*Giovanni CIPOLLA*

**PTNSS-2007-SS2-208**

# Silniki o zapłonie samoczynnym w perspektywie rynku globalnego

*W artykule przedstawiono przewidywania na temat rozwoju systemów napędowych pojazdów. W opinii autora, w perspektywie krótko do średniookresowej, silniki spalinowe stanowić będą nadal główną cześć rynku, a udział silników o zapłonie samoczynnym i iskrowym zależeć będzie od uwarunkowań lokalnych. W perspektywie średnio do długookresowej, napędy hybrydowe i ogniwa paliwowe stanowić będą realną alternatywę dla silników konwencjonalnych. Za bardzo korzystne rozwiązanie napędu uznano napęd hybrydowy z silnikiem o zapłonie samoczynnym, z uwagi na potencjał tego silnika w zakresie dalszego zmniejszenia zużycia paliwa oraz poprawy przyjemności z jazdy.*

Słowa kluczowe: *systemy napędowe pojazdów, silniki spalinowe, silniki o zapłonie samoczynnym, napędy alternatywne*

## Diesel perspective in global market vision

*The article describes some predictions with regard to developing trends of automotive propulsion systems. According to the author's opinion, Diesel engines will share with the gasoline one the leadership of the market in the short-to-middle timeframe, with shares depending mainly from regional contingencies. In the middle-to-long timeframe, the hybrid powertrain and fuel cells will became a real alternative option to conventional engine. However, Diesel hybrid powertrain could also became a very interesting opportunity, because the Diesel engine features will further improve the fuel consumption and the fun-to-drive features of hybrid systems.*

Key words: *automotive propulsion systems, internal combustion engines, diesels, alternative powertrains*

## 1. Wprowadzenie

Ewolucja samochodowych układów napędowych w głównej mierze jest stymulowana przez coraz większe, a jednocześnie niekiedy wykluczające się, wymagania w zakresie: osiągów, ochrony środowiska, źródeł energii i jakości. Należy uznać, że rozwój przez „ciągłą ewolucję" jest bardziej zrównoważoną drogą rozwoju niż przez „rewolucję przełomową", jeżeli weźmie się pod uwagę, że rozwój technologiczny w znacznym stopniu zależy od uwarunkowań produkcyjnych. W takim przypadku scenariusze rozwoju układów napędowych pojazdów będą realizowane równolegle, odpowiednio w krótko-, średnio- i długookresowych ramach czasowych, przez doskonalenie konwencjonalnych silników tłokowych, rozwój najkorzystniejszych konfiguracji układów hybrydowych i ostatecznie przez ewolucję ogniw paliwowych.

Udział w rynku obu konwencjonalnych typów silników (ZI i ZS) będzie istotnie zależał od czynników zewnętrznych, takich jak lokalne wymagania lub ograniczenia. Rozwój silników ZS będzie głównie skierowany na obniżenie emisji PM i $NO_x$ oraz poprawę kultury pracy silnika, przy zachowaniu niskiego zużycia paliwa. Bardzo korzystnym rozwiązaniem mógłbybyć silnik ZS w układzie hybrydowym, ponieważ silnik ZS zapewniłby dalsze zmniejszenie zużycia paliwa oraz poprawę przyjemności z jazdy samochodem z napędem hybrydowym.

Następną bardzo istotną kwestią dla producentów branży motoryzacyjnej jest globalizacja i jej wpływ na profil produkcji. Z uwagi na różne scenariusze rozwoju rynków lokalnych GM przyjął taktykę „strategia globalna – realizacja lokalna", zarówno w zakresie rozwoju silnika bazowego, jak i jego integracji z pojazdem.

## 1. Introduction

The evolution of automotive propulsion system will be mainly driven by challenging and conflicting requirements of performance, environment safeguard, energy sourcing and quality. Being the technology development strongly dependent on several industrial constraints, a "steady evolution" is likely to be a more sustainable approach than a "breakthrough revolution". In such perspective the future scenario of automotive propulsion systems will be achieved, in parallel, by further enhancement of "conventional" reciprocating engines, by "best" hybrid configuration development and, finally, by fuel cells evolution, in a short-middle-long timeframe respectively.

Market share of both "conventional" ICE concepts (i.e. Diesel & Gasoline) will strongly depend on external factors, like regional requirements or contingency constraints. In the case of Diesel engine, further development will be mainly focused on improving PM & NOx emissions and NVH behavior, still maintaining its remarkable breakthrough of fuel consumption. Also for hybrid powertrains Diesel engine could became a very interesting opportunity, because of its potential of further improving the fuel consumption and the fun-to-drive features of hybrid systems.

Another very challenging issue, for automotive OEM's, is the globalization requirement, heavily impacting their product portfolio, because of different local market scenarios: GM adopted a "Global Strategy – Local Execution" approach, both for Base engine development and in-vehicle integration.

## 2. Sustainable mobility challenge

For a sustainable mobility balance, the future evolution of automotive propulsion system will be mainly driven by the more challenging and conflicting requirements of:

## 2. Wyzwania transportu zrównoważonego

Rozwój samochodowych układów napędowych, zmierzający do osiągnięcia transportu zrównoważonego, będzie w głównej mierze stymulowany przez coraz większe, a jednocześnie niekiedy wykluczające się wymagania w zakresie:
– osiągów (tj. wartość mocy/momentu, zdolności napędowe, reakcja, przyjemność z jazdy),
– ochrony środowiska (tj. emisja związków toksycznych, hałas, zużycie paliwa, efekt cieplarniany itd.),
– elastyczności źródeł energii (tj. dostępność ropy naftowej, paliwa alternatywne lub biopaliwa itd.),
– jakości (tj. udane wprowadzenie na rynek, bezpieczna eksploatacja, niezawodność, wytrzymałość)
w celu jednoczesnego dopasowania do nierzadko sprzecznych ze sobą: oczekiwań klientów, wymagań homologacyjnych i zysku producentów (rys. 1).

Rozwój technologiczny w znacznym stopniu zależy bowiem od uwarunkowań produkcyjnych, takich jak na przykład: czas między projektem produktu i jego wprowadzeniem na rynek, kompromis jakości i kosztu produktu, łańcuch dostawców i dostępność elementów nowych technologii, infrastruktura stacji paliwowych i obsługowych, dojrzałość technologii itd.

## 3. Scenariusz ewolucji układów napędu pojazdów

Biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej uwarunkowania, najbardziej prawdopodobny scenariusz rozwoju układów napędowych pojazdów zawiera się w następujących ramach czasowych (rys. 2):
– perspektywa krótko- i średniookresowa (poniżej 10 lat): dalsze doskonalenie konwencjonalnych silników tłokowych. Silniki o zapłonie iskrowym i samoczynnym w najbliższej przyszłości będą nadal dominować jako źródło napędu pojazdów. Wprowadzenie paliw alternatywnych stanowić będzie nowe wyzwanie;

Rys. 1. Wyzwania transportu zrównoważonego

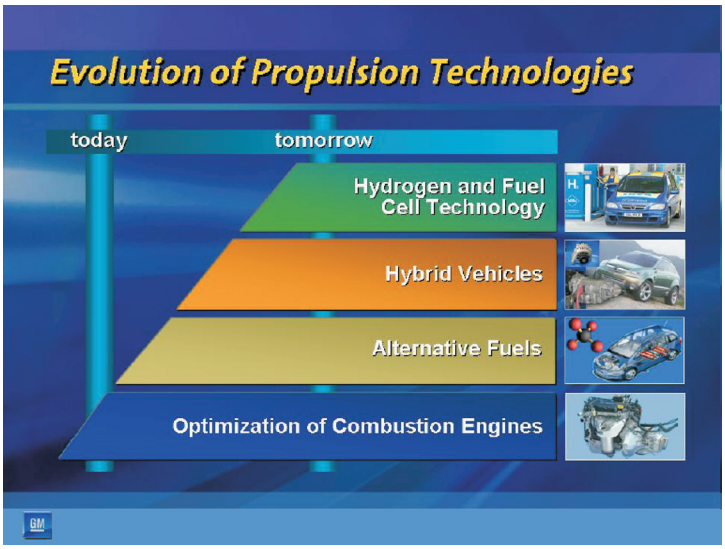
*Fig. 1. Sustainable mobility challenge*

– performance (i.e. power/torque levels, drivability, response, fun-to-drive),
– environment safeguard (i.e. pollutants emission, noise, fuel economy, greenhouse effect etc.),
– energy source flexibility (i.e. crude oil availability, alternative- or bio-fuels, etc.),
– quality (i.e. flawless launches, for-life operation, reliability, durability),
with the aim of simultaneously matching the, sometime contradictory, goals of customer expectations, homologation constraints and enterprise profitability (Fig.1).

Being the technology development strongly dependent on several industrial constraints (e.g. time to market, cost & quality trade-off, supplier chain & new technologies components availability, infrastructure for refueling and service, manufactory footprints & KH, technology maturity etc), a "steady evolution" is likely to be a more sustainable approach than a "breakthrough revolution".

## 3. Automotive powertrain evolution scenario

Based on above considerations, the most likely future scenario of automotive propulsion systems is related to the following specific timeframes (Fig. 2):
– short-to-middle (below 10 years): further enhancement & refinement of "conventional" reciprocating engines; it is clear that gasoline and Diesel engines will continue to dominate the automotive market for the foreseeable future. Alternative fuels will become also a new challenge;
– middle-to-long (10 to 30 years): "best" hybrid configuration consolidation and relevant industrial mass-production development. Hybrids will increase in popularity, if they will satisfy the consumer demand of "real" consumption/emissions advantages, fun-to-drive characteristics and commercial value;
– very long (above 30 years): fuel cells evolution, in parallel with the development of the related energy source set-up. This is an exciting technology with the potential to free the vehicle from fossil fuels; but new




Rys. 2. Ewolucja technologii układów napędowych

*Fig. 2. Evolution of propulsion technologies*

– perspektywa średnio- i długookresowa (10 do 30 lat): umocnienie pozycji układów hybrydowych w najkorzystniejszych konfiguracjach oraz związany z tym rozwój ich masowej produkcji; układy hybrydowe będą coraz popularniejsze o ile spełnią oczekiwania użytkowników w zakresie „rzeczywistego" zmniejszenia zużycia paliwa i emisji, przyjemności z jazdy i wartości rynkowej;
– perspektywa bardzodługookresowa (powyżej 30 lat): ewolucja ogniw paliwowych połączona z jednoczesnym rozwojem struktury źródeł energii; ogniwa paliwowe należy uznać za obiecującą technologię, oferującą potencjalne uniezależnienie pojazdów od paliw kopalnych, niemniej musi być jeszcze rozwiązanych wiele nowych kwestii technicznych; należy wykazać korzyści w zakresie kosztów eksploatacyjnych; dostępna musi być odpowiednia sieć infrastruktury zanim pojazdy z ogniwami paliwowymi znajdują szerokie zastosowanie.

Występujące u poszczególnych użytkowników pojazdów potrzeby transportowe i warunki eksploatacyjne są zróżnicowane i żaden z układów napędowych nie jest w stanie samodzielnie spełnić wielu różnych wymagań. Dlatego też w następnych dekadach nadal równolegle produkowana będzie większość z wymienionych wcześniej rozwiązań napędu (rys. 3).

## 4. Strategie technologiczne silników o zapłonie samoczynnym

Biorąc pod uwagę rywalizację silników ZI i ZS, bez wątpienia stosowane będą nadal oba typy silników, ale ich udział w rynku będzie silnie zależał od takich czynników zewnętrznych, jak lokalne wymagania lub ograniczenia (rys. 4).

W krótko- i średniookresowej perspektywie czasu silnik ZS, z uwagi na znaczny potencjał w obniżeniu zużycia paliwa, uważany jest obecnie za najlepsze rozwiązanie do spełnienia wymagań CAFE – przynajmniej w Europie, a prawdopodobnie także w innych krajach, np. w USA. Oczywiście udział rynkowy silników ZS i ZI będzie nadal silnie powiązany z polityką energetyczną w różnych regionach świata w zakresie opodatkowania i preferencji źródeł paliw. W zakresie obecnych i przyszłych limitów emisji toksycznych składników spalin brak jest jednolitego światowego trendu, który zintensyfikowałby rozwój technologii niezbędnych do spełnienia surowszych wymagań emisyjnych. Prawdopodobnie w przyszłości systemy deNOx będą standardowym wyposażeniem silników ZS. Istotny rozwój i wzrost skali produkcji systemów deNOx zmniejszy ich koszt do akceptowalnego poziomu, jak to było np. w przypadku reaktorów trójfunkcyjnych lub układów wtryskowych *Common Rail*. W konsekwencji silniki ZS będą nadal doskonalone przez wprowadzenie na szerszą skalę zaawansowanych technologii, które w chwili obecnej są jeszcze w fazie rozwoju lub są ograniczone do specjalistycznych zastosowań (rys. 5).

engineering challenges must be addressed, convenience of vehicle operational cost must be demonstrated and infrastructure network should be completed prior to widespread usage across customers.

Rys. 3. Zaawansowane strategie napędowe: „produkt dostosowany do indywidualnych potrzeb"

*Fig. 3. Advanced propulsion strategies: "a product for individual needs"*

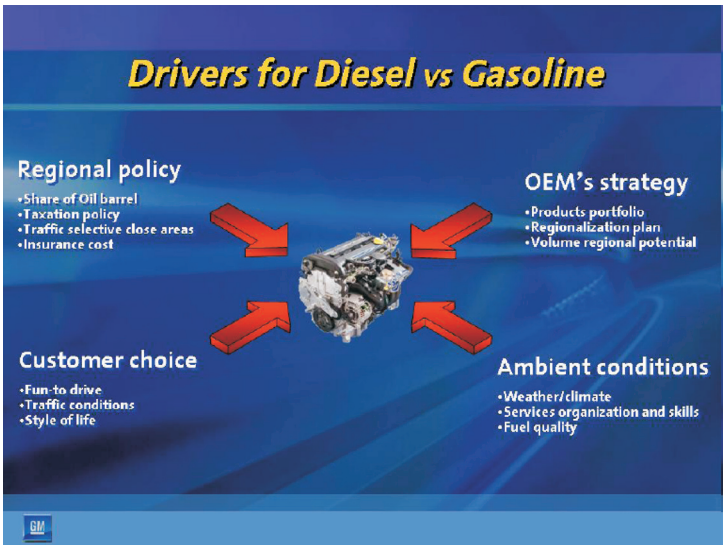
Due to specific transportation needs and operating conditions by the users, no single powertrain configuration could match such several different missions; so, in next decades the OEM's portfolios will be characterized by the co-existence of most of the above quoted technologies (Fig. 3).

## 4. Strategies for future diesel engines technologies

As far as the competition between Diesel & Gasoline engines is related, no doubt about the survival of both ICE concepts, but their market share will strongly depend on external factors, like regional requirements or contingency constraints (Fig. 4).

In the short-to-middle timeframe, the Diesel engine, because of its remarkable potential of fuel consumption reduction, is seen nowadays as the best solution for fulfilling the CAFE challenges, at least in Europe, but very likely also in other regions like US. Diesel & Gasoline market share will remain strongly related, among others, to the energy policy adopted in the different world regions, in terms of taxation and fuel sourcing.

Because of the pollutant emission limits, both those in place today and the future ones, the worldwide trend is versus a more harmonized situation, which will enable and leverage a more focused development of technologies to accomplish such more severe requirements. In fact the deNOx systems are very likely to became a "standard" solution, and so leveraging remarkable development and production initiatives, as happened e.g. for Gasoline catalysts or Diesel common rail FIE, will limit the final cost impact to sustainable level.




Rys. 4. Zalety silnika ZS w porównaniu do silnika ZI

*Fig. 4. Drivers for diesel vs gasoline*

Jak już wspomniano, napęd hybrydowy stanie się w perspektywie średnio- i długookresowej realną alternatywą wobec konwencjonalnego silnika spalinowego. Korzyści w zakresie zużycia paliwa przy napędzie hybrydowym silnie zależą od warunków ruchu (rys. 6). Największe oszczędności paliwa mogą być uzyskane w zatłoczonym ruchu miejskim, gdzie jazda odbywa się w trybie „start–stop" i/lub pojazd napędzany jest samym silnikiem elektrycznym. W warunkach ruchu pozamiejskiego i autostradowego napęd hybrydowy nie zapewnia oszczędności paliwa w porównaniu do konwencjonalnego silnika spalinowego. W takich warunkach silnik ZS zapewnia mniejsze zużycie paliwa niż układ hybrydowy z silnikiem ZI.

Co więcej, bardzo korzystnym rozwiązaniem mógłby być układ hybrydowy z silnikiem ZS, ponieważ silnik ZS zapewniłby dalsze zmniejszenie zużycia paliwa. Z drugiej strony zastosowanie układu hybrydowego mogłoby zredukować konieczność stosowania nowych technologii obniżających emisję silników ZS i przez to mieć korzystny wpływ na cenę tych silników.

## 5. Wyzwania globalizacji wobec silników ZS

Bardzo istotną kwestią dla producentów branży motoryzacyjnej jest globalizacja i jej wpływ na profil produkcji. Poszczególne regiony świata charakteryzują się różnymi scenariuszami rozwoju rynków lokalnych, a mianowicie:

– Ameryka Północna: silniki ZS głównie w samochodach ciężarowych i sportowo-użytkowych (*SUV – Sport Utility Vehicle*); wzrost rozpowszechnienia silników ZS (wyposażonych w systemy zmniejszające emisję) w samochodach osobowych z uwagi na wymagania US CAFE (*Corporat Average Fuel Economy* – średnie zużycie paliwa przez flotę danego producenta),
– Ameryka Łacińska, Afryka, Bliski Wschód: rozwój technologiczny nie będzie stymulowany

As a consequence the Diesel engines will be further evaluated, introducing in larger scale several advanced technologies, today in a development stage or confined to niche applications (Fig. 5).

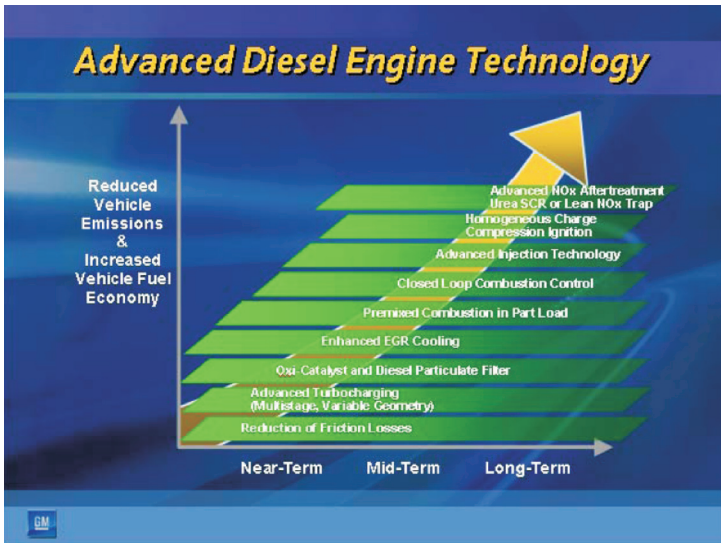
In the middle-to-long timeframe, the Hybrid powertrain, as mentioned before, will became a real alternative option to "conventional" ICE. Needless to say that the advantages in fuel economy of a Hybrid system are strongly related to the vehicle driving operation (Fig. 6). In particular, the best results can be obtained in congested city traffic conditions, where "start&stop" operation and/or "pure electric" mode are used. In extraurban and motorway situation, on the other hand, no advantages can be achieved, with respect to a "conventional ICE. Based on such considerations, Diesel engine in this case offers more fuel economy that a Gasoline hybrid system.

Based on such considerations, the "Diesel" hybrid powertrain could also became a very interesting opportunity, because the Diesel engine features will further improve the fuel consumption and the fun-to-drive features of hybrid systems. Vice versa, Hybrid powertrain operation could mitigate the needs of additional technologies of the Diesel engines to overcome the emissions issues, with positive impact also on its related cost.

## 5. Globalization challenge on diesel engines

Another very challenging issue for all major automotive OEM's, is the globalization approach, which heavily impact on the product portfolio. In fact different worldwide regions have different local market evolution scenarios; in particular in:

– North America: opportunities for Diesel in trucks/SUV, but growing in cars for US CAFÉ with technologies to improve emissions,
– Latin America, Africa&Middle East: emission and fuel economy won't be drivers in technology development,
– Europe: high-tech Diesel engines to reach $CO_2$ targets, but matching more stringent $NO_x$&PM emissions,




Rys. 5. Zaawansowane technologie silników ZS

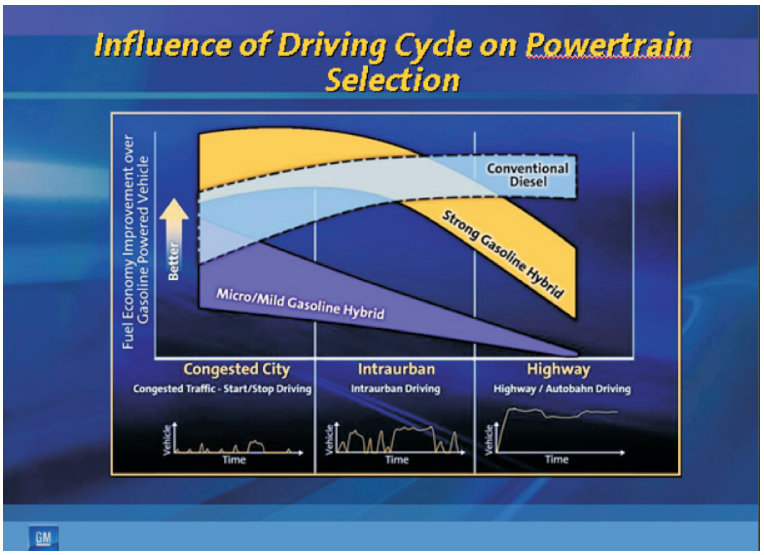
*Fig. 5. Advanced diesel engine technology*

przez wymagania w zakresie emisji i zużycia paliwa,
– Europa: silniki ZS wysokiej technologii aby osiągnąć cele emisji $CO_2$, a także spełnić surowsze normy emisji $NO_x$ i PM,
– Azja rejonu Pacyfiku: 3–4-cylindrowe silniki „taniej" technologii.

W konsekwencji, rozpowszechnienie silników ZS powinno się zmniejszać region po regionie. Wybrana przez GM taktyka dostosowania się tych wymagań nazywa się „strategia globalna – realizacja lokalna" i dotyczy rozwoju oraz wytwarzania silnika bazowego, jak również jego integracji z pojazdem (rys. 7).

## 6. Podsumowanie

Krótkoterminowy scenariusz rozwoju układów napędowych pojazdów będzie realizowany przez dalsze doskonalenie rozwiązań konwencjonalnych oraz zastosowanie paliw alternatywnych. Główną część rynku stanowić nadal będą silniki ZI i ZS, a udział danego typu napędu w rynku zależeć będzie głównie od uwarunkowań lokalnych. Oba typy silników posiadają potencjał dalszego rozwoju z wykorzystaniem nowych technologii.




Rys. 6. Wpływ cyklu jezdnego na wybór układu napędowego

*Fig. 6. Influence of driving cycle on powertrain selection*

– Asia Pacific: 3–4 cylinder engines with "low-cost" technologies.

As a consequence, Diesel penetration should be declined region by region: the chosen approach of GM, in order to match such requirements, is to Global Strategy – Local Execution, both for Base engine development/manufacturing and in-vehicle integration (Fig. 7).

Rys. 7. Perspektywy silników ZS w skali światowej

*Fig. 7. Diesel perspectives in worldwide vision*

W średnioterminowych ramach czasowych, kiedy układy hybrydowe osiągną istotną pozycję na rynku, układ hybrydowy z silnikiem ZS mógłby być korzystnym rozwiązaniem z uwagi na potencjał silnika ZS w zakresie dalszego zmniejszenia zużycia paliwa.

Istotną kwestią w skali światowej jest potrzeba globalizacji zgodnej z interesem producentów. W tym zakresie, GM przyjął kierunek działania typu „strategia globalna – realizacja lokalna", zarówno w zakresie rozwoju silników, jak i integracji z pojazdem.

(*Tłum. M. Kozak*)

## 6. Conclusions

The near term scenario of automotive propulsion systems will be achieved, in different maturity steps, by further enhancement & refinement of "conventional" configurations and alternative fuels. The Diesel engine will share with the Gasoline one the leadership of the market, with shares depending mainly from regional contingencies. Both Diesel & Gasoline engines have further development opportunities adopting additional technologies.

In the middle timeframe, where Hybrid powertrains will gain a relevant position, the Diesel engine could became a very interesting opportunity, because of its potential of further improving the fuel consumption and the fun-to-drive features of hybrid systems.

Another very challenging issue, in worldwide vision, is the globalization requirement" compatible with OEM business approach. In this respect, GM has adopted a "Global Strategy – Local Execution" approach, both for Base engine development and in-vehicle integration.

Prof. dr inż. Giovanni Cipolla – Dyrektor działu zaawansowanych technologii silników ZS oraz napędów hybrydowych General Motors Powertrain – Europa, Turyn, Włochy.

*Prof. Dr. Ing. Giovanni Cipolla – Diesel Advanced Engineering and Hybrids Director GM Powertrain – Europe, Torino, Italy.*