

LUFT Mirosław¹
 OLSZOWIEC Paweł²

Analiza systemów podnoszących sprawność silników spalinowych

Słowa kluczowe,
 turbocompound,
 sprawność silnika,
 rekuperacja energii

Streszczenie

W artykule przeanalizowano bilans energetyczny oraz wybrane procesy towarzyszące pracy silnika spalinowego pod kątem poprawy jego sprawności. Materiał zawiera także opis systemów opartych o zasadę odzysku energii elektrycznej, cieplnej oraz kinetycznej podnoszących sprawność jednostek spalinowych stosowanych w pojazdach ciężarowych oraz osobowych.

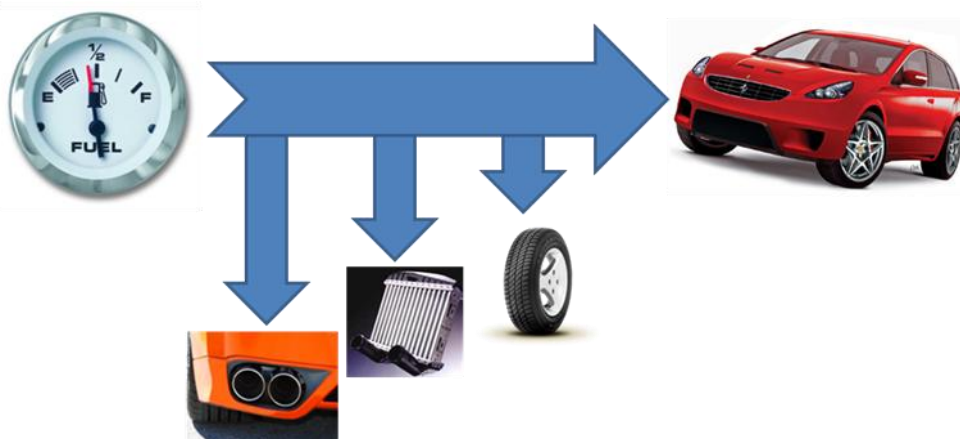
SYSTEMS ANALYSIS OF BOOSTER EFFECTIVENESS PETROL ENGINES

Abstract

The paper analyses energy balance and some selected processes accompanying the I.C. engine's work from the point of view of improving its efficiency. The paper contains also a description of systems based on thermal and kinetic energy recuperation principle improving efficiency of the I.C. engines used in trucks and passenger cars.

1. WSTĘP

Silnik spalinowy tłokowy to maszyna cieplna, która zamienia energię chemiczną paliwa na pracę mechaniczną. Zamiana następuje na skutek spalania mieszanki paliwowo-powietrznej i zmiany parametrów termodynamicznych czynnika roboczego. Przemiany te zachodzą w komorze spalania, stąd też nazwa – silniki o spalaniu wewnętrznym. Niezależnie czy poddając analizie jednostkę o zapłonie samoczynnym czy też iskrowym podobieństwo funkcjonowania silników klasyfikuje ich sprawność na przybliżonym poziomie. Zastosowanie w obu maszynach układu chłodzenia, systemu wylotowego oraz stosowanie podobnych materiałów do wykonania jednostek ukazuje strukturę strat towarzyszących ich pracy.



Rys.1 Poglądowy bilans energetyczny silnika spalinowego [4]

Zewnętrzny bilans cieplny opiera się na pomiarach energii mechanicznej i energii odprowadzanej na zewnątrz przez cieść chłodzącą i spaliny. Równanie bilansu zewnętrznego ma postać:

¹ prof. dr hab. inż. Mirosław Luft, prof. zw., Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki
 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29, m.luft@pr.radom.pl, tel.: 48 361 7010

² mgr inż. Paweł Olszowiec, Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom;
 ul. Malczewskiego 29, p.olszowiec@pr.radom.pl, tel.: 48 361 7736

$$Q = Q_e + Q_{ch} + Q_w + Q_n + Q_r \quad (1)$$

gdzie:

Q – całkowita ilość ciepła doprowadzonego do silnika w ciągu jednej sekundy w J/h

Q_e – ciepło użyteczne, tzn. ilość ciepła zamienionego w ciągu jednej sekundy na pracę użyteczną J/h

Q_{ch} – strata chłodzenia, tzn. ilość ciepła odprowadzonego w ciągu jednej sekundy ze spalin J/h

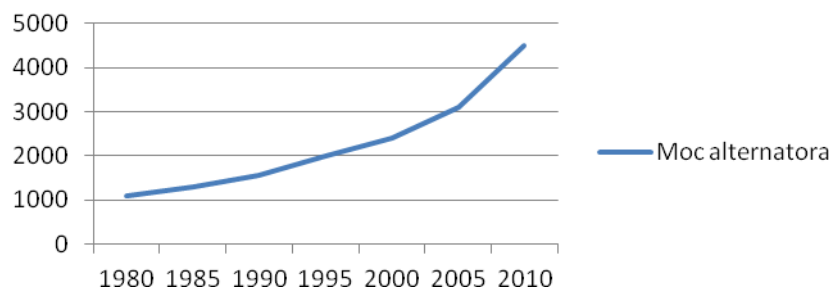
Q_w – strata wylotowa, tzn. ilość ciepła odprowadzonego w ciągu jednej sekundy do czynnika chłodzącego w J/h

Q_n – straty niezupełne, J/h

Q_r – reszta bilansu w J/h

Równoległe wraz z rozwojem elektroniki oraz przyrostem systemów nadzorujących pracę silnika pojazdy samochodowe przybierały na wyposażeniu, które bezpośrednio uzależnione jest od energii elektrycznej. Dlatego też zauważa się, iż rokrocznie zwiększają się generatory mocy w klasycznym pojeździe będące trójfazowymi prądnicami prądu przemiennego PPP (rys.2) . Ich wielkość oraz skuteczność bezpośrednio przekłada się na obciążenie jednostki spalinowej oraz zużycie paliwa.

Moc alternatora



Rys.2 Wzrost mocy PPP na przestrzeni 20 lat [8]

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną na pokładzie współczesnego pojazdu samochodowego bezpośrednio przyczynił się do poszukiwania przez przemysł rozwiązań rekuperacji oraz oszczędności energii. Głównym kierunkiem badań są źródła strat silnika spalinowego, a więc optymalizacja układu chłodzenia, układu wydechowego oraz redukcja strat tarcia jednostek napędowych.

2. ODZYSK ENERGII W PROCESIE HAMOWANIA

Rozwijającą się koncepcją poprawy ogólnej sprawności silnika spalinowego jest metoda odzysku energii elektrycznej podczas procesu hamowania polegająca na przetwarzaniu energii kinetycznej w elektryczną. Jednym z najpopularniejszych takich rozwiązań jest system KERS (kinetic energy recovery system) stosowany w bolidach formuły pierwszej. Odzyskana energia jest magazynowana w zbiorniku (np. koła zamachowego lub baterii) do późniejszego wykorzystania podczas przyspieszania. Zmagazynowana energia pozwala na 5-8 sekundowe zwiększenie mocy w trakcie przyspieszania. System odzyskiwania energii KERS został wykorzystywany do sportów motorowych poraz pierwszy w formule 1 w sezonie 2009. Obecnie chociażby takie koncerny jak Honda czy Volvo są w trakcie opracowywania systemu dla pojazdów drogowych. Po dopracowaniu wielu elementów bezpieczeństwa KERS (Rys.3) ponownie został dopuszczony do sportów motorowych w sezonie 2011.



Rys.3 Budowa systemu KERS [9]

Stricte elektryczne rozwiązanie rekuperacji energii elektrycznej z procesu utraty energii kinetycznej z początkiem roku 2012 zaproponował koncern Mazda w systemie i- ELOOP Intelligent Energy LOOP (Rys.4).

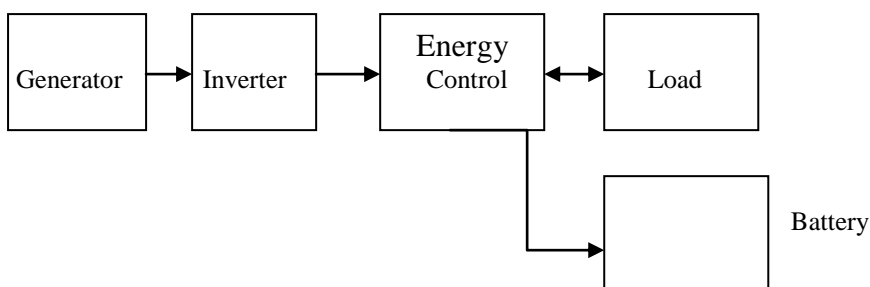


Rys. 4 Super kondensator systemu i-Eloop [10]

Rozwiązanie oparte jest na wykorzystaniu zmiennie napięciowego alternatora oraz super kondensatora. Taka koncepcja pozwala na implementowanie nowego systemu na pokład pojazdu nie generując dodatkowego ciężaru. Proces wytwarzania energii oraz ładowania kondensatora ma miejsce, gdy po odpuszczeniu gazu samochód zaczyna zwalniać. Odzyskana energia będzie służyła do zasilania urządzeń peryferyjnych pojazdu takich jak klimatyzacja czy system audio. Według zapewnień producenta system i- Eloop ma pozwolić na nawet 10% oszczędność paliwa.

3. TIGERS

Turbo-generator Integrated Gas Energy Recovery System jest koncepcją powstałą w 2005 roku przy współpracy firmy Visteon UK oraz University of Sheffield. Ideą projektu jest uzyskanie energii elektrycznej przy wykorzystaniu jednej z największych strat silnika spalinowego czyli gazów spalinowych. Energia kinetyczna przepływających spalin w układzie spalinowym wykorzystywana jest do napędu turbo generatora zlokalizowanego w układzie wydechowym silnika spalinowego. Wysoko obrotowy generator ma za zadanie wspomóc pracę alternatora oraz poprawić bilans energetyczny układu zasilania (rys.5). Prawidłowo skonstruowany układ wylotowy pozwala na optymalne wykorzystanie energii spalin do napędu turbiny spalinowej.

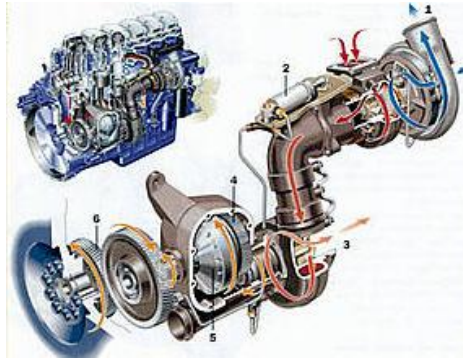


Rys.5 Topologia układu zasilania dla projektu TIGERS [8]

Według zapewnień konstruktorów turbogenerator współpracujący z silnikiem o zapłonie ZI o pojemności 2000 dm³ jest w stanie wygenerować maksymalnie nawet 6kW. Pozwala to w dalszej perspektywie badań postawić tezę zastąpienia dotychczasowego źródła energii elektrycznej pojazdu na turbo generator. Firma Visteon przygotowała także propozycję budowy układu zasilania opartego na urządzeniu TIGERS dla napięcia 340V. Rozwiązanie takie mogło by znaleźć zastosowanie w pojazdach hybrydowych jako element poprawiający bilans energii elektrycznej współpracujący z urządzeniami rekuperującymi energię z siły kinetycznej. Problemami konstrukcyjnymi zastosowania turbo generatora w układzie wylotowym jest zagadnienie chłodzenia oraz smarowania elementu obrotowego.

4. TURBOCOMPOUND

Znany już od czasów II wojny światowej pomysł polegający na odzyskiwaniu części energii ze spalin opatentowany przez naukowców z USA stosowany w jednostkach okrętowych, współcześnie stosowany jest seryjnie w pojazdach użytkowych firmy SCANIA. Klasyczny układ turbocompound zbudowany jest z turbiny i sprężarki. Przy niskich prędkościach obrotowych wału korbowego silnika ciśnienie gazów spalinowych nie jest na tyle wysokie, by pokonać opór zespołu turbosprężarki, co zdecydowanie pogarsza wymianę ładunków i zwiększa zużycie paliwa. Aby uniknąć tego niekorzystnego zjawiska, układ wylotowy uzbraja się w zawór, który w tych niekorzystnych warunkach nie kieruje spalin do turbiny, ale bezpośrednio do tłumików i do otoczenia. Przy wyższych prędkościach obrotowych silnika, wtedy gdy parametry spalin są odpowiednie, wszystko przebiega tradycyjnie tzn. spaliny są kierowane do turbiny (rys.6).



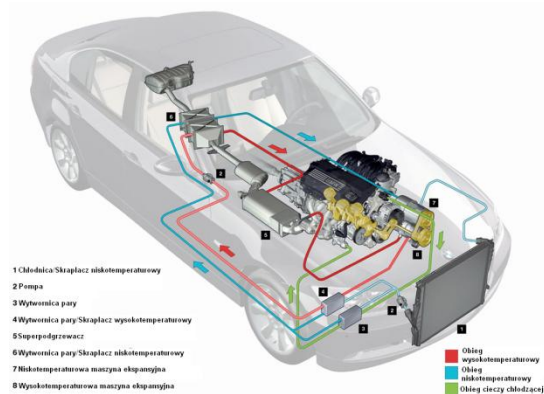
Rys.6 Budowa układu Turbocompound [6]

W układ wydechowy silnika za tradycyjną turbosprężarką wbudowana jest turbina, która poprzez przekładnię i sprzęgło hydrokinetyczne przekazuje moment obrotowy na wał korbowy. Przekazanie energii po przez sprzęgło jest konieczne w celu kompensacji różnicy prędkości obrotowych koła zamachowego i turbiny, która dochodzi do 55 tys. obr./min. Zastosowanie powyższego układu przekłada się na relatywne korzyści które przedstawia porównanie dwóch jednostek ze stajni Scanii. Dwunastolitrowy, sześciocylindrowy silnik Scanii DT-12 wyposażony w Turbocompound ma moc 470 KM i moment obrotowy 2200 Nm, a jego parametry są zbliżone do 16-litrowego, 8-cylindrowego silnika. Dla porównania, bazowa wersja jednostki DT-12, DC-12 generuje 420 KM i 2000 Nm.

Ewolucją projektu compound jest urządzenie opatentowane przez firmę Caterpillar która opracowała prototypowy układ elektrycznego turbo wspomaganie nazywany ETC (Electric Turbocompound Caterpillar) . W skład urządzenia wchodzi sprężarka, turbina oraz wysoko obrotowy generator prądu elektrycznego. Takie połączenie komponentów eliminuje mechaniczne połączenie z wałem korbowym silnika. Wykorzystanie generatora pozwala poprawić wydajność turbosprężarki w zakresie niskich prędkości obrotowych. W chwili gdy ciśnienie gazów spalinowych jest zbyt niskie generator pracuje jako silnik elektryczny napędzając sprężarkę. Sposób ten pozwala na wyeliminowanie efektu „turbo dziury”, a silnik rozwija moc w sposób bardziej płynny. Przy wysokich prędkościach obrotowych wału korbowego, nadwyżki mocy wytwarzane przez turbinę wykorzystywane są do produkcji prądu elektrycznego przez generator.

5. BMW TURBOSTEAMER

To wysoce skomplikowany oraz kosztowny układ oparty na zasadzie działania silnika parowego wykorzystany do podniesienia sprawności klasycznej jednostki spalinowej. W skład systemu wchodzi trzy obiegi z cieczą, dwa wymienniki ciepła oraz element ekspansyjny. Konstruktorzy marki BMW zapewniają, iż powyższy system jest w stanie odzyskać 80% bezpowrotnie dotychczas traconej energii w układzie wylotowym. Wykorzystano w tym celu układ wypełniony wodą, który poprzez wymiennik ogrzewa ją do 550°C, a następnie z postaci parowej przetwarzana jest na energię mechaniczną przekazywaną na wał korbowy. Drugi obieg to układ niskotemperaturowy w którym medium jest etanol odbierający ciepło z układu chłodzenia oraz końca układu wylotowego silnika pracując na średniej temperaturze rzędu 150°C. Pozyskana w ten sposób energia zostaje na podobieństwo pierwszego układu przeniesiona na wał korbowy jednostki spalinowej (rys.7).



Rys.7 Budowa układu BMW Turbosteamer [7]

6. WNIOSKI

Przeprowadzona analiza stanu zaawansowania prac nad systemami podnoszącymi sprawność jednostek cieplnych wskazuje na słuszność prowadzenia badań oraz prac w kierunku rekuperacji energii elektrycznej. Ze względów konstrukcyjnych oraz ekonomicznych celowym wydaje się także ukierunkowanie badań na rozwój projektu wysokoobrotowego turbogeneratora wykorzystującego kinetyczną energię przepływu spalin.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Kozaczewski W.: Konstrukcja grupy tłokowo cylindrowej silników spalinowych. WKiŁ 2010,
- [2] Kowalewicz A.: Doładowanie samochodowych silników spalinowych, Politechnika Radomska 1998,
- [3] Postrzednik S., Żmudka Z.: Termodynamiczne oraz ekologiczne uwarunkowania eksploatacji tłokowych silników spalinowych, Gliwice 2007,
- [4] Dziubański S., Jantos J., Mamala J.: Wykorzystanie energii spalin do napędu turbogeneratora w silniku ZI, Czasopismo Techniczne Politechnika Krakowska 2008,
- [5] Teodorczyk A., Rychter T.: Teoria silników tłokowych, WKiŁ 2006
- [6] www.scania.pl
- [7] www.bmw.pl
- [8] www.visteon.com
- [9] www.fia.com
- [10] www.mazda.com