. Wskaźniki emisji obliczono dla czasu pracy silnika wynoszącego 8 min. W tych warunkach pracy silnika masa zużytego paliwa wynosi 155 g, a wskaźniki emisji odpowiednio: CO 1508 ppm, THC 1159 ppm, NOx 37 ppm.



Rys. 2.1.2. Temperatura, zużycie paliwa, stężenie składników spalin i współczynnik nadmiaru powietrza w funkcji czasu nagrzewania się silnika. Praca silnika bez obciążenia i bez użycia akumulatora ciepła.

Wskaźniki emisji: CO 1508 ppm, THC 1159 ppm, NOx 37 ppm, zużycie paliwa (czas pomiaru 8 min): 155 g

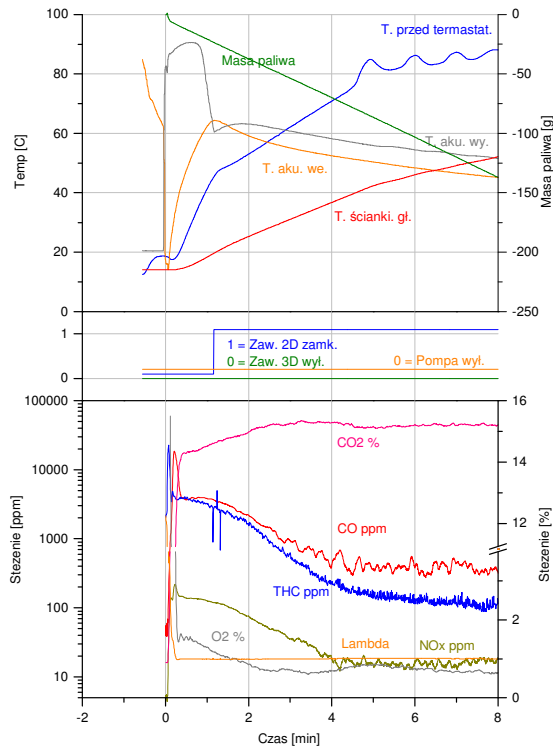
Fig. 2.1.2. Temperature, fuel consumption, exhaust gas components concentration and air excess number in function of engine warming up time. Engine work without load and heat storage use.

Emission factors: CO 1508 ppm, THC 1159 ppm, NOx 37 ppm, fuel consumption (measurement time 8 min): 155 g

Następny cykl pomiarowy przeprowadzono przy zastosowaniu akumulatora ciepła, przy czym pobieranie gorącego czynnika z akumulatora rozpoczęło się w chwili rozruchu silnika (rys. 2.1.3).

Zużycie paliwa wyniosło 137 g, a wskaźniki emisji: CO 1447 ppm, THC 1093 ppm, NOx 47 ppm. Wynika z tego, że wskaźnik emisji CO zmniejszył się o ok. 4%, wskaźnik emisji THC zmniejszył się o ok. 6%, natomiast wskaźnik emisji NOx zwiększył się o ok. 27%, przy czym bezwzględna wartość stężenia

nia NOx jest bardzo mała. Zużycie paliwa zmniejszyło się w stosunku do wersji podstawowej o ok. 12%. Zastosowanie akumulatora ciepła w tym przypadku skróciło czas nagrzewania się silnika o ok. 1 min, w stosunku do wersji podstawowej.



Rys. 2.1.3. Temperatura, zużycie paliwa, stężenie składników spalin i współczynnik nadmiaru powietrza w funkcji czasu nagrzewania się silnika. Praca silnika bez obciążenia z akumulatorem ciepła włączonym w chwili rozruchu silnika.

Wskaźniki emisji: CO 1203 ppm, THC 1052 ppm, NOx 41 ppm, zużycie paliwa (czas pomiaru 8 min): 140 g

Fig. 2.1.3. Temperature, fuel consumption, exhaust gas components concentration and air excess number in function of engine warming up time. Engine work without load, heat storage turned on at the moment of engine start.

Emission factors: CO 1203 ppm, THC 1052 ppm, NOx 41 ppm, fuel consumption (measurement time 8 min): 140 g

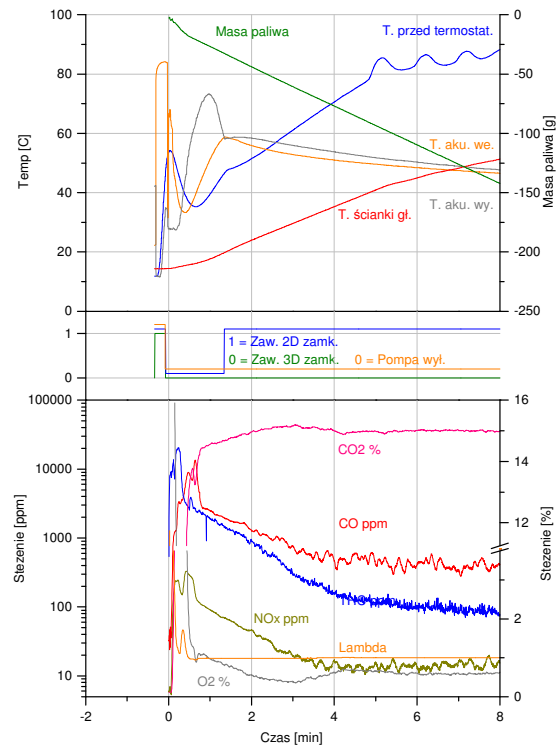
Podczas pracy silnika na biegu jałowym przeprowadzono następnie dwa cykle pomiarowe przy doprowadzeniu gorącego czynnika z akumulatora ciepła rozpoczynającym się na 30 sekund przed rozruchem silnika (rys. 2.1.4).

Zużycie paliwa wyniosło 140g, a wskaźniki emisji: CO 1203ppm, THC 1052ppm, NOx 41ppm.

Wynika z tego, że wskaźnik emisji CO zmniejszył się o ok. 21%, wskaźnik emisji THC zmniejszył się o ok. 10%, natomiast wskaźnik emisji NOx zwiększył się o ok. 11%, przy czym bezwzględna wartość stężenia NOx w obu przypadkach jest bardzo mała. Zużycie paliwa zmniejszyło się w stosunku do wersji podstawowej o ok. 10%.

Zastosowanie akumulatora ciepła w tym przypadku skróciło czas nagrzewania się silnika o ok. 1 min, w stosunku do wersji podstawowej

We wszystkich rozpatrywanych przypadkach emisja NOx była na poziomie kilkudziesięciu ppm, a jej wartość jest bardzo mała w stosunku do pracy nagrzanego silnika.



Rys. 2.1.4. Temperatura, zużycie paliwa, stężenie składników spalin i współczynnik nadmiaru powietrza w funkcji czasu nagrzewania się silnika. Praca silnika bez obciążenia, nagrzewanie silnika z akumulatorem ciepła 30 sekund przed rozruchem.

Wskaźniki emisji: CO 1203 ppm, THC 1052 ppm, NOx 41 ppm, Zużycie paliwa (czas pomiaru 8 min): 140 g

Fig. 2.1.4. Temperature, fuel consumption, exhaust gas components concentration and air excess number in function of engine warming up time. Engine work without load, warming up from the heat storage 30 sec before start.

Emission factors: CO 1203 ppm, THC 1052 ppm, NOx 41 ppm, fuel consumption (measurement time 8 min): 140 g

Podobne pomiary przeprowadzono podczas pracy silnika wg cyklu obciążeniowego, gdy w czasie 30 sekund po rozruchu silnik pracował bez obciążenia, następnie z obciążeniem 30Nm / 2500min<sup>-1</sup>.

Podczas nagrzewania silnika bez użycia akumulatora ciepła uzyskano następujące wskaźniki emisji: CO 2491ppm, THC 1122ppm, NOx 274ppm oraz zużycie paliwa (czas pomiaru 6 min): 275g.

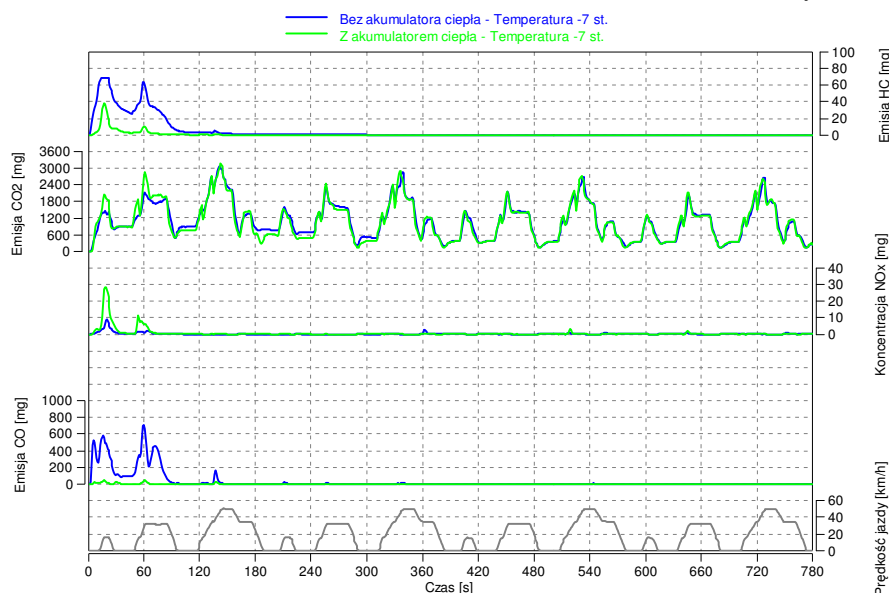
Podczas nagrzewania silnika z użyciem akumulatora ciepła włączonym w chwili uruchomienia silnika uzyskano następujące wskaźniki emisji: CO 1566ppm, THC 729ppm, NOx 208ppm, a zużycie paliwa (czas pomiaru 6 min): 251g



Podczas nagrzewania silnika wyposażonego w akumulatora ciepła przed rozruchem wskaźniki emisji wynosiły: CO 1311ppm, THC 486ppm, NO<sub>x</sub> 243ppm, a zużycie paliwa (czas pomiaru 6 min): 255g.

## 2.2 Badania pojazdu wyposażonego w układ odzyskiwania ciepła na hamowni podwoziowej

Badania zrealizowano zgodnie z wymaganiami testu UDC na hamowni podwoziowej w IBiRM „BOSMAL”. Badania wykonano w warunkach normalnych ( $t_{otocz.} = 24^{\circ}\text{C}$ ) oraz w komorze klimatycznej w temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$ . Przed każdym z testów samochód wraz z układem odzyskiwania ciepła był kondycjonowany przez 12godzin w docelowej temperaturze ( $-7^{\circ}\text{C}$  lub  $+24^{\circ}\text{C}$ )



Rys. 2.2.1. Emisja składników spalin w teście UDC, próba VI. Wskaźniki emisji: CO 1203 ppm, THC 1052 ppm, NO<sub>x</sub> 41 ppm, zużycie paliwa (czas pomiaru 8 min): 140 g

Fig. 2.2.1. Exhaust gas components emission during UDC test, probe VI. Emission factors: CO 1203 ppm, THC 1052 ppm, NO<sub>x</sub> 41 ppm, fuel consumption (measurement time 8 min): 140 g

Akumulator ciepła umieszczono w przedniej części komory silnikowej, w przestrzeni pomiędzy zde-rzakiem przednim a silnikiem. Taki sposób umieszczenia akumulatora ciepła nie miał wpływu na zmianę funkcjonowania zespołu napędowego pojazdu i jego osprzętu. Ponadto akumulator był chroniony przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz przed bezpośrednim wpływem czynników atmosferycznych, w tym również czynników wynikających z ruchu pojazdu.

Tabela 2.2.1. Wyniki badań w teście UDC  
Table 2.2.1. Results of the UDC test

Emisja składników spalin i zużycie paliwa w teście UDC FIAT PANDA 1,2 8V MPI					
Warunki badań	Emisja w fazie UDC [g/km]				Zużycie Paliwa [l/100km]
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	
Bez akumulatora ciepła 24 <sup>o</sup> C	0,511	0,118	0,063	169,4	7,15
	0,399	0,107	0,082	172,7	7,29
Z akumulatorem ciepła 24 <sup>o</sup> C	0,314	0,082	0,082	164,7	6,94
	0,192	0,122	0,083	164,0	6,91

Elektroniczny sterownik systemu odzyskiwania ciepła umieszczono we wnętrzu pojazdu. Zamontowany system układu odzyskiwania ciepła działa samoczynnie i nie wymaga jakiegokolwiek obsługi przez kierującego pojazdem. W wyniku przeprowadzonych badań pojazdu wyposażonego w akumulator ciepła stwierdzono, że zastosowanie systemu odzyskiwania ciepła prowadzi do istotnego zmniejszenia emisji: CO i HC jak również do zmniejszenia zużycia paliwa zarówno dla w teście przeprowadzonym w temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$  jak i w temperaturze  $+24^{\circ}\text{C}$ . Jednocześnie stwierdzono niewielkie zwiększenie emisji NO<sub>x</sub>.

Tabela 2.2.2. Wyniki badań w teście UDC  
Table 2.2.2. Results of the UDC test

Emisja składników spalin i zużycie paliwa w teście UDC FIAT PANDA 1,2 8V MPI					
Warunki badań	Emisja w fazie UDC [g/km]				Zużycie Paliwa [l/100km]
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	
Bez akumulatora ciepła -7 <sup>o</sup> C	6,542	1,133	0,046	204,7	9,17
	6,750	1,246	0,038	209,5	9,40
Z akumulatorem ciepła -7 <sup>o</sup> C	0,329	0,143	0,104	201,6	8,50
	0,362	0,158	0,121	203,2	8,57

### 3. Podsumowanie

Pierwsza grupa wniosków dotyczy stanowiskowych badań hamownianych, w których jednoznacznie stwierdzono celowość stosowania systemu odzysku energii z układu chłodzenia silnika i użycia jej podczas zimnego rozruchu i w fazie nagrzewania się silnika, zaproponowanego w realizowanym projekcie. W tych badaniach wykazano wpływ doprowadzonego do silnika ciepła na zmniejszenie zużycia paliwa. Dla rozpatrywanych w projekcie sposobów nagrzewania silnika, zużycie paliwa w tym okresie było o ok. 10% mniejsze, niż dla standardowej wersji silnika.

Najważniejsze efekty osiągnięto w sferze zmniejszenia emisji tlenku węgla oraz węglowodorów. Emisja tych składników spalin stanowi poważny problem w rozpatrywanym okresie pracy silnika. Dzięki zaproponowanej metodzie, w rozpatrywanych w projekcie przypadkach, w stosunku do standardowej wersji silnika uzyskano zmniejszenie emisji tlenku węgla od kilku do 50% oraz zmniejszenie emisji węglowodorów o kilkadziesiąt procent. Stwierdzono wprawdzie zwiększenie emisji tlenków azotu, przy czym we wszystkich rozpatrywanych przypadkach stężenie tlenków azotu w spalinach było bardzo małe w stosunku do emisji odpowiadającej pracy nagrzanego silnika i nie przekraczało kilkudziesięciu ppm.

Druga grupa wniosków wynika z badań weryfikacyjnych systemu zaproponowanego w projekcie, przeprowadzonych zgodnie z obowiązującymi procedurami w specjalistycznej placówce badawczej, jaką jest Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL.

System, będący przedmiotem projektu, został zamontowany do samochodu doświadczalnego i poddany badaniom w znormalizowanym teście homologacyjnym UDC przeprowadzonym zgodnie z procedurą w temperaturze + 24°C oraz w tzw. próbie VI testu homologacyjnego, co oznacza realizację testu UDC w temperaturze otoczenia - 7°C.

Te badania weryfikacyjne wykazały jednoznaczną spójność z wynikami uzyskanymi podczas stanowiskowych badań hamownianych. Z uwagi na odmienną procedurę badawczą systemu zabudowanego w pojeździe doświadczalnym, niektóre z wyników są jeszcze bardziej korzystne.

Podczas badań w teście jezdnym UDC wykonanym w temperaturze + 24°C, emisja tlenku węgla była mniejsza o ok. 44%, a emisja węglowodorów o ok. 9%, w stosunku do standardowej wersji pojazdu. Stwierdzono również zmniejszenie zużycia paliwa w całym teście o ponad 4%.

Najlepsze rezultaty osiągnięto podczas badań w teście jezdnym UDC wykonanym w temperaturze otoczenia - 7°C. W stosunku do standardowej wersji pojazdu zanotowano zmniejszenie emisji tlenku węgla o ok. 94%, zmniejszenie emisji węglowodo-

rów o ok. 87% oraz zmniejszenie zużycia paliwa o ok. 8%. (tab.2.2.1 i tab.2.2.2)

Uzyskane rezultaty świadczą o tym, że zaproponowany w projekcie system odzysku ciepła i użycia go podczas zimnego rozruchu i w fazie nagrzewania należy do grupy najbardziej efektywnych metod zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin w rozpatrywanym okresie pracy silnika.

Badania wykazały, że największe efekty zmniejszenia emisji tlenku węgla i węglowodorów zaproponowany system przynosi w zakresie niskiej temperatury eksploatacji pojazdu.

Podobnie jak w badaniach stanowiskowych, również w teście jezdnym UDC stwierdzono wpływ zaproponowanego systemu na niewielki wzrost emisji tlenków azotu, przy czym uzyskane wartości emisji nie są istotne z punktu widzenia norm, obowiązujących w tym zakresie.

Ważnym źródłem wiedzy dotyczącej obszaru, w którym emisja tlenku węgla i węglowodorów jest szczególnie korzystna po zastosowaniu zaproponowanego w projekcie systemu, są tzw. wykresy modalne emisji (rys. 2.2.1). Zawierają one chwilowe wartości emisji składników spalin, przedstawione w funkcji czasu trwania testu UDC. Widać z nich wyraźnie, że największe efekty zmniejszenia emisji tlenku węgla oraz węglowodorów występują w pierwszej części cyklu pomiarowego, co odpowiada mniej więcej pierwszemu 100 sekundom pracy silnika po zimnym rozruchu.

Oprócz wniosków wynikających bezpośrednio z badań doświadczalnych wyciągnięto także wnioski z badań funkcjonalnych oraz inne wnioski natury ogólnej.

Zastosowanie systemu odzysku ciepła nie zakłóca prawidłowego funkcjonowania całego pojazdu. Skuteczność proponowanego rozwiązania jest szczególnie duża we wszystkich wymienionych aspektach podczas eksploatacji pojazdu przy niskiej temperaturze otoczenia.

Ważny jest także fakt wykorzystania energii, która jest rozpraszana do otoczenia przez układ chłodzenia, do celów 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.

### 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 Tech-  
nology

*Dr hab. inż. Marek Brzeżański – Instytut  
Pojazdów Samochodowych i Silników Spa-  
linowych 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 Ka-  
tedrze Silników Spalinowych na Wydziale  
Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.*

