

The analysis of the design and operating parameters of downsized engines

This paper presents an analysis of some of the design and operating parameters of selected engines. The main aim of the analysis was the comparison of selected engine parameters, in terms of both the performance and design, that have direct impact on their durability and operation. The calculation parameters have been primarily determined based on generally available technical specifications of the engines. The calculations were based on the engine speed characteristics (according to the manufacturer specification or in the absence of the said data, based on the research performed on the test bench). The methodology of the engine parameter analysis has been carried out in two stages. The first step involved a comparison of the base engine and a 'downsized' engine for a given vehicle model with a view to determining of possible applications / general trends. The second stage was an attempt to compare and evaluate the alternatives for the engines in terms of: modern [downsized] diesel engine compared to modern [downsized] gasoline engine. The results of the analysis have been shown on the charts and in the conclusions.

Keywords: downsizing, SI engine, CI engine, engine performance parameters

Analiza parametrów konstrukcyjnych i operacyjnych silników spalinowych zgodnych z koncepcją „downsizingu”

W artykule przedstawiono analizę niektórych parametrów konstrukcyjnych i operacyjnych wybranych silników spalinowych i określenie jej znaczenia w kontekście założeń downsizingu silników. Głównym celem analizy było porównanie wytypowanych parametrów, zarówno pod względem aspektów użytkowych, jak i konstrukcyjnych, mających bezpośredni wpływ na trwałość oraz eksploatację. Parametry obliczeniowe wyznaczone zostały głównie na podstawie ogólnie dostępnych specyfikacji technicznych silników. Do obliczeń wykorzystano także charakterystyki prędkościowe silników (według danych producentów lub w razie braku innych danych z badań dostępnych z hamowni). Metodyka analizy parametrów pracy silników przeprowadzana została dwuetapowo. Etap pierwszy obejmował porównanie silników bazowych i typu „downsized” dla danego modelu pojazdu z nastawieniem na określenie wniosków/tendencji ogólnych. Etap drugi stanowi próbę porównania i oceny alternatyw dla rozważanych silników w ujęciu: nowoczesny [downsized] ZS - nowoczesny [downsized] ZI. Wyniki analiz przedstawiono graficznie na wykresach a całość rozważań zakończono wnioskami ogólnymi.

Słowa kluczowe: downsizing, silnik ZI, silnik ZS, parametry pracy silnika

1. Wprowadzenie

Współcześnie motoryzacja bazuje w głównej mierze na konwencjonalnych, nieodnawialnych paliwach występujących w określonej – skończonej ilości w przyrodzie. Są to głównie paliwa ropopochodne – przeważnie olej napędowy i benzyna, których zużycie, jak wykazują statystyki, z roku na rok sukcesywnie wzrasta [1]. Perspektywy bariery ograniczonej zasobów ropy, niestabilności jej cen rynkowych, a także coraz bardziej restrykcyjne normy emisji spalin (np. EURO/EPA) oraz wysokie wymagania kierowców co do niskiego poziomu spalania sprawiają, iż przedsiębiorstwa i koncerny sektora motoryzacyjnego stają przed koniecznością wypracowania właściwej i efektywnej koncepcji projektowania jednostek napędowych. W chwili obecnej prace badawczo-rozwojowe w tym obszarze prowadzone są na szeroką skalę przez większość koncernów samochodowych i podmiotów z

nimi powiązanych. Pojawiające się na rynku liczne innowacyjne i prototypowe rozwiązania silnikowe świadczą niewątpliwie znacznej skali i intensywności prowadzonych badań.

Koncerny sektora motoryzacyjnego, borykające się z dotkliwym kryzysem sprzedażowym, stają obecnie przed koniecznością wypracowywania właściwej i efektywnej koncepcji projektowania jednostek napędowych. Jedną z nich jest koncepcja downsizingu silników spalinowych. Koncepcja ta poprzez obniżanie pojemności skokowej i synergiczne wdrażanie osprzętu wspomagającego osiągi, umożliwia, przynajmniej w ujęciu teoretycznym, obniżenie zużycia paliwa i spełnianie coraz bardziej restrykcyjnych norm emisji spalin i CO₂. Przedstawiane przez producentów coraz to nowsze rozwiązania innowacyjne świadczą niewątpliwie znacznej intensywności prowadzonych działań i przyjęciu koncepcji jako wiodącej [2, 3].

Tab. 1. Zestawienie wytypowanych do analizy silników

Model pojazdu	Silniki ZI		Silniki ZS	
	Poprzedzający	Downsized	Poprzedzający	Downsized
Fiat Panda III	1.2 Fire 51kW	0.9 Twin-Air 62kW	1.3 Multi-Jet I 51kW	1.3 Multi-Jet II 55kW
↑ alternatywa?? ↑				
VW Polo	1.6 MPI 77kW	1.2 TSI 77kW	1.9 SDI 47kW	1.2 TDI R3/4 55 kW
↑ alternatywa ?? ↑				
VW Golf V/VII	1.6 FSI 84kW	1.4 TSI 89kW	1.9 TDI 77kW	1.6 TDI Bluemotion 77kW
↑ alternatywa?? ↑				
Opel Astra II/IV	1.6 TWINPORT 84kW	1.4 Turbo 88kW	1.7 dTi 55kW	1.3 CDTI 70kW
↑ alternatywa ?? ↑				
Ford Focus II/III	1.6 Ti-VCT 77kW	1.0 Ecoboost 73kW	1.8 TDDi 66kW	1.6 TDCI Econetic 70kW
↑ alternatywa?? ↑				

2. Metodyka analiz

Metodyka analizy parametrów pracy silników przeprowadzana została dwóch etapach. Etap pierwszy obejmował porównanie silników bazowych i typu „downsized” dla danego modelu pojazdu. Etap drugi stanowił próbę porównania rozważanych silników w ujęciu: nowoczesny [downsized] ZS - nowoczesny [downsized] ZI.

Do analizy wybrano 20 silników montowanych w 5 różnych modelach samochodów. Dla każdego modelu samochodu wybrano dwa silniki ZI oraz dwa silniki ZS. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie wybranych do analizy silników z jednoczesnym przedstawieniem modeli samochodów w których znajdują zastosowanie.

Do analizy wytypowano następujące parametry użytkowe:

- maksymalny moment obrotowy (przy danej prędkości obrotowej) $M_o|n_{obr}$ [Nm][obr/min],
- średnie ciśnienie użyteczne (dla n_{Nmax}):

$$p_e = \frac{2N_e}{V_{ss}n} [MPa].$$
- zestawienie danych dotyczących spalania : [miasto/poza miastem/średnie] + emisja CO_2 ,
- wskaźniki elastyczności silników:
 - elastyczności prędkościowe w ujęciu:
 - klasycznym – jako stosunek prędkości obrotowej mocy maksymalnej do prędkości obrotowej momentu maksymalnego:

$$e_N = \frac{n_N}{n_M},$$
 - zmodyfikowanym – rozumianym jako stosunek prędkości obrotowej mocy maksymalnej do niższej prędkości obrotowej dla zakresu quasi-maksymalnego momentu (95% M_{MAX}): $e_{N95\%} = \frac{n_N}{n_{MIN\ 95\%M}}$
 - elastyczności momentowe – w ujęciu klasycznym: $e_M = \frac{M_{MAX}}{M_{Nmax}}$
 - elastyczności mieszane – w ujęciu klasycznym: $e = e_M * e_N$
 - analiza dodatkowych zakresów prędkości obrotowej w zakresach M_o 95% – M_o 100%:

- δ_1 mierzona jako zakres prędkości obrotowej między M_o 95%– M_o 100%
- δ_2 mierzona jako zakres prędkości obrotowej między M_o 100%– M_o 95%

Zasadność analizy zmodyfikowanych prędkościowych wskaźników elastyczności $e_{N95\%}$ wynika ze spłaszczonych przebiegów momentu obrotowego nowoczesnych silników, który osiąga wartości maksymalne w znacznym zakresie prędkości obrotowej. Stąd też wielu producentów podaje zakresy prędkości obrotowej odpowiadające zakresowi quasi-maksymalnego momentu (95% M_{MAX}). Ma to konsekwencje w ujęciu praktycznym, gdyż maksymalny moment uzyskiwany jest już przy bardzo niskich prędkościach obrotowych a wśród producentów widoczna staje się tendencja do stosowania zautomatyzowanych skrzyń wielobiegowych (7 – 9 przełożeń np. AUDI)), pozwalających na efektywne wykorzystanie momentu obrotowego na wysokich biegach, a więc przy niskich prędkościach obrotowych (spadek zużycia paliwa).

Jeśli chodzi o parametry konstrukcyjne silników wytypowano do analiz:

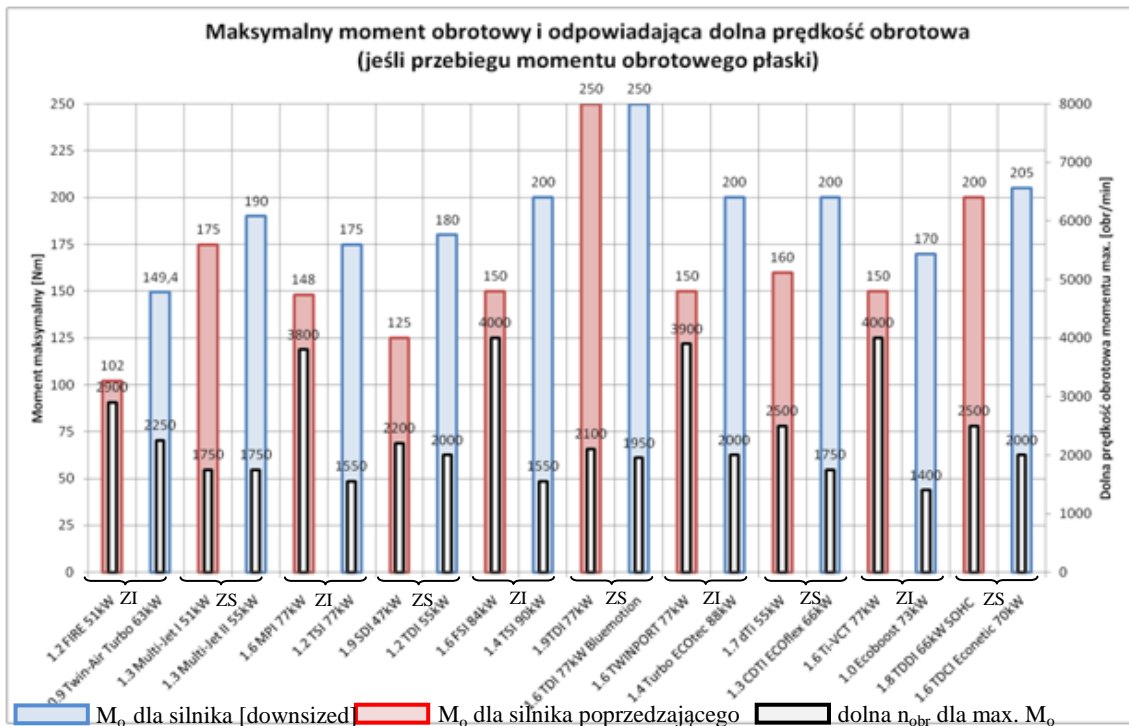
- średnią prędkość tłoka (dla prędkości obrotowej mocy maksymalnej) $c_{Nmax} = 2sn_{Nmax}$
- stosunek średnicy cylindra/skok tłoka $k = \frac{S}{D}$
- współczynnik zmniejszenia objętości:

$$d = \frac{(V_{ss\ poprzedzający} - V_{ss\ downsized})}{V_{ss\ poprzedzający}} * 100\%$$
- objętościowy wskaźnik mocy (wysilenia):

$$N_V = \frac{N_e}{V_{ss}} \left[\frac{kW}{dm^3} \right]$$

3. Wyniki analiz

Z uwagi na dużą liczbę wytypowanych parametrów podlegających analizom i mając na uwadze ograniczenie objętości niniejszego opracowania poniżej przedstawione zostały wyniki wybranych parametrów spośród przedstawionych w rozdziale 2. Na rysunku 1 przedstawiono histogram wartości maksymalnego momentu obrotowego wytypowanych silników i odpowiadającą mu

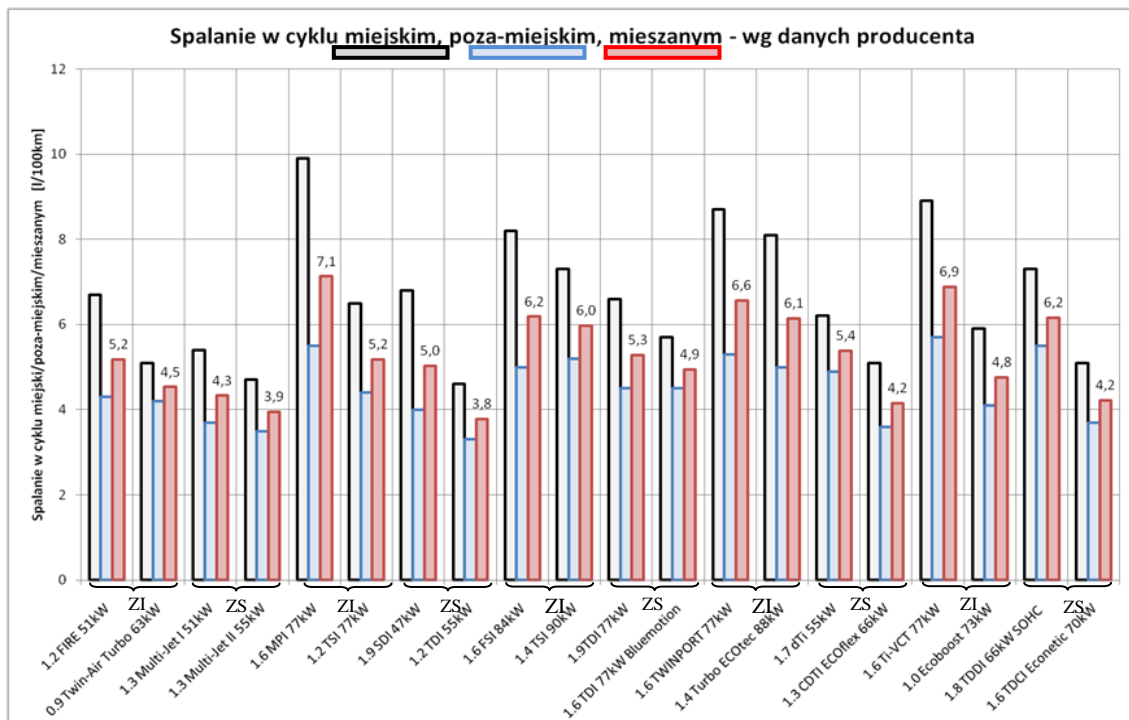


Rys. 1. Maksymalny moment obrotowy i odpowiadająca mu prędkość obrotowa (dolna jeśli przebieg M_o płaski)

wartość prędkości obrotowej (dolna wartość jeśli przebieg momentu obrotowego jest płaski).

Na histogramie dla populacji silników typu downsized obserwuje się wyraźną tendencję do podwyższania bezwzględnej wartości maksymalnego momentu obrotowego – co jest korzystne i preferowane z punktu widzenia własności trakcyjnych. Zmiany obserwowane są dla obu rodzajów silników, z zastrzeżeniem iż wartości

momentów maksymalnych dla silników ZS pozostają zazwyczaj relatywnie wyższe niż silników ZI. Wyższe momenty obrotowe silników ZS niekoniecznie przekładają się na zdolności dynamiczne (niskie obroty, stosunkowo niska moc). Średni wzrost maksymalnie dostępnego momentu obrotowego jest większy dla silników ZI (28%) > ZS (16%).



Rys. 2. Spalanie w cyklach miejskim/poza-miejskim/mieszanym w ujęciu: [silnik poprzedzający ⇔ silnik downsized]. Wg danych producentów w odniesieniu do konkretnego modelu pojazdu

Prędkości obrotowe maksymalnego momentu obrotowego ulegają znacznemu obniżeniu. Redukcja ta jest szczególnie widoczna dla silników ZI (dzięki wydajnym systemom doładowania maksymalny moment obrotowy osiągany jest już przy porównywalnych lub czasem nawet niższych obrotach niż w silnikach ZS). Przykład stanowią jednostki napędowe serii EcoBoost i TSI. Zmniejszanie prędkości obrotowych momentu maksymalnego stanowi wyraz realizacji założeń koncepcji downsizingu – preferowania eksploatacji silników przy możliwie niskich prędkościach obrotowych.

Wśród przebadanej populacji silników, pojazdy z silnikami nowej generacji [downsized] w ujęciu ogólnym wykazują mniejsze spalanie w stosunku do pojazdów z silnikami poprzedzającymi. Różnice widoczne są szczególnie w przypadku pojazdów z silnikami ZS – średnie obniżenie w cyklu mieszanym o 19%. Dla silników ZI średnie obniżenie w cyklu mieszanym wynosi 16%. Szczególnie duże obniżenie zużycia paliwa można obserwować dla pojazdów silników ZI z wtryskiem bezpośrednim pracujących na obciążeniach częściowych (cykl miejski), np. EcoBoost, 1.2 TSI. Reasumując można wnioskować, iż koncepcja downsizingu – przynajmniej w ujęciu producentów pojazdów – przynosi korzyści w postaci wypadkowego obniżenia zużycia paliwa. Spełnione zostaje główne założenie koncepcji downsizingu.

Należy zauważyć, iż zdaniem użytkowników nowych pojazdów, oszczędności w zużyciu paliwa nie są jednak oczywiste. Bardzo często zależą one od ogólnego profilu jazdy i obciążeń silnika. Uzasadniający przykład może stanowić silnik Twin-Air. Podczas jazdy z niewielkim obciążeniem wykazuje

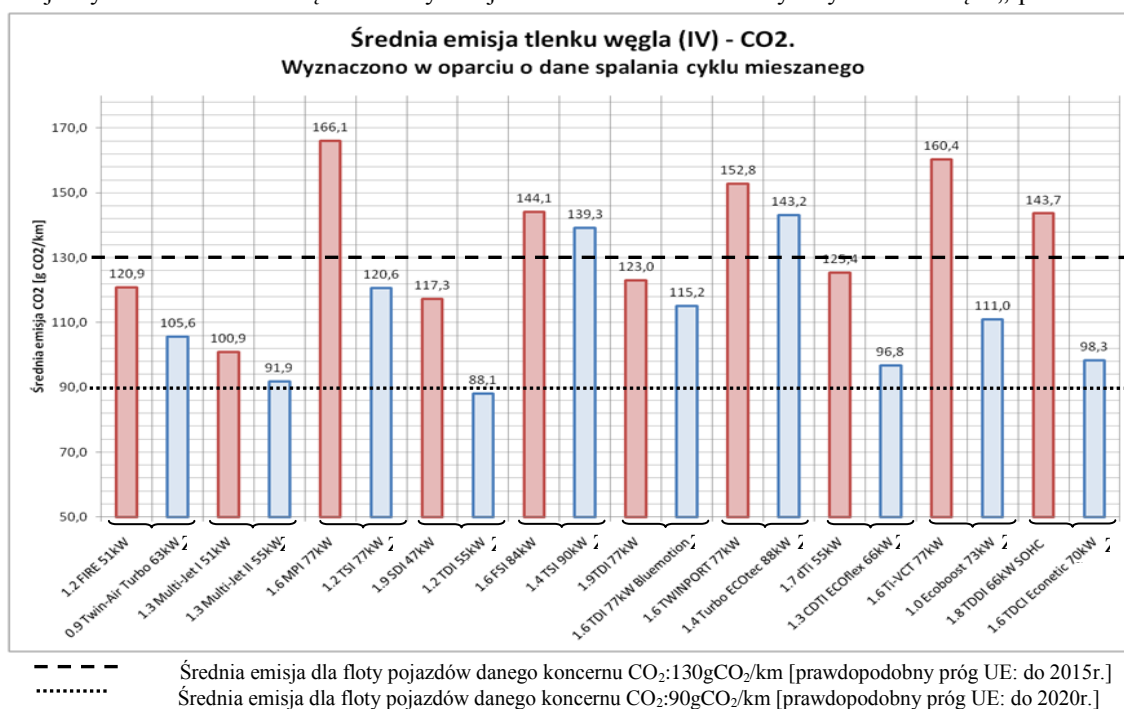
on spalanie porównywalne z danymi producenta. Dla jazdy z wysokim obciążeniem spalanie w cyklu mieszanym wykazuje wzrost nawet o 100% w stosunku do danych producenta. Wynika to z konstrukcyjnego zachowania relatywnie wysokiego stopnia sprężania, pomimo zastosowania agresywnego doładowania. W celu uniknięcia spalania stukowego przy wysokich obciążeniach i obniżenia średniej temperatury w cylindrze, podawana jest bogata mieszanka palna ($\lambda \approx 0,8-0,9$), co stanowi bezpośrednią przyczynę podwyższonego spalania.

Ważnym aspektem ekologicznym korelującym ze średnim zużyciem paliwa jest emisja CO₂. Większość z przeanalizowanej populacji pojazdów (rys. 3) z silnikami typu [downsized] już obecnie spełnia planowane kryteria emisji CO₂.

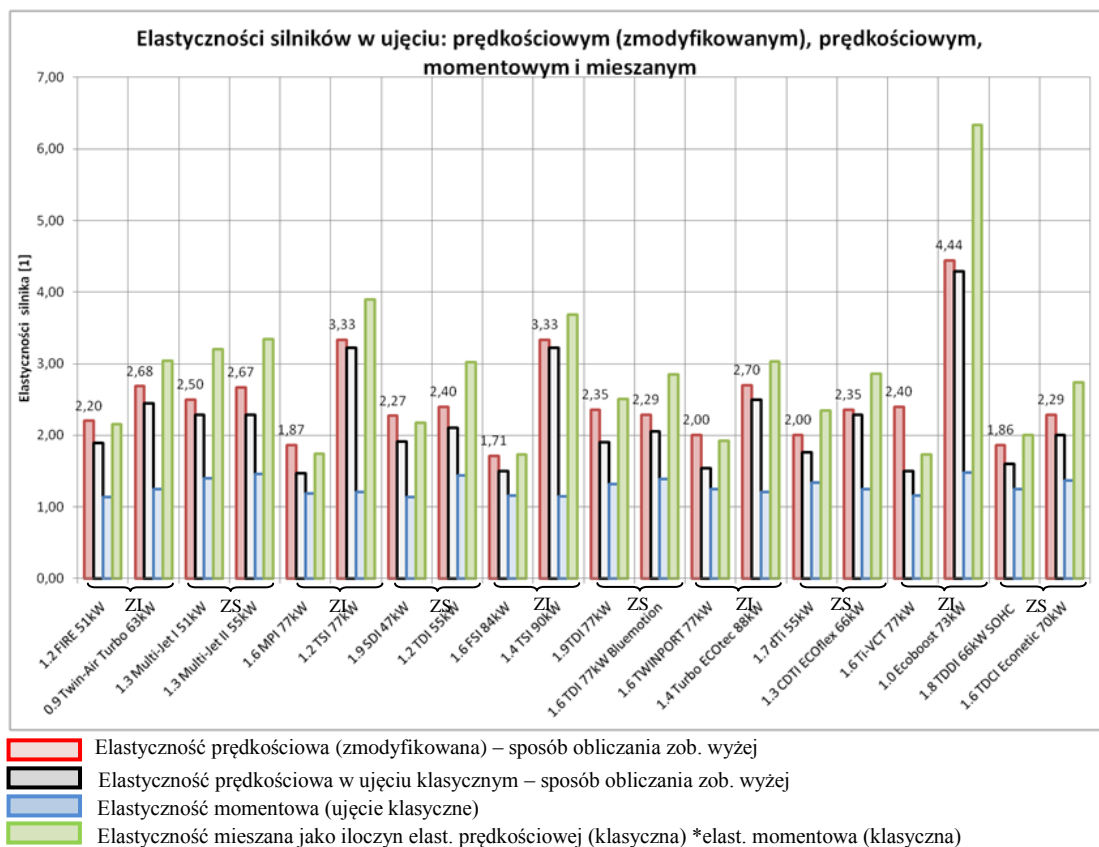
Ze szczególnie dużym zapasem wymagania emisyjne spełniają pojazdy niższych segmentów (A/B), które w swoim założeniu mają stanowić „narzędzie” obniżania średniej emisji CO₂ dla całej floty pojazdów danego koncernu. Pułap emisyjny CO₂ planowany na rok 2020 nie jest obecnie osiągalny dla większości silników typu downsized – nawet w wariantach ZS.

Wartości wskaźników elastyczności prędkościowej (rys. 4) w ujęciu klasycznym i zmodyfikowanym dla analizowanych silników typu downsized wykazują wzrost w stosunku do silników poprzednich generacji. Tendencje wzrostowe widać zarówno dla silników ZI jak i ZS. Świadczy to o coraz lepszej zdatości silników do codziennej eksploatacji z niskimi prędkościami obrotowymi przy wysokich momentach obrotowych.

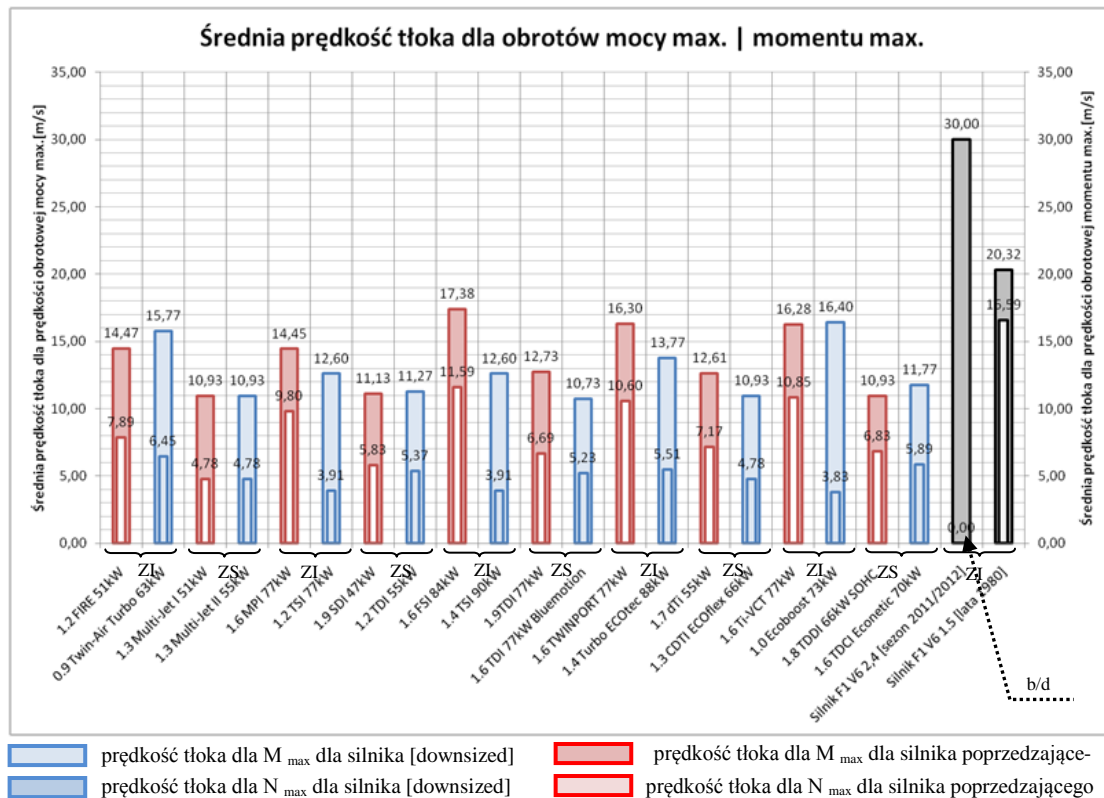
Większe wartości zmodyfikowanych wskaźników elastyczności prędkościowej w stosunku do klasycznych świadczą o „spłaszczeniu”



Rys. 3. Średnia emisja CO₂ [g/km] według danych producenta, w odniesieniu do konkretnych modeli pojazdów



Rys. 4. Elastyczności silników w ujęciu klasycznym i zmodyfikowanym



Rys. 5. Średnia prędkość tłoka dla obrotów mocy i momentu maksymalnego. Silniki F1 jako aspekt porównawczy

przebiegu maksymalnego momentu w stronę niższych prędkości obrotowych – co jest zauważalne i zarazem korzystne niemal we wszystkich analizowanych silnikach ZS/ZI typu downsized.

Elastyczności momentowe silników typu downsized pozostają porównywalne z silnikami poprzedzającymi. Elastyczności mieszane (wyliczane klasycznie) ulegają wzrostowi na skutek większych elastyczności prędkościowych. Szczególnie dużą elastyczność ogólną wykazują silniki TSI i EcoBoost (w rzeczywistości prawdopodobnie niższe) oraz silniki SGE Multi-Jet.

Zagadnienie trwałości silników stanowi zagadnienie kompleksowe, zależne od wielu aspektów. W pewnym uproszczeniu o trwałości silnika (oraz stratach tarcia (p_T)) można wnioskować na podstawie średniej prędkości tłoka – im wyższa średnia prędkość tłoka tym mniejsza trwałość silnika, z uwagi na uwarunkowania trybologiczne i cieplne.

Wszystkie analizowane silniki należą do grupy szybkobieżnych ($c_{sr} > 9\text{m/s}$) (rys. 5). Dla obu grup silników typu downsized średnie prędkości tłoków (dla N_{MAX}) pozostają relatywnie podobne w odniesieniu do silników poprzedzających – trudno jednak wskazać jednoznaczną tendencję wzrostową lub spadkową. Szczególnie wysokie prędkości tłoków (dla N_{MAX}) wykazują silniki ZI, o dużym stopniu wysilenia, niezależnie od sposobu wtrysku paliwa (1.0EcoBoost, 0.9 Twin-Air).

Widoczna jest także tendencja do obniżania prędkości obrotowej momentu maksymalnego dla silników typu downsized ZI/ZS – a więc przedziału obrotów, który jest relatywnie najczęściej wykorzystywany i jednocześnie szczególnie preferowany z punktu widzenia sprawności. Niższe prędkości obrotowe oznaczają niższe prędkości tłoków i niższe straty tarcia. W tym kontekście można wnioskować, iż trwałość nowych silników typu downsized (bazując tylko na c_{sr}) nie maleje. Zagadnienie trwałości jest jednak dużo bardziej kompleksowe i wymaga rozważenia innych parametrów tj. średnie ciśnienia użyteczne oraz wskaźników wysilenia (N_V).

Dla celów porównawczych obliczono średnie prędkości tłoków dla silników F1 (sezon 2011/12, lata 80-te). Przypadek reprezentuje co prawda profil silnika sportowego, którego resurs wynosi średnio 3 wyścigi ($\approx 1200\text{km}$), a silnika F1 z lat 80 jeden wyścig (ogromne wysilenie, $p_e!$). Z drugiej strony pokazuje orientacyjne wartości średnich prędkości tłoków (dla N_{MAX} , M_{MAX}), dla których trwałość a także stosowany przedział prędkości obrotowych jest niedopuszczalny i jednocześnie nieuzasadniony z punktu widzenia codziennego profilu eksploatacji silnika.

W tabelach 2 i 3 przedstawiono wyniki subiektywnej oceny współczesnych silników [downsized] w ujęciu nowoczesny silnik ZI w stosunku do nowoczesny silnik ZS.

Silniki Twin-Air i Multi-Air spełniają założenia koncepcji downsizingu i wykazują relatywnie

Tab. 2. Ocena silników realizujących koncepcję downsizingu w ujęciu silnik ZI stosunku do silnika ZS

0.9 Twin-Air 62kW [F. Panda III]		1.3 Multi-Jet II 55kW [F. Panda III]	
Parametry użytkowe wpływające na codzienną eksploatację			
Spalanie mocno zależne od profilu jazdy. Na obciążeniach częściowych wynik dobry jak na silnik ZI. Dla obciążeń pełnych spalanie wysokie!	+	++ +	w ogólności bardzo niskie spalanie w każdym cyklu jazdy (miasto/poza). Niska emisja CO ₂
duże wysilenie N_V (duża moc z małej pojemności) wysokie p_e (potencjalnie \uparrow sprawności przy aspekcie wysokiego doładowania rekompensującego osiągi)	++	+	Umiarkowane wysilenia N_V adekwatne dla silników ZS p_e adekwatne dla klasy ZS, niższe niż w Twin-Air
wysoki moment jak na silnik ZI (przy umiarkowanej prędkości obrotowej)	+	++	wysoki moment obrotowy przy niskiej n_{obr}
potencjalnie wyższa dynamika jazdy (wysoki moment przy relatywnie dużej mocy)	++	+	potencjalnie niższa dynamika jazdy w stosunku do silnika ZI Twin-Air
Wysoka elastyczność, stosunkowo korzystny przebieg momentu obrotowego	+	++	Wysoka elastyczność, korzystny przebieg momentu obrotowego
Relatywnie duże rozpiętości prędkości obrotowej dla przedziału 95%Mmax.	+	++	Relatywnie duże rozpiętości prędkości obrotowej dla przedziału 95%Mmax.
Parametry wpływające na trwałość			
Wyższe średnie prędkości tłoka (potencjalny \downarrow trwałości)	-	+	Umiarkowane średnie prędkości tłoka (potencjalny \uparrow trwałości)
Korzystne z punktu widzenia sprawności proporcje wymiarowe (S/D)	+	+	Korzystne z punktu widzenia sprawności proporcje wymiarowe (S/D)
Inne uwagi i zastrzeżenia			
Stosunkowo wysoki koszt zakupu jak na silnik ZI	-	-	wyższy koszt zakupu i produkcji względem ZI; możliwy wzrost po wprowadzeniu EURO VI
Nieopanowanie technologii bezpośredniego wtrysku, brak chłodzenia cylindrów przy doładowaniu	-	-	problematyczność oczyszczania filtra DPF – częste zapychanie przy częstej jeździe miejskiej
		-	wysokie koszty serwisowania pogwarancyjnego

lepsze parametry użytkowe i trwałościowe w stosunku do silników poprzednich. Reasumując:

- + zarówno pod względem użytkowym jak i trwałościowym delikatną przewagę wykazują parametry silnika Multi-Jet,
- + wśród silników benzynowych silnik Twin-Air to konstrukcja dwucylindrowa (małe straty tarcia), odznaczająca się wysokim N_v i p_e . Aspekt usprawniający może obejmować redukcję spalania – wprowadzenie wtrysku bezpośredniego (chłodzenie cylindrów),
- + należy zaznaczyć, że pojazdy z silnikiem Multi-Jet (jak każdy silnik ZS) odznaczają się większymi kosztami produkcji/zakupu [do kilkunastu % w stosunku do silników ZI] oraz niskimi kosztami eksploatacji – ale do czasu pierwszych usterek pogwarancyjnych.

W ocenie autorów silnik Multi-Jet może stanowić atrakcyjną alternatywę dla silnika Twin-Air, gdyby rozważyć niskie koszty codziennej eksploatacji. Pod względem dynamiki jazdy wybór pojazdu z silnikiem Twin-Air jest bardziej uzasadniony. Należy pamiętać, iż priorytet zakupowy uzależniony jest jednak w dużym stopniu od indywidualnych preferencji klienta.

Silniki 1.0 EcoBoost i 1.6 TDCI spełniają założenia koncepcji downsizingu i wykazują relatywnie lepsze parametry użytkowe i

trwałościowe w stosunku do silników poprzedzających. Szczególnie duże obniżenie pojemności zastosowano dla silnika EcoBoost (o 37%). Reasumując:

- + pod względem parametrów użytkowych i przyjemności z jazdy przewagę wykazuje silnik EcoBoost – jako jednostka trzycylindrowa (małe straty tarcia),
- + silną stroną silnika TDCI to niskie spalanie, choć – według danych producenta – spalanie silnika EcoBoost (jak na ZI), pozostaje relatywnie korzystne,
- + pod względem trwałościowym silnik TDCI Econetic pozostaje atrakcyjniejszy – z uwagi na niższe średnie prędkości tłoka niż w wariancie EcoBoost,
- + w przypadku zakupu samochodu z silnikiem TDCI należy liczyć się z wysokimi kosztami serwisu pogwarancyjnego. Koszty produkcji/zakupu samochodu z silnikiem EcoBoost pozostają relatywnie wysokie w stosunku do silników TDCI.

W ocenie autorów silnik 1.6TDCI nie stanowi wyraźnej alternatywy dla wariantu EcoBoost. Rozwiązanie benzynowe odznacza się korzystną elastycznością, dużym poziomem mocy i relatywnie niskim spalaniem.

Tab. 3. Ocena silników realizujących koncepcję downsizingu w ujęciu silnik ZI stosunku do silnika ZS

1.0 EcoBoost 73kW [Ford Focus III]			1.6 TDCI Econetic 77kW [Ford Focus III]
Parametry ekologiczne i użytkowe wpływające na codzienną eksploatację			
Stosunkowo niskie spalanie jak na silnik ZI. Emisja CO ₂ w normie.	+	++	Spalanie relatywnie niskie. Emisja CO ₂ w normie.
Bardzo wysokie wysilenie N_v (wysoka moc z stosunkowo bardzo małej pojemności). Stosunkowo wysokie p_e (potencjalnie ↑ sprawności przy aspekcie wysokiego doładowania rekompensującego osiągi)	++	+	umiarkowane wysilenie N_v (adekwatne jak na badane silniki ZS) umiarkowane p_e jak na badane silniki ZS
wysoki moment jak na silnik ZI (przy niskiej prędkości obrotowej), nieco wyższy od poprzednika	+	++	bardzo wysoki moment obrotowy (wyższy niż w EcoBoost) przy umiarkowanej $n_{obr.}$
duża dynamika jazdy (wysoki moment, wysoka moc)	++	+	dynamika jazdy (bardzo wysoki moment, umiarkowana moc)
Wysoka elastyczność (prędkościowa i mieszana), korzystny przebieg momentu obrotowego	++	+	Elastyczność porównywalna z innymi silnikami ZS.
Relatywnie duże rozpiętości prędkości obrotowej dla przedziału 95%Mmax.	++	+	Relatywnie umiarkowana rozpiętość prędkości obrotowej dla przedziału 95%Mmax
Parametry wpływające na trwałość			
Stosunkowo niskie średnie prędkości tłoka dla Mmax.(potencjalny akceptowalne trwałości). Bardzo wysokie średnie prędkości dla Nmax.	-/+	+	Średnie prędkości tłoka porównywalne z innymi silnikami ZS
Korzystne z punktu widzenia sprawności i strat cieplnych proporcje wymiarowe (S/D)	+	+	Korzystne z punktu widzenia sprawności i strat cieplnych proporcje wymiarowe (S/D)
Inne uwagi i zastrzeżenia			
Bardzo wysokie wskaźniki elastyczności (obliczane wg danych producenta) – w rzeczywistości należy spodziewać się wartości niższych	0	-	wysoki koszt zakupu i produkcji względem ZI, wysokie koszty serwisowania pogwarancyjnego
wysokie N_v i p_e przy niskich prędkościach obr. może wymuszać stosowanie wysokiej klasy materiałów układu korbowego (znaczne obciążenia) – koszty!!	-	-	problematyczność oczyszczania filtra DPF – częste zapychanie przy częstej jeździe miejskiej

4. Podsumowanie

Analiza parametrów pracy wybranych silników downsized pozwoliła określić wnioski ogólne. Synteza ogólna pozwala stwierdzić, iż cechy charakterystyczne związane z silnikami typu downsized, to:

- + redukcja pojemności skokowej w ujęciu średnim o 24%(ZI), 18% (ZS),
- + powszechne zastosowanie systemów doładowania w wariantach turbosprężarkowym lub mieszanym (np. TSI) – jako sposób rekompensaty osiągow (mocy),
- + tendencja do konstrukcyjnego obniżania stopnia sprężania (na skutek doładowania), choć w przypadku niektórych konstrukcji obniżenie to jest niewystarczające (Twin-Air),
- + zwiększone wysilenie (N_V : moc z objętości) w stosunku do silników poprzedzających,
- + zmniejszenie zużycia paliwa w cyklach jezdnych w modelach samochodów z silnikami [downsized], w stosunku do modeli poprzedzających – *według danych producenta*,
- + obniżenie średniego, procentowego spadku zużycia paliwa – szczególnie w ZI [downsized],
- + niemal powszechna implementacja technologii wtrysku bezpośredniego benzyny w silnikach ZI [downsized] – jako wyraz \searrow spalania na obciążeniach częściowych (miasto),
- + zmniejszona emisyjność CO_2 (spełnienie planowanych rozporządzeń UE na rok 2015), szczególnie w pojazdach segmentów małych/miejskich (A/B),
- + intensywne rynkowe promowanie związane z koniecznością spełniania obowiązkowych norm emisyjnych, a w kontekście sprzedaży w samochodach miejskich zintegrowane z ukierunkowaną strategią sprzedażową koncernów, mającą na celu \searrow średnich wartości emisyjności CO_2 dla pojazdów koncernu,
- + tendencja do zwiększania bezwzględnych wartości maksymalnych momentów obrotowych, dostępnych od niskich prędkości obrotowych i w relatywnie szerokim ich zakresie (szczególnie dla silników ZI[downsized]),
- + tendencja do spłaszczania przebiegów momentów maksymalnych – zasadność analizy zmodyfikowanych wskaźników elastyczności prędkościowej,
- + istnienie przedziałów prędkości obrotowej δ_2, δ_1 przy zależności: $\delta_2 > \delta_1$ – jako rezultat barier technicznych przesuwania quasi-max. wartości momentów w stronę bardzo niskich prędkości obrotowych (np. z uwagi na bezwładność turbosprężarki),
- + zwiększenie elastyczności ogólnych w stosunku do silników poprzedzających – jako przejaw większej zdatności do codziennej eksploatacji z niskimi prędkościami obrotowymi przy wysokich momentach obrotowych,

- + zwiększenie średniego ciśnienia użytecznego w stosunku do silników poprzedzających (średni p_e ZI $>$ p_e ZS), a więc szacunkowe większe wysilenie i \nearrow sprawności mechanicznych,
- + konieczność implementacji bardziej wytrzymałych materiałów konstrukcyjnych, co wynika ze zwiększonych p_e i tendencjach do eksploatacji silnika przy niskich prędkościach obrotowych i wysokich obciążeniach (zwiększonych ciśnieniach spalania),
- + tendencje do współpracy z zautomatyzowanymi skrzyniami wielobiegowymi (7–9 przełożeń), celem efektywnego wykorzystania momentu obrotowego na wysokich biegach \rightarrow przy niskich prędkościach obrotowych $\rightarrow \searrow$ zużycia paliwa,
- + zasadność stosowania systemów doładowania o małej bezwładności i sterowania rozrządem skutkująca większą mocą, elastycznością i dobrym przebiegiem momentu,
- + dążenie do zachowywania możliwie niskich średnich prędkości tłoków, co korzystnie wpływa na trwałość,
- + generalne zachowywanie korzystnych proporcji wymiarów głównych, maksymalizujących sprawność (generowany moment) i minimalizujących straty cieplne,

Ocena alternatyw silnikowych w wariantach [downsized ZI stosunku do downsized ZS] może zostać sprowadzona do następujących wniosków:

- + w kontekście analizy parametrów można zauważyć powtarzalny wzór zależności:
 - o przewagę silników downsized ZI w aspektach użytkowych (elastyczność i stosunkowo wysokie wartości momentów (niemal dorównujące silnikom ZS), lepsza dynamika jazdy, wysokie wysilenie (p_e , poziom mocy), niższe koszty serwisowania pogwarancyjnego,
 - o przewagę silników downsized ZS w aspektach oszczędności eksploatacji (ale tylko w wariantach zużycia paliwa) oraz aspektach trwałościowych – choć oba rodzaje silników wykazują duży potencjał do zachowania wysokiej, a być może nawet porównywalnej trwałości (preferowanie eksploatacji przy niskich prędkościach obrotowych),
- + dodatkowo dla nowoczesnych silników ZS należy uwzględnić wysokie koszty napraw pogwarancyjnych, problematyczność niektórych rozwiązań (filtry DPF), wysokie koszty zakupu i przewidywany dalszy ich wzrost po wprowadzeniu Euro VI (wzrost o 5 – 7%),
- + analiza porównawcza przyjętych alternatyw to zagadnienie złożone. Poza parametrami operacyjnymi, uwzględniać należy autosegment pojazdu (jego przyszłe przeznaczenie) oraz indywidualne preferencje klienta, bardzo często stanowiące kluczowy czynnik zakupowy.

Reasumując powyższe bezdyskusyjną kwestią jest zauważalna praktyczna realizacja głównych założeń teoretycznych koncepcji downsizingu przez nowoczesne silniki [downsized]. Za aspekt rozszerzający informacyjną wartość analizy można by uznać głębsze rozeznanie faktycznego stanu spalania według opinii codziennych użytkowników pojazdów z silnikami [downsized]. Należy przypuszczać, iż w odniesieniu do silników poprzedzających

z pewnością jest on niższy, lecz pytanie czy opłacalny w kontekście podwyższonych kosztów zakupu mocno wysiłonego silnika downsized.

Publikacja powstała w ramach realizacji projektu badawczego nr 5178/B/T02/2011/40 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Bibliography/Literatura

- [1]. Jastrzębska G.: Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wyd. WNT. Warszawa. 2007. S.150-153
- [2]. Merksiz J. Pielecha I. Alternatywne napędy pojazdów. Poznań. Wyd. Politechniki Wrocławskiej. Wydanie I. 2006. ISBN: 978-83-7143-260-6
- [3]. Śliwiński K.: Downsizing – nowy kierunek rozwoju silników samochodowych. Silniki spalinowe, PTNSS. 2/2004. ISSN: 0138-0346
- [4]. Wisłocki K.: Przyszłość samochodowych silników spalinowych: tendencje, czynniki rozwoju rynku, współzawodnictwo technologii. Silniki spalinowe, PTNSS. 3/2005. ISSN: 0138-0346
- [5]. Grabowski T.; 10 najlepszych silników – przegląd jednostek napędowych. Motor 37/2012. ISSN 0580-0447
- [6]. Klonowski M.: Mniej, ale wydajniej – downsizing silników. Motor 12/2012. ISSN 0580-0447.
- [7]. „Wielkości charakterystyczne silnika – charakterystyki eksploatacyjne silnika. Kompendium wiedzy” . Dostęp: 01.XI.2012. [on-line]. <http://www.mototechnika.republika.pl/pliki/wskazniki.html>.
- [8]. Materiały prasowe koncernu FAP. Dostęp: 10.I.2013. [on-line] http://www.airtechnologies.fiat.com/petrol_engine.html.
- [9]. Materiały prasowe koncernu FAP. Dostęp: 5V.I.2010. [on-line] : <http://www.fiatpress.pl/Fiat/ Informacje-produktowe/119/53/Silniki-spod-znaku-ekologii.html>
- [10]. Oficjalna strona Ford Motor Company. Dostęp: 10.I.2013. [on-line]: <http://www.ford.pl/Technologie/ECONetic>.
- [11]. Society of Automotive Engineers – SAE. Article: Ford's new 1.0-L EcoBoost Dostęp: 10.I.2013. [on-line]: <http://www.sae.org/mags/aei/10714>
- [12]. Portal motoryzacyjny moto.pl: Focus 1.0 EcoBoost. Dostęp [03.01.2013]. [on-line]: http://moto.pl/MotoPL/1,88389,11188122,Focus_1_0_EcoBoost_od_63_050_zl.html

Bartosz Hejny, Eng. – undergraduate of the Faculty of Mechanical Engineering at University of Bielsko-Biala

Inż. Bartosz Hejny – absolwent Wydziału Budowy Maszyn Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej



Dariusz Pietras, DEng. – assistant professor in the Faculty of Mechanical Engineering at University of Bielsko-Biala

Dr inż. Dariusz Pietras – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej

