

TWIN-TURBO TYPE OF SEQUENTIAL SYSTEM OF TURBOCHARGING

Jerzy Jaskólski

*Politechnika Krakowska
Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków
tel.: (012) 628 26 42
e-mail: jaskolsk@usk.pk.edu.pl*

Paweł Mikoda

*Politechnika Śląska
ul. Krasińskiego 8, Katowice*

Abstract

Sequential turbocharging system combines two turbochargers (primary and secondary) in sequence. When the engine is running at low speed, only the primary turbocharger operates. The system then works as a small-capacity and high-response turbocharger to achieve high boost pressure, in spite of using the energy of low flow-rate exhaust gas.

On the other hand, when the engine is running at high speed, both turbochargers operate simultaneously. The system then works as a large-capacity turbocharger to achieve highly efficient turbocharging, since the pulsation of exhaust gas can be effectively utilised in each turbocharger.

This paper presents some aspects of system turbocharger type Twin-turbo of diesel engines on the basis two BMW and OPEL plants.

SEKWENCYJNY SYSTEM DOŁADOWANIA TYPU TWIN-TURBO

Streszczenie

Sekwencyjny system doładowania łączy kolejno dwie turbosprężarki (podstawową i drugorzędna) w Kiedy silnik pracuje na małych prędkościach wolnym, tylko podstawowa turbina pracuje. Cały system wtedy pracuje jako system o małej objętości i turbosprężarka natychmiast odpowiada aby osiągnąć wysoki przyrost ciśnienia, pomimo niskiej energii strumienia spalin.

Z drugiej strony, kiedy silnik pracuje przy dużym obciążeniu i prędkości obrotowej, obie turbosprężarki pracują jednocześnie. System wtedy pracuje jak system o dużej pojemności i sprawności, by uzyskać wysoko skutecznodoładowanie, ponieważ pulsacje spalin mogą być skutecznie wykorzystane w każdej turbosprężarce. Ten artykuł przedstawia kilka aspektów systemu doładowania twin-turbo silników diesla na podstawie dwu wytwórni BMW i OPEL

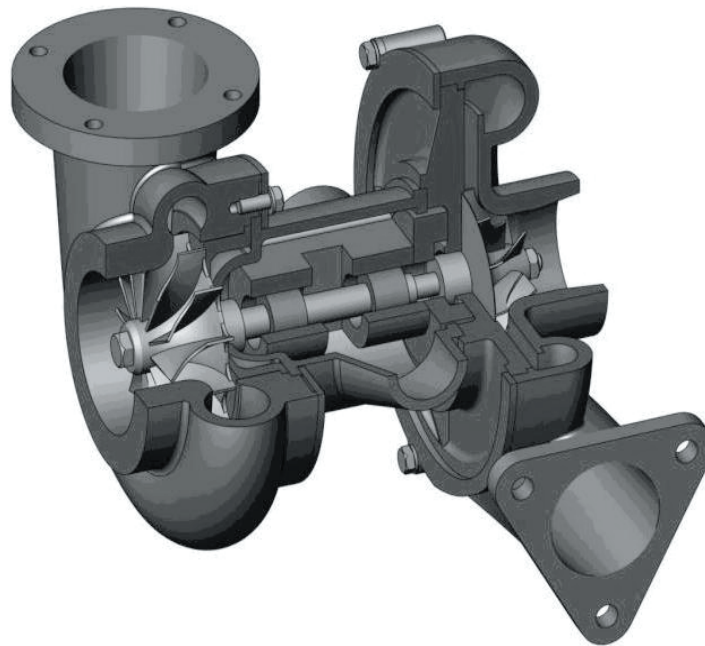
1. Wprowadzenie

Jak wiadomo jedną z istotnych wad tłokowego silnika spalinowego, który od ponad stu lat jest podstawową jednostką napędową pojazdów samochodowych, stanowi niepełne wykorzystanie energii dostarczonej w postaci paliwa. W dzisiejszych czasach nawet najnowsze rozwiązania konstrukcyjne silników spalinowych wykorzystują zaledwie połowę energii dostarczonej w paliwie. Pozostała część emitowana jest do otoczenia jako ciepło. Niebagatelnym jest również fakt, iż energia ta w dzisiejszych czasach staje się coraz bardziej kosztowna, co odczuwają wszyscy użytkownicy pojazdów mechanicznych. Zatem prace nad rozwojem silnika spalinowego, a zwłaszcza prace nad poprawieniem jego sprawności ogólnej mają niezwykle istotne znaczenie dla nas wszystkich. Bowiem wyższa sprawność silnika to mniejsze obciążenie dla naszych portfeli, a także, co nie może pozostawać bez znaczenia,

mniejsze zanieczyszczenie środowiska naturalnego, które i tak jest już mocno obciążone przez ewoluującego człowieka. Dlatego też ze względów zarówno ekonomicznych jak i ekologicznych niezwykle istotnym jest podniesienie sprawności ogólnej silnika.

Jak już niejednokrotnie wspomiano zespołem pozwalającym zwiększyć sprawność ogólną tłokowych silników spalinowych, który to zespół powiązany jest z energią traconą wraz z wylotem gazów, jest turbosprężarka (Rys. 1).

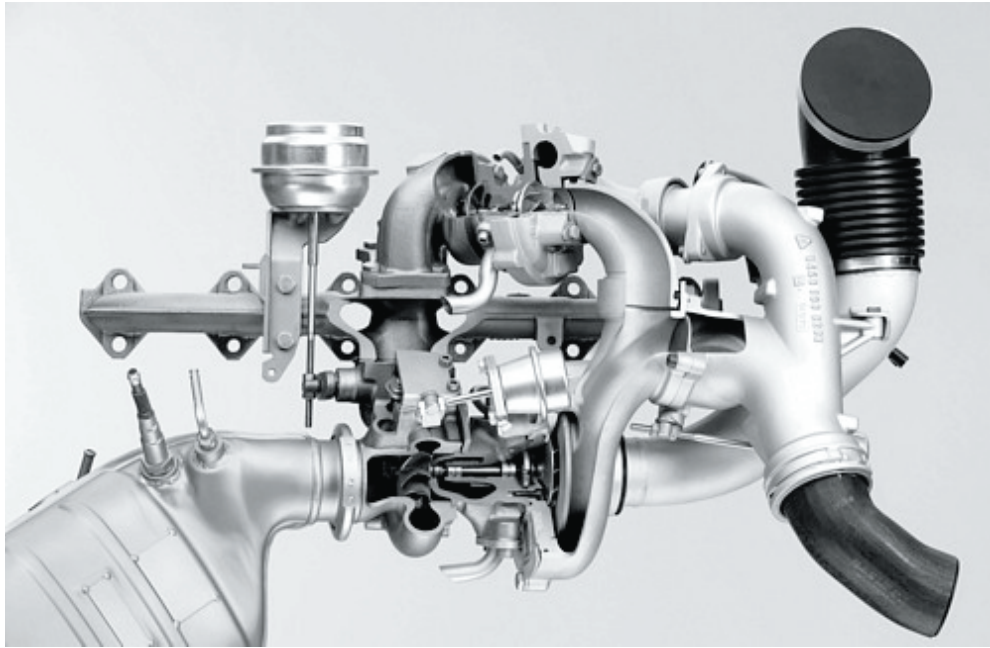
Historia turbosprężarek sięga już 1905 roku, kiedy to szwajcar Alfred BUCHI dla silników diesla opatentował urządzenie, które pozwalało na częściowe odzyskanie utraconej energii. W patencie Szwajcara gazy wylotowe poruszały turbinę połączoną z wałem silnika oraz ze sprężarką łopatkową, która podawała do silnika dawkę powietrza pod zwiększonym ciśnieniem. Rozwiązanie to, choć niedoskonałe na ówczesne czasy, stało się początkiem dzisiejszych technologii turbodoładowania.



Rys. 1. Model CAD przekroju turbosprężarki [5]
Fig. 1. Model CAD section of turbocharger [5]

2. Doładowanie typu twin-turbo

W dzisiejszych czasach prawie każdy nowoczesny silnik wysokoprężny wyposażony jest w turbosprężarkę. Wynika to między innymi z faktu, iż wysoki stopień sprężania silnika o zapłonie samoczynnym sprawia, że do tego celu idealnie nadaje się turbosprężarka, która wykorzystuje dużą energię spalin do zwiększenia ciśnienia powietrza dostarczanego do komory spalania. W turbodoładowanych silnikach o zapłonie samoczynnym w mniejszym stopniu występuje zjawisko tzw. „turbodziury”, które mocno odczuwalne jest w silnikach o zapłonie iskrowym. Poprawę parametrów dynamicznych doładowanego silnika o zapłonie samoczynnym daje również zastosowanie turbodoładowania sekwencyjnego. Istotą turbodoładowania sekwencyjnego jest wykorzystanie dwóch turbosprężarek (może ich być również więcej), z których pierwsza działa w zakresie niskich (uzależnionych od typu konstrukcji silnika) prędkości obrotowych, a druga włącza się do pracy po przekroczeniu pewnego zakresu prędkości obrotowej silnika. Jest to tzw system twin Turbo (Rys. 2.). Turbosprężarki w tym rozwiązaniu w odróżnieniu od systemu doładowania typu biturbo, gdzie każdy rząd cylindrów silnika widlastego wyposażony był w oddzielną sprężarkę, połączone są w sposób równoległy tworząc mały i duży obieg.

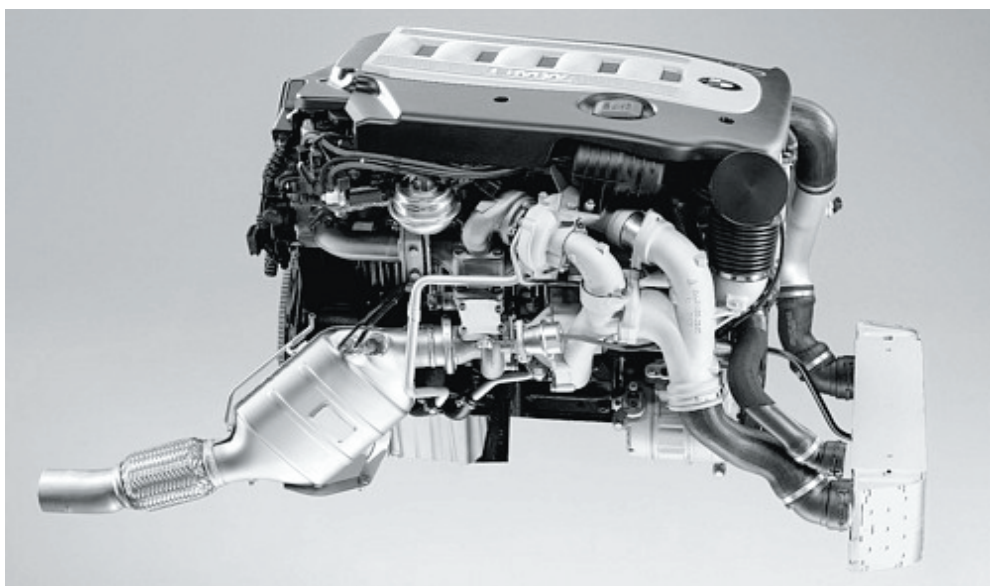


Rys. 2 Widok ogólny systemu doładowania typu twin-turbo [6]
Fig. 2. General view of turbocharging system type Twin-turbo [6]

Nowościami zaprezentowanymi przez znanych producentów samochodów były dwa podobne do siebie rozwiązania doładowania typu twin-turbo zastosowane w silnikach o zapłonie samoczynnym. Rozwiązania te składają się z dwóch turbosprężarek połączonych równoległe, z których mniejsza może zostać odłączona. Sprężarki te w pewnym zakresie prędkości obrotowej mogą pracować również w układzie szeregowym. Ze względu na możliwość różnego rodzaju układu pracy sprężarek układ taki nazywany jest również mieszanym.

2.1. Doładowanie variable twin turbo bawarskiej fabryki silników

System doładowania wykonany przez bawarską fabrykę silników w obecnych czasach znalazł już zastosowanie w samochodach serii 5 (Rys. 3). Nazwano go Variable Twin Turbo

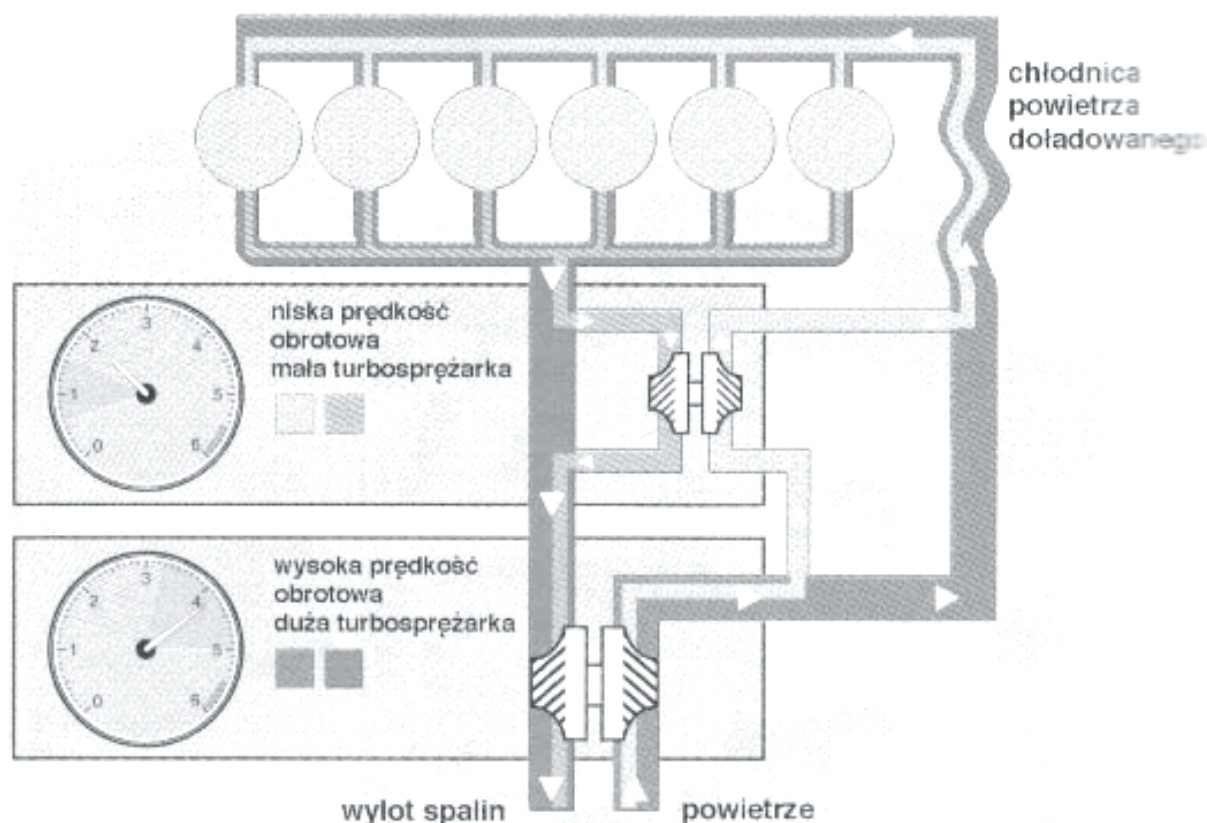


Rys. 3. Silnik BMW z systemem doładowania typu twin-turbo [6]
Fig. 3. BMW engine with turbocharger type twin-turbo [6]

Jednostka napędowa z system doładowania VTT została już sprawdzona podczas ostatniego Rajdu Dakar. Samochód X5 z tą jednostką napędową wygrał w klasyfikacji diesli i zajął 4.miejsce w klasyfikacji generalnej.

Układ sprężarek twin – turbo działa w sposób „inteligentny”. Mianowicie dwie turbosprężarki zamontowane w układzie wydechowym, w zależności od prędkości obrotowej mogą pracować w sposób szeregowy, równoległy lub zupełnie oddzielnie. Mniejsza ze sprężarek, wysokociśnieniowa turbosprężarka pracuje w zakresie niższych prędkości obrotowych silnika (do około 1500 [min⁻¹]). Większa natomiast włącza się do pracy w zakresie średnich prędkości obrotowych. Druga sprężarka początkowo spręża czynnik wstępnie. Układ przełączania sprężarek regulowany jest w sposób elektroniczny przy użyciu między innymi zaworu upustowego i zaworu obejściowego. Po przekroczeniu prędkości obrotowej rzędu 3200 [min⁻¹] doładowywanie realizowane jest jedynie przez większą ze sprężarek, z pominięciem mniejszej. Efektem takiej pracy turbosprężarek jest brak tzw. „turbodziury”.

Poniżej przedstawiono schemat działania systemu Variable Twin Turbo [7]



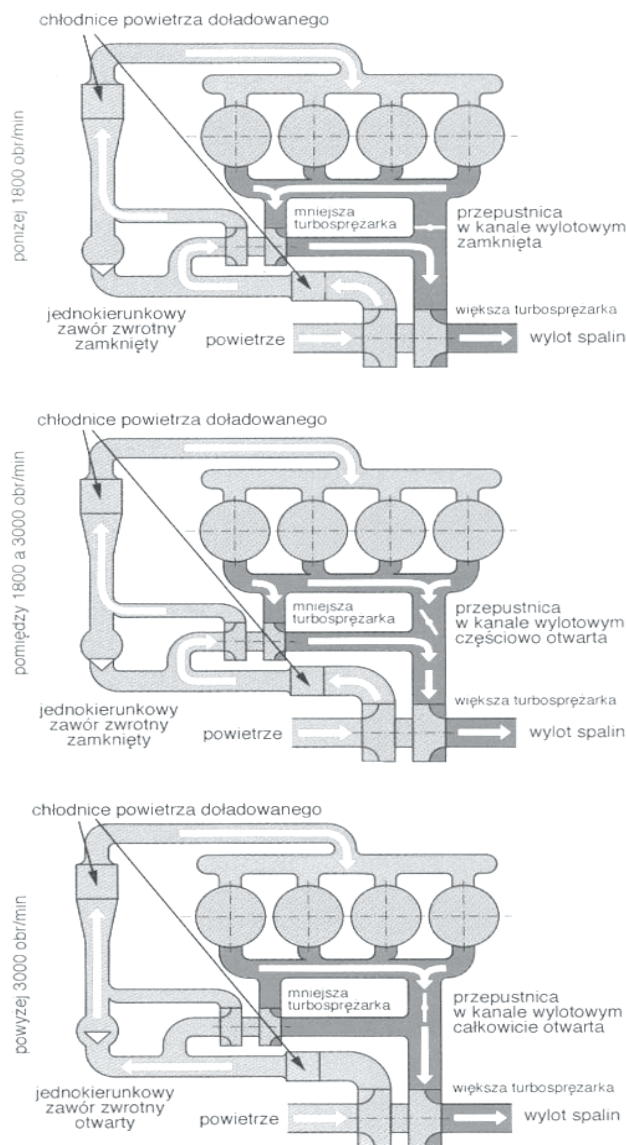
Rys. 4. Schemat działania systemu Variable Twin Turbo
Fig. 4. System Variable Twin Turbo

Podział prędkości obrotowych na przedziały zastosowano ze względu na znaczną maksymalną prędkość obrotową do jakiej może pracować silnik BMW. Wynosi ona bowiem powyżej 5000 [min⁻¹]. Natomiast maksymalną moc wynoszącą około 272 [KM] rozwijana jest przy 4400 [min⁻¹]. Maksymalny moment obrotowy tej jednostki to 560 [Nm] przy 1500 [min⁻¹], a na wolnych obrotach około 300 [Nm]. Przy tych znakomitych osiągnięciach silnik BMW spełnia również normy emisji spalin EURO 4, a zużycie paliwa waha się w przedziale od 8,0 do 8,2 [l/100 km].

2.2. Doładowanie opc firmy Opel

W systemie tym, podobnie jak i w samochodach BMW, w układzie dolotowym zastosowano dwie turbosprężarki. Również podobnie jak i w BMW mniejsza ze sprężarek działa jedynie przy niższych prędkościach obrotowych tj. do około 1800 [min⁻¹]. Ciśnienie robocze mniejszej sprężarki wynosi około 3,2 [bar]. Wykorzystując niewielkie rozmiary, a zatem niewielką bezwładność, reakcja na polecenia kierującego jest natychmiastowa. Po przekroczeniu zakresu prędkości obrotowej wynoszącej 1800 [min⁻¹] otwiera się przepustnica kierując część spalin do drugiej sprężarki. Do około 3000 [min⁻¹] sprężarki pracują razem, a stopień otwarcia przepustnicy zależy od obciążenia silnika. Niezwykle ciekawym jest to, iż zasysane powietrze jest wstępnie sprężone przez większą turbosprężarkę, następnie schłodzone i dodatkowo sprężone przez mniejszą sprężarkę. Powyżej 3000 [min⁻¹], na skutek wyrównania ciśnień roboczych obu sprężarek, otwiera się jednokierunkowy zawór zwrotny. Maksymalnie otwarta jest też przepustnica. Doładowanie realizowane jest więc zatem jedynie przez większą sprężarkę. Parametrami sterującymi jest prędkość obrotowa silnika i jego obciążenie.

Schemat działania systemu doładowania OPC firmy OPEL pokazano poniżej [8]



Rys. 5. Schemat działania systemu doładowania OPC firmy OPEL
Fig. 5. System turbocharging OPC – OPEL

Maksymalna moc jaką może osiągnąć silnik firmy OPEL wynosi około 212 [KM] Natomiast maksymalny moment obrotowy tej jednostki to 400 [Nm] przy 1400 [min⁻¹] aż do 3000 [min⁻¹]. Silnik spełnia również normy emisji spalin EURO 4, a zużycie paliwa wynosi około 6,0 [l/100 km].

3. Podsumowanie

Sekwencyjny system turbodoładowania w połączeniu z bardzo precyzyjnym elektronicznym sterowaniem pozwala na osiągnięcie przez silniki o zapłonie samoczynnym parametrów porównywalnych a nawet przewyższających silniki o zapłonie iskrowym. Co ważne, poprawa wartości użytkowych silników diesla połączona jest z obniżeniem emisji spalin dzięki czemu możliwe jest spełnienie norm EURO 4.

Literatura

- [1] Mysłowski J., *Doładowanie silników*, WKŁ, Warszawa 2002.
- [2] Kordziński Cz., Środulski T., *Silniki spalinowe z turbodoładowaniem*, WNT, Warszawa 1970.
- [3] Wajand J. A., Wajand J. T., *Tłokowe silniki spalinowe – średnio- i szybkoobrotowe*, WNT, Warszawa 1993.
- [4] Wajand J. A., Wajand J. T., *Doładowanie tłokowych silników spalinowych*, WNT, Warszawa 1962.
- [5] Niewiarowski K., *Tłokowe silniki spalinowe Tom I*, WKŁ, Warszawa 1993.
- [6] www.cad.com.pl.
- [7] www.bmw.com.pl.
- [8] Auto Moto Serwis 3/2005.