

THE SYSTEM OF SUPERCHARGING FOR THE SPARK-IGNITION ENGINE

Jarosław Mamala, Jerzy Jantos, Sebastian Brol
Krzysztof Malewicz, Andrzej Bieniek

Opole University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering
Department of Road and Agricultural Vehicles

Mikołajczyka 5, 45-271 Opole, Poland

tel./fax +48 77 4006272

e-mail: j.mamala@po.opole.pl, j.jantos@po.opole.pl, s.brol@po.opole.pl

Abstract

The most disadvantageous system of the automobile, because of its damaging influence on environment is powertrain. This notion means engine connection with powertrain, which is very important in respect of ecology and safety. In the matter of safety very important is ability to accelerating with rapid depressed accelerator pedal. This situation takes place during overtaking process, which is caused by driving force deficiency from engine and powertrain mechanical inertia. It has negative influence on overtaking process and also on driving comfort. This phenomenon described in works, mainly come from accumulation of mechanical energy of powertrain.

Numerous research centres in the world have undertaken examinations with an aim of solving this problem. However, a successful solution to this problem has to meet a number of prerequisites of technological and economic nature. The technological ones have to involve the uncomplicated construction while the economic ones are associated with the need for low cost of application of the solution put forward. The latter question is related to meeting numerous conditions and results from the effects of special testing as a result of specific operating conditions of power transmission system. In numerous research centres abroad additional energy sources including plungers or electrical motors are installed in order for the compensation of mechanical inertia.

Another way of compensation for the mechanical inertia of the transmission system is gaining larger momentum from the driving unit at the time of its abrupt acceleration. A successful solution to this problem may lie in the application of an additional boost with surplus charging in the fuel supply system. They analyzed in the paper structure of the system of charging the internal-combustion engine up about the spark ignition in the purpose for the compensation for the shortage of the driving force on wheels of the car and results of preliminary research were presented.

Keywords: combustion engine, powertrain systems, mechanical inertia, charging system

UKŁAD DOŁADOWANIA SILNIKA O ZAPŁONIE ISKROWYM

Streszczenie

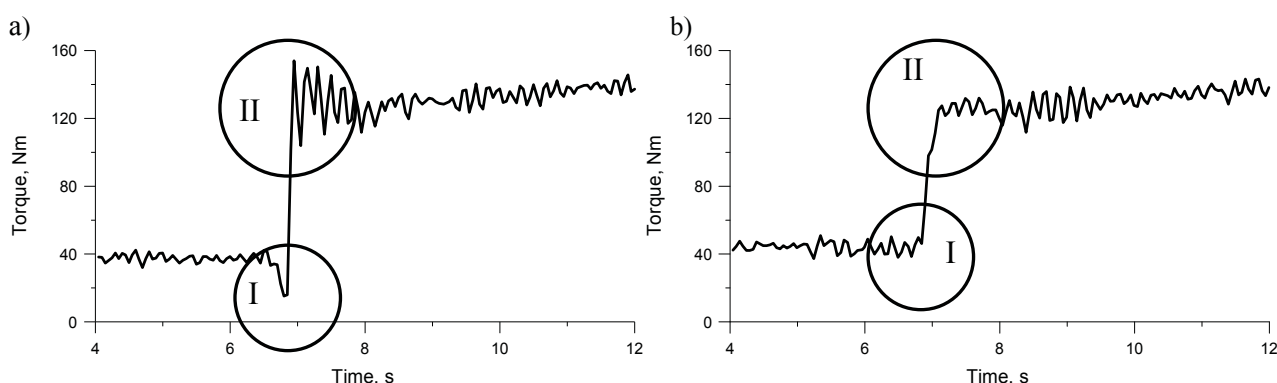
Zdolność do przyspieszenia samochodu osobowego przy gwałtownym wciśnięciu pedału przyspieszenia, jest jednym z czynników wpływających na bezpieczeństwo kierującego i pasażerów. Sytuacja ta zakłóca przebieg siły napędowej w układzie napędowym doprowadzając do chwilowego jego niedoboru. Powstający wówczas niedobór siły napędowej wynika głównie z bezwładności mechanicznej całego układu napędowego, rozumianego jako połączenie silnika i układu przeniesienia napędu. Zjawisko to opisywane w wielu pracach, wynika głównie z akumulacji energii mechanicznej układu napędowego.

W celu rozwiązania tego problemu, w samochodzie osobowym instalowane są dodatkowe źródła energii np. bezwładniki czy silniki elektryczne. Innym sposobem pozwalającym na rozwiązanie tego problemu jest pozyskanie większego momentu obrotowego z jednostki napędowej samochodu osobowego w chwili jego gwałtownego przyspieszenia. Skutecznym rozwiązaniem w takim przypadku może być zastosowanie w układzie zasilania silnika spalinowego dodatkowego doładowania świeżym ładunkiem. W referacie przeanalizowano konstrukcję układu doładowania silnika spalinowego o zapłonie iskrowym w celu kompensacji niedoboru siły napędowej na kołach samochodu oraz przedstawiono wyniki wstępnych badań.

Słowa kluczowe: doładowanie zasobnikowe, zdolność przyspieszania, silnik spalinowy

1. Wprowadzenie

Zdolność do przyspieszenia samochodu osobowego przy gwałtownym wciśnięciu pedału przyspieszenia, jest jednym z czynników wpływających na bezpieczeństwo kierującego i pasażerów. Sytuacja ta zakłóca przebieg siły napędowej w układzie napędowym doprowadzając do chwilowego jego niedoboru. Powstający wówczas niedobór siły napędowej wynika głównie z bezwładności mechanicznej całego układu napędowego, rozumianego jako połączenie silnika i układu przeniesienia napędu. Zjawisko to opisywane w wielu pracach, wynika głównie z akumulacji energii mechanicznej układu napędowego. W wyniku akumulacji energii w pierwszym okresie procesu przyspieszania doprowadza do spadku siły napędowej a następnie po gwałtownym przyspieszeniu, w okresie drugim doprowadza powstania nadwyżki siły napędowej na kołach (rys. 1).



Rys. 1. Przebieg momentu w układzie napędowym po gwałtownym wciśnięciu pedału przyspieszenia: a) tradycyjnie sterowana przepustnica, b) elektroniczna przepustnica

Fig. 1. Powertrain torque output after rapid and full accelerator pedal depressing: a) with conventional throttle steering, b) with ETC

Zjawisko to można ograniczyć przez coraz to powszechnie stosowanej elektronicznej przepustnicy. Jak wykazały badania [4, 5, 7, 8, 10], związane z optymalizacją procesu uchylenia przepustnicy w kolektorze dolotowym (rys. 1b) może doprowadzić do zmniejszenia tego niekorzystnego niedoboru siły napędowej. Takie rozwiązanie powoduje zmniejszenie amplitudy drgań siły napędowej w układzie napędowym, co przyczyni się do poprawy komfortu jazdy takim samochodem osobowym, brak szarpnięć a jednocześnie nie prowadzi do zauważalnego pogorszenia dynamiki wzdłużnej samochodu [11, 12]. Tym niemniej jednak ograniczenie ruchu przepustnicy nie kompensuje powstającego niedoboru siły napędowej w skutek wzrostu prędkości obrotowej silnika spalinowego i układu przeniesienia napędu, przez wzrost bezwładności mas wirujących. Rozwiązanie tego problemu związanego z przejściowym niedostatkiem siły napędowej przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa kierujących samochodem. Umożliwi również szczególnie w przypadku automatycznych układów przeniesienia napędu formułowanie nowych algorytmów sterowania zespołem napędowym.

2. Doładowanie silnika spalinowego

Na świecie w wielu ośrodkach naukowo-badawczych prowadzone są badania nad rozwiązaniem tego problemu [3, 4, 5, 6, 13]. Jednak skuteczne rozwiązanie tego problemu musi spełniać szereg warunków, m.in. technologicznych i ekonomicznych. Technologicznych związanych prostą konstrukcją oraz ekonomicznych polegających na niskich kosztach eksploatacji proponowanego rozwiązania.

W celu rozwiązania tego problemu, w samochodzie osobowym instalowane są dodatkowe źródła energii np. bezwładniki czy silniki elektryczne. Takie rozwiązanie w literaturze [16, 17]

noszą nazwę układów o zerowej inercji (*ZeroInertia*) i są w pewnym sensie rodzajem hybrydowych układów przeniesienia napędów. Innym sposobem pozwalającym na tego problemu jest pozyskanie większego momentu obrotowego z jednostki napędowej samochodu osobowego w chwili jego gwałtownego przyspieszenia. Skutecznym rozwiązaniem w takim przypadku może być zastosowanie w układzie zasilania silnika spalinowego dodatkowego doładowania świeżym ładunkiem. W literaturze [2, 13, 14, 15, 18] znanych jest wiele takich układów doładowujących silnik spalinowy w przejściowych jego stanach pracy, począwszy od układów doładowujących o charakterze ciągłym (np. układy sprężarkowe) czy układy zasobnikowe (np. doładowanie podtlenkiem azotu).

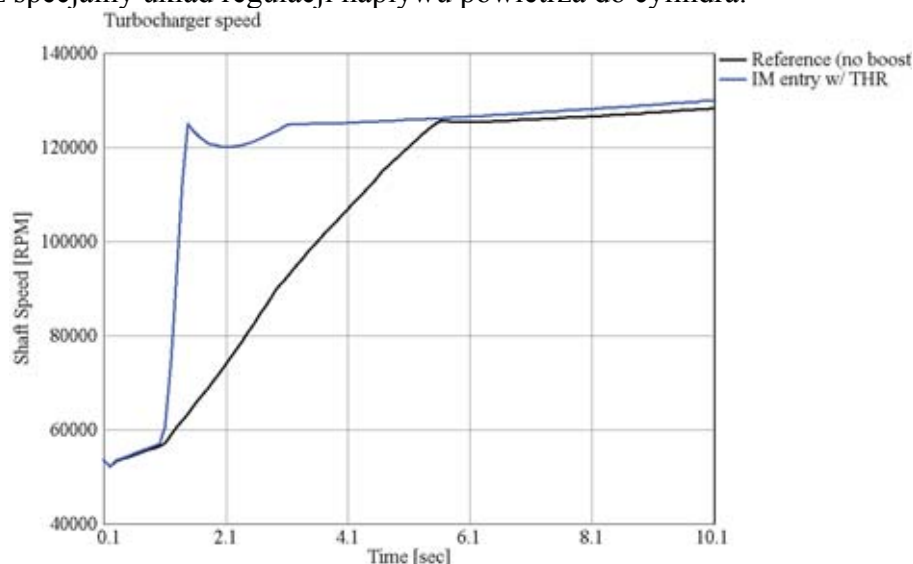
Wspomniane układy pomimo ich powszechnego wykorzystania w zasilaniu silników spalinowych, cechuje szereg ograniczeń i wad, a ponadto nie jest to rozwiązanie tanie i proste w konstrukcji. Jedną z poważnych wad jest niedostawanie wydajności turbiny do prędkości obrotowej (za dużo powietrza przy dużych prędkościach obrotowych silnika a za małej prędkości) oraz efekt tzw. turbodziury. Stąd działania w zakresie budowy turbosprężarek można podzielić na trzy kategorie charakteryzujące się:

- zmienną charakterystyką turbosprężarki,
- układy kombinowane,
- łączenie turbosprężarek w stopnie.

Układem przyszłościowym, nad którym pracuje się w wielu ośrodkach badawczych, jest E-zmacniacz (E-booster), który przy małej prędkości turbiny wspomaga ją w procesie przyspieszania, w innym przypadku turbina pracuje jako generator prądu ładując baterie [2, 14].

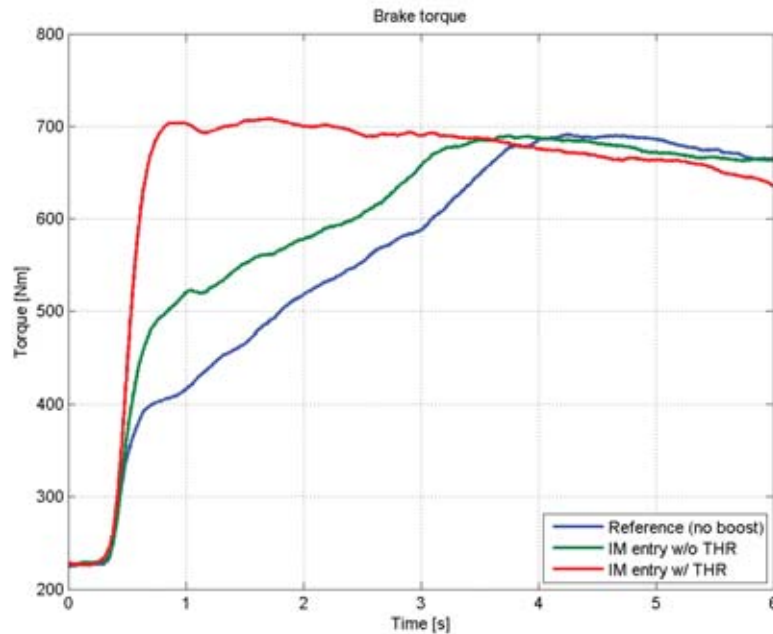
Wadą tego rozwiązania jak i każdej innej turbosprężarki, jest to że posiadają one pewną bezwładność, która wymaga dodatkowej energii w celu jej pokonania.

W pracy [6] do rozwiązania tego problemu zastosowano układ kombinowany składający się z turbosprężarki oraz zasobnika z sprężonym powietrzem. W chwili gwałtownego przyspieszenia, gdy brakuje powietrza w kolektorze dolotowym, doprowadza się dodatkowe powietrze z zasobnika przez specjalny układ regulacji napływu powietrza do cylindra.



Rys. 2. Porównanie prędkości obrotowej turbosprężarki [6]
 Fig. 2. Comparison results of turbocharger speeds

W ten sposób uzupełnia się niedobór powietrza zasysanego przez cylinder silnika, stąd w procesie spalania otrzymujemy większy moment na silniku i większą energię spalin, która służy do szybszego rozpędzenia turbosprężarki (rys. 2). Maksymalna wydajność turbosprężarki osiągnięta została w tym przypadku o około 3,5s wcześniej w porównaniu z tradycyjnym układem turbosprężarki. Szybsze obroty turbosprężarki wpływają korzystnie na również na moment obrotowy osiągnięty przez silnik, co zostało przedstawione na rysunku 3.



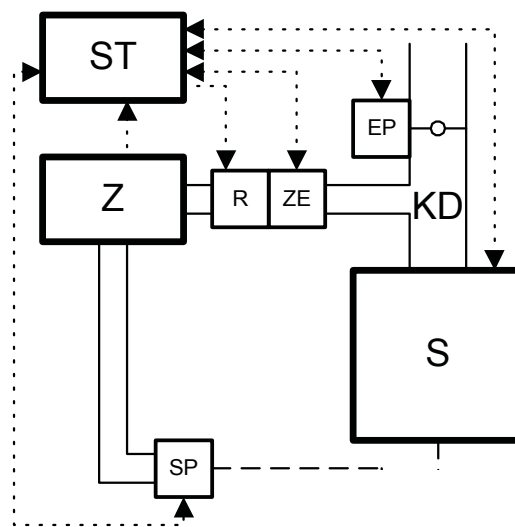
Rys. 3. Porównanie przebiegu momentu obrotowego silnika z turbosprężarką i układem doładowania
 Fig. 3. The comparison of the engine rotational torque for turbocharger and supercharging system

Takie rozwiązanie doprowadziło do osiągnięcia szybszej stabilnej wartości momentu obrotowego. Jednak w przypadku silników o zapłonie iskrowym ilość doładowanego powietrza musi być ściśle kontrolowana z powodu możliwości wystąpienia nieprawidłowego procesu spalania w cylindrze, w postaci wystąpienia spalania stukowego. Jednym ze sposobów uniknięcia tego zjawiska jest obniżenie temperatury ładunku powietrza zasysanego przez silnik. W układach wyposażonych turbosprężarki w tym celu stosuje się chłodnice powietrza, takie rozwiązanie jest celowe w przypadku układu doładowania o charakterze ciągłym. Tymczasem jak wynika z prac [6, 11, 12, 13] chwilowy niedobór siły napędowej jest krótko trwały i np. dla prędkości około 2000 obr/min daje mniej niż 0,4 s i trwa około ośmiu cykli pracy silnika. Skutecznym rozwiązaniem mogącym rozwiązać niedobór siły napędowej jest zastosowanie układu doładowania zasobnikowego o charakterze krótkotrwałym.

3. Doładowanie zasobnikowe silnika o zapłonie iskrowym

Jednakże sposoby doładowania umożliwiające zastosowanie w silniku o zapłonie iskrowym są ograniczone ze względu na konstrukcyjne możliwości silnika oraz ograniczenie spowodowane wystąpieniem zapłonu mieszanki paliwowo powietrznej w kolektorze dolotowym. Innego rodzaju przeszkodą w stosowaniu doładowania silnika o zapłonie iskrowym jest możliwość wystąpienia spalania detonacyjnego w cylindrze. Taki rodzaj przebiegu zapłonu jest co najmniej niekorzystny, ze względu na możliwość uszkodzenia mechanicznego silnika. Poniższy opis przedstawia system doładowania silnika o zapłonie iskrowym przedstawiony na rysunku 4. W układzie do doładowania silnika o zapłonie iskrowym zastosowano zasobnik **Z** sprężonego powietrza w którym utrzymuje się ciśnienie na poziomie co najmniej 160 atmosfer. Sterownik **ST** połączony jest z zasobnikiem **Z**, z reduktorem ciśnienia **R** i z zaworem elektromagnetycznym **ZE** oraz z elektroniczną przepustnicą **EP** i z silnikiem samochodu **S**. Do sterownika **ST** przekazuje się na bieżąco informacje o chwilowych warunkach układu doładowania, a w szczególności: wartości ciśnienia i temperatury powietrza w zasobniku **Z**, wartość ciśnienia powietrza na wyjściu reduktora **R**, wartości prędkości obrotowej silnika **S** i jego obciążenia, wielkość uchylenia przepustnicy elektronicznej **EP** oraz wartość prędkości liniowej samochodu.

Gdy zachodzi potrzeba nagłego zwiększenia momentu obrotowego i mocy silnika **S** o zapłonie iskrowym, gwałtownie wciska się pedał przyspieszenia, a wartość przyspieszenia przekazuje do sterownika **ST**. W chwili gwałtownego zwiększenia momentu obrotowego silnika **S** elektronicznie określa się warunki doładowania, a w szczególności ustawia się ciśnienie dodatkowego powietrza sprężonego w zasobniku **Z** na wyjściu reduktora **R** i wyjściu zaworu elektromagnetycznego **ZE** przy ściśle określonym czasie doładowania i stopniu otwarcia przepustnicy elektronicznej **PE**. Jednocześnie z gwałtownym przyspieszeniem silnika **S** doprowadza się dodatkowe powietrze sprężone, korzystnie pod ciśnieniem około 200 atmosfer z zasobnika **Z** do kolektora dolotowego **KD** silnika **S** poprzez reduktor ciśnienia **R** i zawór elektromagnetyczny **ZE** aż do skompensowania bezwładności mechanicznej silnika **S** i układu napędowego **UN** przy ograniczeniu dopływu powietrza z otoczenia. Na czas doładowania silnika **S** dodatkowym powietrzem sprężonym w zasobniku **Z** ogranicza się dopływ powietrza z otoczenia za pomocą elektronicznej przepustnicy **EP**. Doprowadzenie sprężonego powietrza z zasobnika **Z** następuje w chwili, gdy silnik **S** zaczyna dopiero zwiększać swoją prędkość obrotową, wskutek czego zwiększa się bezwładność mas wirujących silnika **S**, a tym samym zwiększa się moment oporowy silnika **S**. Doładowanie silnika **S** sprężonym powietrzem w chwili rozpędzania powoduje wzrost stopnia sprężenia mieszanki paliwo-powietrznej w cylindrze, przez zwiększenie koncentracji mieszanki paliwowo-powietrznej, a tym samym wzrost ciśnienia spalania. Spadek temperatury w kolektorze dolotowym **KD** silnika **S** wywołany przez rozprężające się powietrze z zasobnika **Z** zwiększa ilość powietrza w kolektorze dolotowym **KD**, co wymusza konieczność doprowadzenia skorygowanej, zwiększonej dawki paliwa. Wzrost stopnia sprężania powietrza w cylindrze przy zwiększonej dawce paliwa w chwili gdy ma on przyspieszyć, skutkuje wzrostem momentu obrotowego i mocy silnika **S** jeszcze w fazie gdy silnik **S** nie przyspieszył. Po skompensowaniu bezwładności mechanicznej silnika **S**, silnik **S** zasilany jest samoczynnie powietrzem z otoczenia.



Rys. 4. Schemat ideowy doładowania zasobnikowego
Fig. 4. The schematic diagram of supercharging the air magazine

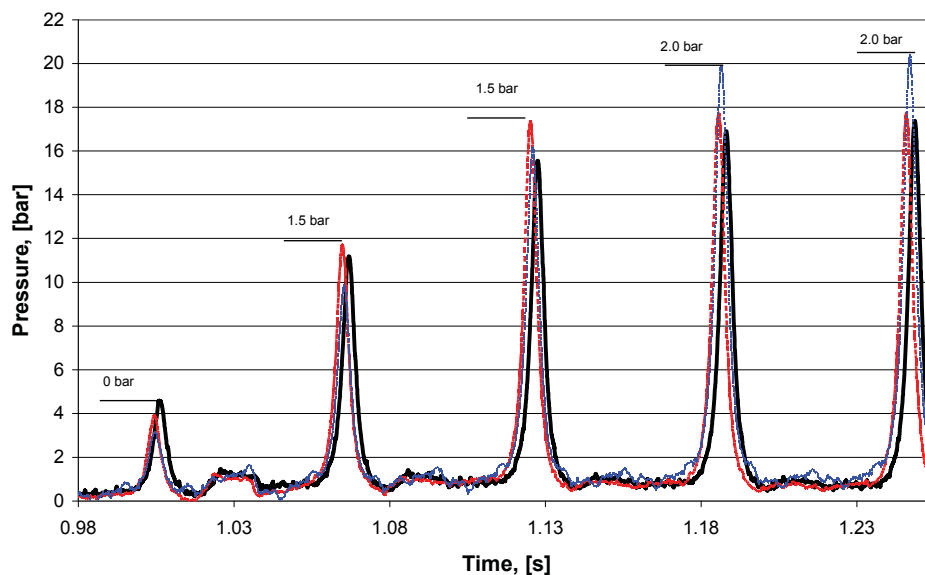
W celu przeprowadzenia badań podstawowych, wykorzystano silnik 188A5000 z samochodu Fiat Punto II, który jest zainstalowany na hamowni silnikowej Politechniki Opolskiej. W silniku tym przeprowadzono modyfikacje układu zasilania silnika przez wykonanie specjalnego króćca doprowadzającego sprężone powietrze z zasobnika (rys. 5) przez zespół reduktorów z elektromagnetycznym wtryskiwaczem. Takie rozwiązanie gwarantuje najmniejsze nagrzewanie się powietrza doładowującego. Modyfikacji również poddano układ elektronicznie sterowanej przepustnicy, tak aby można było ją sterować bez ograniczeń a jednocześnie podłączono ją pod system sterowania hamownią i wtryskiwaczem powietrza z zasobnika.



Rys. 5. Zmodyfikowany układ dolotowy
Fig. 5. Modified intake system

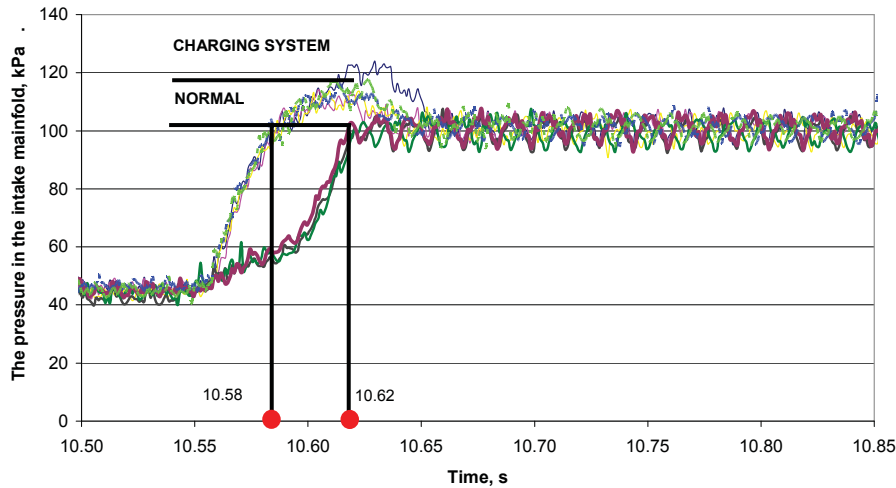
4. Badania własne

Na rysunku 6 przedstawiono wybrane zarejestrowane charakterystyki zmian ciśnienia wewnątrz cylindra dla silnika nie pracującego przy 2000 obr/min. Wpływ doładowania zasobnikowego na napelnienie cylindrów świeżym ładunkiem określono w stosunku do ciśnienia zarejestrowanego dla silnika niedoładowanego, przy gwałtownym uchyleniu przepustnicy od wartości minimalnej 0% do wartości maksymalnej 100% (linia czarna ciągła, 0 bar). W wyniku gwałtownego uchylenia przepustnicy w kolektorze dolotowym, ciśnienie w cylindrze wzrosło 4,6 krotnie w ciągu 0,3s, a silnik wykonał w tym czasie pięć cykli pracy. Podobna sytuacja wystąpiła przy doładowaniu ciśnieniem 0,15 MPa (linia cienka czerwona, 1,5 bar), nie uzyskano znacznie większego napelnienia ale po okresie doładowania ciśnienie końca sprężania w cylindrze wzrosło o około 24 %. Maksymalny wzrost wartości ciśnienia sprężania o około 60 % zanotowano dla próby doładowania ciśnieniem 0.3 MPa (linia cienka niebieska przerywana).



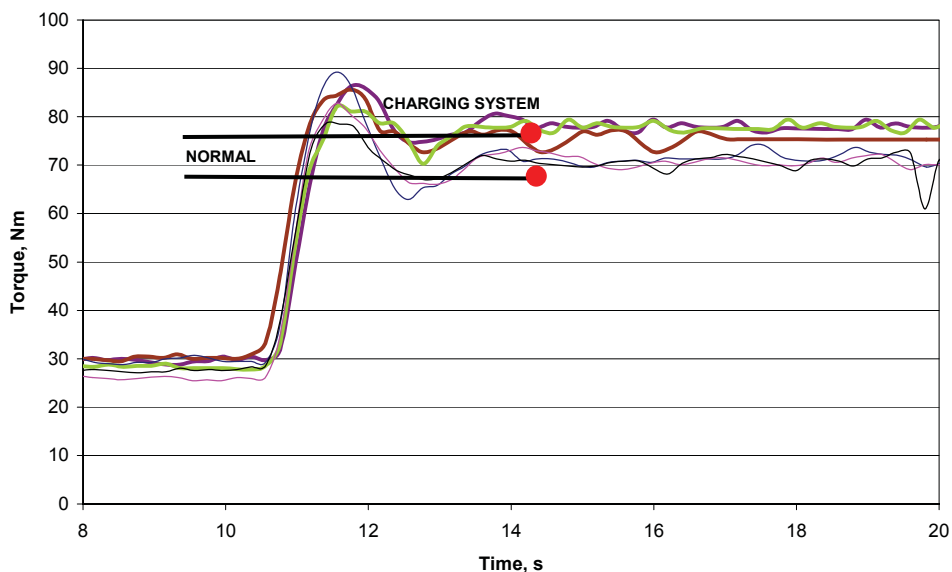
Rys. 6. Przebieg zmian ciśnienia sprężania w cylindrze w czasie dla trzech różnych sposobów zwiększenia napelnienia
Fig. 6. Changes of compression pressure in cylinder vs. time for three different ways of the filling enlargement

Taki przebieg procesu napelnienia powinien wpłynąć na przebieg procesu spalania i osiągnąć odmienny przebieg siły napędowej w normalnych warunkach pracy. Poniżej na rysunkach 7 i 8 przedstawiono przebieg ciśnienia w kolektorze dolotowym, na fabrycznym czujniku ciśnienia, dla różnych ciśnień doładowania. Mimo, iż zastosowano różne ciśnienia doładowania to przebieg ciśnienia w kolektorze jest podobny i osiąga znacznie szybciej wartości maksymalne.



Rys. 7. Przebieg ciśnienia w kolektorze dolotowym podczas doładowania
 Fig. 7. Pressure changes in intake manifold during supercharging

Bardziej dynamicznie przebiegający proces doładowania świeżym ładunkiem (rys. 7), nie bez znaczenia pozostał na wytworzony moment obrotowy silnika zmierzony na wale napędowym hamowni. Na rysunku 8 przedstawiono przebieg tego momentu. Linia pogrubioną zaznaczono pomiary dla doładowania silnika różnym ciśnieniem. W wyniku doładowania tego silnika zaobserwowano około 10% wzrost momentu.



Rys. 8. Przebieg momentu obrotowego silnika podczas gwałtownego uchylenia przepustnicy
 Fig. 8. Torque changes during rapid change of throttle angle

4. Podsumowanie

Z badań wstępnych wynika, iż zasilanie silnika sprężonym powietrzem z zasobnika korzystniej wpływa na napełnienie silnika. Osiągane są wyższe wartości ciśnienia w cylindrze, których wartość zależy od ciśnienia doładowania ustawionego na wtryskiwaczu powietrza. Opracowana i przedstawiona metoda doładowania silnika spalinowego powietrzem jest przykładem nowego podejścia do tego problemu. Jednak wymaga rozwiązania wielu problemów spośród których należy zwrócić uwagę na doboru objętości zasobnika i ciśnienia w części wysokociśnieniowej układu, ciśnienia i temperatury powietrza zasilającego silnik, wpływu wzrostu ciśnienia na możliwość wystąpienia spalania stukowego, co wymaga kontynuowania badań z wykorzystaniem już pracującego silnika.

Acknowledgement

The hereby scientific study was financed with funds of Polish State Committee for Scientific Research in years 2005 – 2008 as a research project.

References

- [1] Bielaczyc, P., Merkisz, J., *Cold Start emissions Performance towards Euro 3 and Euro 4*, EAEC European Automotive Congress, Vehicle Systems Technology for the Next Century, Barcelona, pp. 119-128, 1999.
- [2] Bernhardt, M., Dobrzyński, S., Loth, E., *Silniki samochodowe*, WKŁ Warszawa 1988.
- [3] Constancis, P., Leorat, F., *Global Powertrain Control*, FISITA'98, No. F98P506, 1998.
- [4] Deneuille, C., Streib, H. M., *Electronic throttle control: contribution in engine management systems*, 5th International Congress EAEC, Strasbourg, No. SIA 9506A29 1995.
- [5] Gerhardt, J., Benninger, N., Heb, W., *Torque-based system structure of an electronic engine management system (ME7) as a new base for drivetrain systems*, FISITA'98, No. F98T624, 1998.
- [6] Németh, H., Ailer, P., Palkovics, L., *Diesel engine response improvement by compressed air charging*, EAEC, Budapest, No. PT02-2, 2007.
- [7] Jantos, J., Korniak, J., Mamala, J., Siłka, W., *Driveability and fuel consumption improvement through integrated fuzzy logic control of powertrain with spark ignition engine and continuously variable transmission*, FISITA World Automotive Congress, Barcelona, No. F2004F414, 2004.
- [8] Jantos, J., Mamala, J., *Control of the continuously variable transmission in passenger car*, 5th International Workshop on Research and Education in Mechatronics 2004, Cedzyna 2004.
- [9] Jantos, J., Mamala, J., *Stanowiskowy symulator obciążenia drogowego silnika*, Teka Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN oddział w Krakowie, Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych, Kraków, t.18, pp. 113-119, 1999.
- [10] Mamala, J., *Proces sterowania mocą a wskaźniki pracy silnika ZI*, Praca doktorska, Politechnika Opolska, Opole 2002.
- [11] Mamala, J., Jantos, J., *Sterowanie przejściowym stanem pracy samochodowego silnika ZI*, Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Motoryzacyjnej AUTOPROGRES-KONMOT 2002, Pasym, tom 2, pp. 155-162, 2002.
- [12] Mamala, J., Jantos, J., *Sterowanie stopniem zasilania silnika podczas przyspieszania samochodu*, Teka Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN, Zeszyt 26-27, pp. 265-270, 2003.
- [13] Mamala, J., Jantos, J., Bieniek, A., Brol, S., *Compensation of Mechanical Inertia in Passenger Car with Spark Ignition Engine*, EAEC 2007 11 th European Automotive Congress, Budapest, pp. 267, 2007.
- [14] Mysłowski, J., *Doładowanie bezsprężarkowe silników z zapłonem samoczynnym*, WNT Warszawa 1995.
- [15] Siłka, W., *Teoria ruchu samochodu*, WNT Warszawa, 2002.
- [16] Vroemen B., Serrarens A., Veldpaus F., *Hierarchical control of the Zero Inertia powertrain*, JSAE Review 22, pp. 519-521, 2001.
- [17] Serrarens, A. F. A., Veldpaus, F. E., *Powertrain control of a Flywheel Assisted Driveline with CVT*, CVT'99 Congress, Eindhoven, The Netherlands 1999.
- [18] Wendeker, M., *Adaptacyjna regulacja wtrysku benzyny w silniku o zapłonie iskrowym*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 1998.