

## STATISTICAL ANALYSIS OF PARAMETERS OF COMBUSTION ENGINES INTRODUCED TO EXPLOITATION AFTER DIFFERENT PERIODS THEIR PRODUCTION

Lech J. Sitnik

Wroclaw University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering  
Institute of Machine Design and Operation  
Ign. Lukaszewicza 7/9, 50-371 Wroclaw, Poland  
tel. (Fax) +48 022 71 347 79 18  
e-mail: lech.sitnik@pwr.wroc.pl

### Abstract

Investigations were conducted two parties after 30 combustion engines about sparkle ignition the same type and kind every. The row of parameters in investigations was marked characterizing the engines. Got results were analyzed statistically. With verification this results, that some parameters of engines, the same party (how np. maximum rotational moment) they characterize from value of average with comparatively small dispersions. Deviations these contain in borders several percentage what it was it been possible to treat as value in borders of measuring mistakes. Different however, (how for example the temperature of fumes) the larger fluctuations show. It the unexpectedly large dispersions were noticed was near steering parameters of engine such how the relation of air to fuel or else the angle of outdistancing the ignition. Dispersions these come, near small speeds of crank rampart, to tens percentage and get smaller to a dozen or so percentage in measure of growth of rotational speed. It is then the unexpected result especially that set the dispersions of value practically such do not influence on parameters of engines how maximum rotational moment or else the isolated waste of fuel. Every party was has brought back it is possible observations these to engines. It was noticed was however the differences in parameters of engines from both parties. The studied parties of engines were produced in comparatively distant temporary compartment two quarters. Proof was the aim of work or noticed differences between parties are essential.

**Keywords:** combustion engines, performance, statistical verification

## ANALIZA OSIĄGÓW SILNIKÓW SPALINOWYCH WPROWADZANYCH DO EKSPLOATACJI PO RÓŻNYCH OKRESACH ICH WYTWARZANIA

### Streszczenie

Przeprowadzono badania hamowniane dwu partii po 30 silników spalinowych o zapłonie iskrowym tego samego typu i rodzaju każda. W badaniach wyznaczono szereg parametrów charakteryzujących silniki. Przeanalizowano statystycznie uzyskane rezultaty. Z weryfikacji tej wynika, że niektóre parametry silników, tej samej partii (jak np. maksymalny moment obrotowy) charakteryzują się stosunkowo małymi rozrzutami od wartości średniej. Odchylenia te zawierają się w granicach kilku procent co można potraktować jako wartości w granicach błędów pomiarowych. Inne natomiast, (jak np. temperatura spalin) wykazują fluktuacje większe. Nieoczekiwanie duże rozrzuty zauważono przy nastawach silnika takich jak stosunek powietrza do paliwa czy też kąt wyprzedzenia zapłonu. Rozrzuty te dochodzą, przy małych prędkościach wału korbowego, do kilkudziesięciu procent i zmniejszają się do kilkunastu procent w miarę wzrostu prędkości obrotowej. Jest to wynik nieoczekiwany zwłaszcza, że rozrzuty wartości nastaw praktycznie nie wpływają na osiągi silników takie jak maksymalny moment obrotowy czy też jednostkowe zużycie paliwa. Spostrzeżenia te odnieść można do silników każdej partii. Zauważono jednak różnice w osiąгах silników z obu partii. Badane partie silników wyprodukowano w stosunkowo odległym przedziale czasowym dwu kwartałów. Celem pracy było wykazanie czy zauważone różnice między partiami są istotne.

**Słowa kluczowe:** silniki spalinowe, osiągi, weryfikacja statystyczna

## 1. Wstęp

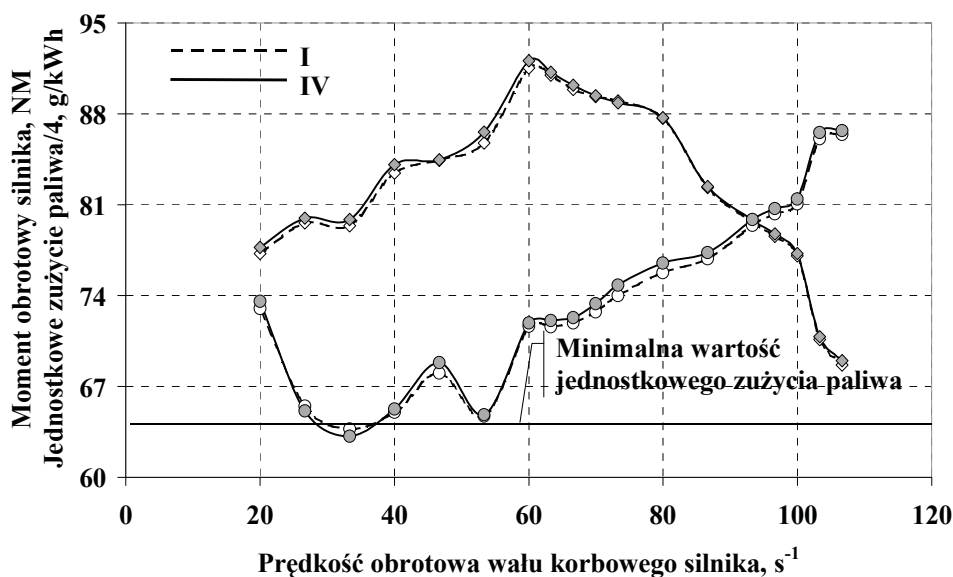
Produkcja silników spalinowych jest od kilkadziesiąt już lat produkcją wielko seryjną. Produkty tak uzyskiwane charakteryzują się nieodzownym rozrzutem cech, a w przypadku silników spalinowych również rozrzutem osiąarów. Jednak postępujący wzrost wymagań, wynikający głównie z potrzeby sprostania coraz ostrzejszym normom emisji toksycznych składników spalin przy wzroście jednostkowej mocy i obniżaniu jednostkowego zużycia paliwa, a także koniecznością zapewnienia trwałości i niezawodności silników, prowadzą do konieczności zastrzania reżimów produkcyjnych. Jednak trwałość i niezawodność maszyn i urządzeń linii produkcyjnych ulega w trakcie wytwarzania silników zmianom. Skutkuje to zmianami parametrów technologicznych silników i w ślad za tym również zmianami ich osiąarów, w tym proekologicznych.

Rodzi się pytanie czy rzeczywiście tak jest tzn. czy w miarę upływu czasu parametry technologiczne silników zmieniają się. Pytanie to jest o tyle uzasadnione, że dąży się do tego, a dbają o to odpowiednie służby technologiczne, by taśmę produkcyjną opuszczały wyroby o niezmiennych parametrach. Dalsze pytanie, które się rodzi to czy ew. zmiany technologiczne wpływają w sposób znaczący na osiąagi silników. Celem niniejszej pracy jest analiza wybranych aspektów tej ostatniej kwestii. Problem analizowano zatem pośrednio analizując osiąagi silników. Aby analizować bowiem same parametry technologiczne należałoby bardzo dokładnie mierzyć poszczególne elementy silników przed ich zmontowaniem. Wyniki takich pomiarów są znane z reguły producentom silników, a zwłaszcza dostawcom poszczególnych maszyn i urządzeń linii technologicznych. Wyniki te nie są z reguły udostępniane. Z drugiej strony dla odbiorców silników czy wręcz pojazdów przez te silniki napędzanych nie są one też interesujące. Odbiorcę interesują raczej osiąagi silników, a zwłaszcza takie wielkości jak maksymalna moc, maksymalny moment obrotowy czy minimalne jednostkowe zużycie paliwa. I te właśnie parametry poddano analizie w niniejszej pracy. Ponieważ są one wskaźnikami wzajemnie powiązanymi to przedstawiono tu jedynie dane odnoszące się do momentu obrotowego oraz jednostkowego zużycia paliwa.

Prezentowane w niniejszej pracy rozważania przedstawiono na podstawie wyników pomiarów hamownianych dwu partii silników o zapłonie iskrowym. Badano po 30 silników tego samego typu i rodzaju. Badania poszczególnych partii prowadzono w odstępie czasowym dwu kwartałów. Umownie zapisano zatem, że prowadzono badania hamowniane partii po 30 silników w I i IV kwartale roku produkcyjnego (przebadano zatem łącznie 60 silników). Po zgromadzeniu wyników na kartach pomiarowych stworzono odpowiednią bazę danych. Z bazy tej wybrano dane służące do sporządzenia prędkościowych charakterystyk zewnętrznych.

W pracy przedstawiono charakterystyki zewnętrzne maksymalnego momentu obrotowego i odpowiadającego mu jednostkowego zużycia paliwa. Dla tych wielkości wykonano analizy wyznaczając podstawowe wielkości analizy statystycznej takie jak średnia, odchylenie standardowe czy współczynnik zmienności, a także rozkłady statystyczne. Wyznaczono również niektóre parametry tych rozkładów w tym kurtozę i skośność. Dane te przedstawiane w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika były podstawą dalszych analiz. Okazało się, że są one zmienne w całym zakresie prędkości obrotowych, przy czym w stosunku do niektórych parametrów silnika zmienność ta jest stosunkowo duża [2].

Również średnie wartości poszczególnych osiąarów silnika zmieniały się w funkcji prędkości obrotowej (co jest oczywiste) natomiast nie zakładano, że średnie te będą się różnić w zależności od tego kiedy dana partia silników została wyprodukowana. Jednak różnice takie (choć niewielkie) występują – co widać już z pobieżnej analizy danych zilustrowanych wykresem na rysunku 1. Trzeba tu zwrócić uwagę na skalę wykresu. Gdyby przedstawiono analizowane dane w naturalnej skali byłoby trudno rozróżnić przebiegi poszczególnych wielkości. Na podstawie danych statystycznych starano się wyjaśnić czy niewielkie, zaobserwowane różnice są istotne tzn. czy można statystycznie wykazać, iż różnice te rzeczywiście występują.



Rys. 1. Średnie wartości maksymalnego momentu obrotowego, maksymalnej mocy oraz odpowiadającego im jednostkowego zużycia paliwa w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika, partii silników wyprodukowanych w I i IV kwartale roku

Fig. 1. The averages of value of maximum rotational moment, maximum power as well as the answering them isolated waste of fuel in function of rotational speed of rampart crank engine, the party of engines produced in I and IV quarter of year

## 2. Akwizycja danych

### 2.1. Przedmiot badań

Przedmiotem badań były silniki o zapłonie iskrowym. Są to jedne z najnowocześniejszych małolitrażowych jednostek napędowych dostępnych na rynku motoryzacyjnym. Wybrane parametry badanych silników zestawiono w poniższej tabeli.

Tab. 1. Wybrane dane techniczne badanych silników.  
Tab. 1. Technical parameters of the investigated engines

| Lp. | Dane techniczne badanych silników           |                             |
|-----|---|-----------------------------|
| 1   | Rodzaj                                      | Rzędowy, trzy cylindrowy    |
| 2   | Rodzaj paliwa                               | Benzyna 95 oktan lub wyższa |
| 3   | Mechanizm zaworów                           | DOHC 12 – zaworowy          |
| 4   | Pojemność, cm <sup>3</sup>                  | ≈ 1000                      |
| 5   | Średnica x skok tłoka, mm                   | 71.0 x 84.0                 |
| 6   | Stopień sprężania, MPa                      | 11.2                        |
| 7   | Moc maksymalna wg DIN, kW/min <sup>-1</sup> | 45,5 – 50,3/6000            |
| 8   | Moment maksymalny, Nm/ min <sup>-1</sup>    | 86,9 – 96,1/3600            |
| 9   | Minimalne zużycie paliwa                    | ≤ 255 g/kWh                 |

### 2.2. Warunki pomiarów

Pomiary prowadzono przy zachowaniu następujących warunków:

- rodzaj paliwa (użyto zalecanego przez wytwórcę silników), przy czym paliwo pochodziło z jednej partii dostaw i było atestowane,
- pomiar poszczególnych wielkości przeprowadzono w ustabilizowanych warunkach pracy silnika, to jest moment obrotowy, prędkość obrotowa, temperatura cieczy chłodzącej, powietrza chłodzącego, oleju i spalin była stała w czasie przez co najmniej 1 minutę,

- prędkość obrotowa wału korbowego nie zmieniała się w czasie trwania pomiarów więcej niż  $\pm 1\%$  lub  $\pm 10 \text{ min}^{-1}$  od wartości założonej, przy czym przyjmowano większą z tych granic,
- pomiary prędkości obrotowej i zużycia paliwa trwały co najmniej 30 sekund (pomiar wykonywano automatycznie),
- pomiary momentu obrotowego, zużycia paliwa i temperatury zasysanego powietrza prowadzono równocześnie, przy czym za wynik przyjmowano średnią z dwóch stabilnych wartości różniących się od siebie nie więcej niż o 2%,
- zagwarantowano by liczba punktów pomiarowych była dostateczna dla uzyskania charakterystyk silnika,
- dla uzyskania charakterystyk zewnętrznych pomiary mocy należy prowadzić przy całkowicie otwartej przepustnicy.

Badania prowadzono wykorzystując stanowisko hamowniane umieszczone w specjalnej kabine testowej pozwalającej zachować omówione warunki badań zapewniając przy tym ich powtarzalność. Kabinę testową tego typu wyposażono w podstawy do zamontowania silnika, dynamometr, skrzynię połączeń pomiarowych, automatyczny system Test Cell Manager (TCM) oraz system regulacji parametrów FEV, Air Con (system doprowadzający powietrze do silnika), Cool Con (system chłodzenia silnika), Fuel Con (system doprowadzający paliwo) i Fuel Rate (przepływomierz). Silnik i dynamometr są połączone za pomocą wału Kardana.

Poprzez zastosowanie w ścianach kabiny materiałów tłumiących hałas wraz ze zwiększoną grubością ścian kabiny uzyskano zmniejszenie uciążliwego hałasu powstającego podczas pracy silnika, który ponadto praktycznie nie wydostaje się poza kabinę testową.

Wyniki pomiarów archiwizowano w arkuszach pomiarowych. Wyciąg z arkusza pomiarowego przedstawia się następująco:

Tab. 2. Wyciąg z arkusza pomiarowego wyników pomiarów  
Tab. 2. Extract from measuring sheet of results of measurements

| Date     |         | Idle Condition |        |                           |               | Before B/I |        | After B/I |       | Compression |            |            |       |       |             |              |
|----------|---------|----------------|--------|---------------------------|---------------|------------|--------|-----------|-------|-------------|------------|------------|-------|-------|-------------|--------------|
| DY Speed | DY Load | Corrected      |        | Specific fuel consumption | Spark advance | Water Temp |        | Oil       |       | Ex-Gas Temp | Back Press | Intake Air |       | A/F   | Blow-by-Gas | Corr. factor |
|          |         | Power          | Torque |                           |               | Inlet      | Outlet | Temp      | Press |             |            | Temp       | Press |       |             |              |
| rpm      | Nm      | kW             | Nm     | g/kWh                     | °             | °C         | °C     | °C        | kPa   | °C          | kPa        | °C         | kPa   | Raio  | L/min       | ---          |
| 1200     | 73,3    | 9,8            | 77,9   | 293                       | 2,25          | 86,5       | 87,7   | 72,4      | 231   | 548         | 1,62       | 25,1       | -0,20 | 12,70 |             | 1,063        |
| 1600     | 75,5    | 13,4           | 80,2   | 263                       | 3             | 86,4       | 88,0   | 71,2      | 322   | 633         | 2,31       | 25,0       | -0,27 | 14,40 |             | 1,063        |
| 2000     | 74,5    | 16,6           | 79,1   | 257                       | 9,75          | 87,0       | 89,3   | 71,0      | 400   | 687         | 3,44       | 25,0       | -0,29 | 14,50 |             | 1,063        |
| 2400     | 78,4    | 20,9           | 83,4   | 259                       | 13,5          | 85,9       | 87,9   | 71,7      | 423   | 691         | 4,85       | 25,1       | -0,41 | 13,60 |             | 1,063        |
| 2800     | 79,3    | 24,7           | 84,4   | 270                       | 15            | 85,5       | 88,3   | 73,0      | 437   | 688         | 6,74       | 25,3       | -0,61 | 12,50 |             | 1,064        |
| 3200     | 80,4    | 28,6           | 85,5   | 258                       | 12,75         | 85,8       | 88,5   | 75,0      | 443   | 754         | 9,78       | 25,3       | -1,07 | 13,70 |             | 1,064        |
| 3600     | 86,2    | 34,6           | 91,8   | 285                       | 17,75         | 85,7       | 88,4   | 77,6      | 447   | 754         | 14,95      | 25,5       | -1,59 | 11,90 |             | 1,065        |
| 3800     | 85,6    | 36,3           | 91,2   | 285                       | 16,1          | 85,8       | 88,5   | 80,3      | 455   | 757         | 16,68      | 25,7       | -1,81 | 11,90 |             | 1,065        |
| 4000     | 84,0    | 37,5           | 89,5   | 287                       | 18,75         | 85,7       | 88,4   | 82,8      | 455   | 768         | 18,51      | 25,8       | -2,10 | 12,00 |             | 1,065        |
| 4200     | 83,9    | 39,3           | 89,4   | 288                       | 17,25         | 85,6       | 88,4   | 85,1      | 457   | 774         | 20,64      | 26,0       | -2,33 | 11,90 |             | 1,066        |
| 4400     | 83,3    | 40,9           | 88,9   | 295                       | 18,7          | 85,5       | 88,3   | 87,4      | 459   | 784         | 23,27      | 26,2       | -2,44 | 11,70 |             | 1,067        |
| 4800     | 82,4    | 44,1           | 87,9   | 302                       | 20,25         | 85,2       | 88,3   | 90,0      | 462   | 776         | 27,03      | 26,3       | -2,66 | 11,30 |             | 1,067        |
| 5200     | 77,1    | 44,8           | 82,3   | 307                       | 24,25         | 84,9       | 88,1   | 93,0      | 460   | 775         | 28,64      | 26,5       | -2,63 | 11,30 |             | 1,067        |
| 5600     | 74,7    | 46,8           | 79,8   | 316                       | 29,25         | 84,9       | 88,1   | 96,0      | 454   | 782         | 32,97      | 26,6       | -2,89 | 11,10 |             | 1,068        |
| 5800     | 73,7    | 47,8           | 78,8   | 320                       | 28,75         | 84,8       | 88,2   | 99,0      | 450   | 791         | 35,47      | 26,9       | -3,02 | 11,10 |             | 1,069        |
| 6000     | 72,4    | 48,6           | 77,4   | 322                       | 27            | 84,7       | 88,3   | 101,7     | 445   | 800         | 37,87      | 26,9       | -3,16 | 11,10 |             | 1,069        |
| 6200     | 65,3    | 45,3           | 69,8   | 349                       | 27,75         | 84,8       | 88,3   | 104,2     | 438   | 788         | 36,06      | 27,0       | -3,08 | 10,60 |             | 1,069        |
| 6400     | 63,5    | 45,5           | 67,9   | 350                       | 27,75         | 84,8       | 88,3   | 106,4     | 431   | 795         | 37,33      | 27,1       | -3,18 | 10,70 |             | 1,069        |

### 3. Statystyczna weryfikacja wyników pomiarów

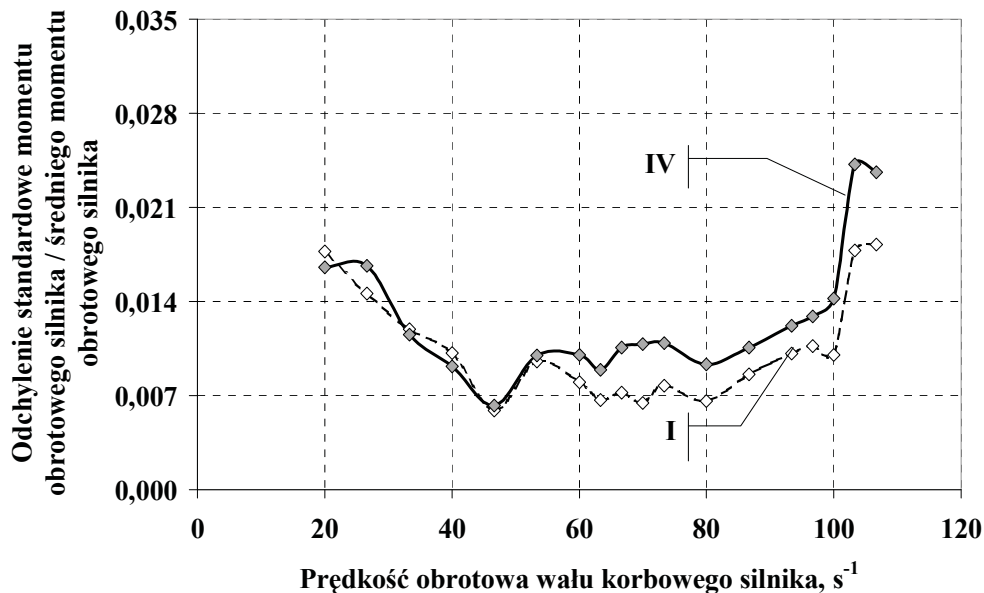
Wyniki pomiarów silników zgromadzono w 60 (2x30) arkuszach pomiarowych. Stały się one podstawą do dalszych obliczeń i wniosków na ich podstawie.

Wyniki pomiarów obu partii silników potraktowano jako niezależne próby statystyczne. W analizie statystycznej poszczególnych właściwości wyznaczano m. in.: średnią, błąd standardowy, medianę, tryb, odchylenie standardowe, wariancję, kurtozę, skośność, zakres, minimum, maksimum, oraz współczynnik zmienności.

Na rysunku 2 przedstawiono przebiegi wartości odchylenia standardowego maksymalnego momentu obrotowego silnika w proporcji do wartości średniej tego momentu w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika – silników obu badanych partii. Widać, że rozrzuty wartości maksymalnego momentu obrotowego silników produkowanych w późniejszym okresie są, w zasadzie prawie w całym zakresie prędkości obrotowej, większe.

Interesującym jest natomiast, że w zakresie prędkości obrotowej wału korbowego silnika do ok.  $50\text{s}^{-1}$ , a którym silniki wyprodukowane w IV kwartale charakteryzują się nieco wyższymi wartościami średnimi maksymalnego momentu obrotowego rozrzuty od tej wartości średniej są podobne w obu partiach silników. Przy wyższych prędkościach obrotowych wału korbowego rozrzuty maksymalnej jego wartości od średniej są wyraźnie wyższe w przypadku silników wyprodukowanych w IV kwartale jak rozrzuty silników wyprodukowanych w kwartale I. Z kolei średnie wartości maksymalnego momentu obrotowego silników obu partii praktycznie nie różnią się.

Podobną charakterystykę przedstawiono w odniesieniu do jednostkowego zużycia paliwa. Widać, że i w tym przypadku rozrzuty wartości jednostkowego zużycia paliwa silników produkowanych w późniejszym okresie, są większe praktycznie w całym zakresie prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Również średnie wartość jednostkowego zużycia paliwa w zasadzie wykazują również tę prawidłowość.

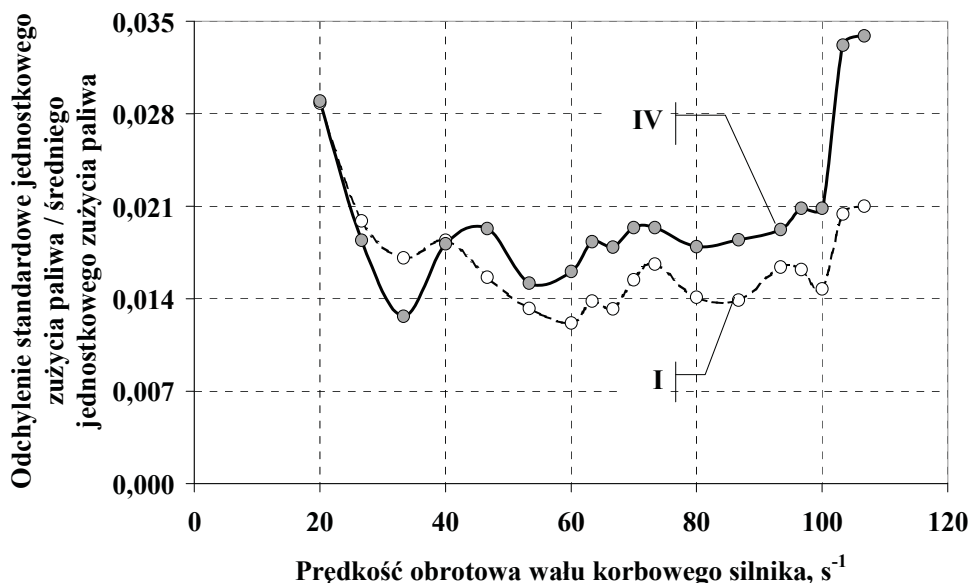


Rys. 2. Odchylenie standardowe wartości momentu obrotowego silnika w stosunku do wartości średniej momentu w funkcji prędkości obrotowej silnika

Fig. 2. Standard deviation of engine torque in relation to mean value of engine torque as function of engine crankshaft speed

Analizę mającą wyjaśnić czy właściwości silników z obu partii różnią się od siebie istotnie przeprowadzono porównując średnie poszczególnych wartości z obu prób.

Założono, że populacje generalne, z których pochodzą analizowane próby, mają rozkłady normalne, a odchylenia standardowe tych populacji jakkolwiek nieznanne to są jednakowe.



Rys. 3. Odchylenie standardowe wartości jednostkowego zużycia paliwa silnika w stosunku do wartości średniej jednostkowego zużycia paliwa w funkcji prędkości obrotowej silnika

Fig. 3. Standard deviation of engine specific fuel consumption in relation to mean value of engine specific fuel consumption as function of engine crankshaft speed

Założono dalej, że na podstawie dwu małych prób wylosowanych niezależnie z tych populacji należy zweryfikować hipotezę o równości średnich wobec hipotezy alternatywnej o nierówności średnich.

Test istotności dla tej hipotezy budowany jest tak, że z wyników obu prób oblicza się wartości średnie i wariancje a następnie wartość statystyki  $t$  z zależności:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}, \quad (1)$$

gdzie w przypadku analizowanej wielkości:

$t$  - wartość statystyki,

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$  - średnie wartości z obu partii silników,

$n_1, n_2$  - liczba analizowanych silników w obu partiach (w tym przypadku  $n_1 = n_2 = 30$ ),

$s_1^2, s_2^2$  - wariancje wartości średnich z obu partii silników,

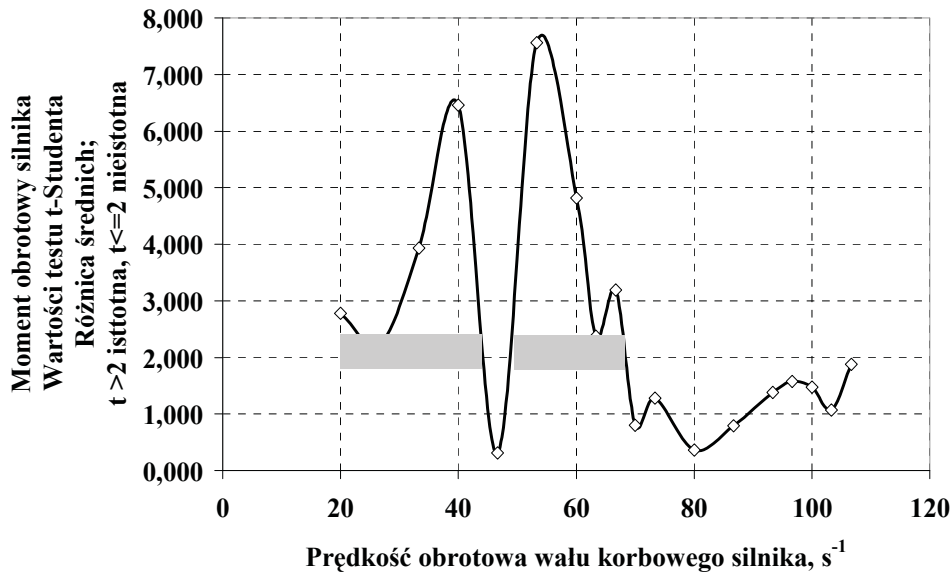
Statystyka  $t$  ma, przy założeniu prawdziwości hipotezy o nieistotności różnicy między średnimi wartościami danej wielkości, rozkład  $t$  Studenta o  $n_1 + n_2 - 2$  stopniach swobody. W związku z tym z tablicy rozkładu  $t$  Studenta należy odczytać przy  $n_1 + n_2 - 2$  stopniach swobody oraz przy założonym z góry poziomi e ufności  $\alpha$  taką wartość krytyczną  $t_{kr}$ , by spełniona była równość  $P\{|t| \geq t_{kr}\} = \alpha$ . Nierówność  $|t| \geq t_{kr}$  określa dwustronny obszar krytyczny testu, tzn., gdy porównuje się obliczoną wartość  $t$  z wartością krytyczną  $t_{kr}$  i nierówność ta jest spełniona to wówczas hipoteza o równości średnich może być odrzucona innymi słowy różnica między analizowanymi średnimi jest istotna.

Biorąc pod uwagę, że w przypadku omawianych badań silników

$$n_1 + n_2 - 2 = 30 + 30 - 2 = 58 \quad (2)$$

stopni swobody i przy przyjęciu, że  $\alpha = 0,05$  otrzymuje się wartość krytyczną  $t_{kr} = 2$  [1].

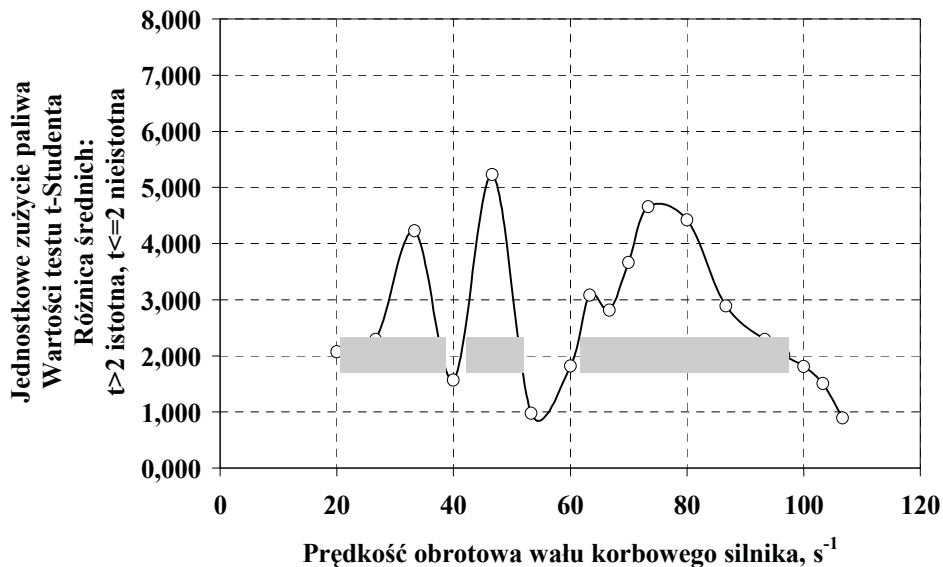
W prezentowanych badaniach wartości testu  $t$  wyznaczano w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika.



Rys. 4. Wartości statystyki  $t$  wyznaczone przy porównywaniu średnich maksymalnego momentu obrotowego obu badanych partii silników w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego  
 Fig. 4. The value of statistics  $t$  appointed near comparing values average maximum rotational moment both of studied parties of engines in function of rotational speed of crank rampart

Jeśli wziąć pod uwagę wyniki tej analizy to okazuje się, że różnice między średnimi wartościami maksymalnego momentu obrotowego silników obu partii występują do prędkości obrotowej wału korbowego silnika sięgającej prawie  $70s^{-1}$  (z małym wyjątkiem w zakresie  $44s^{-1}$  do  $50 s^{-1}$  i różnice te są istotne. Jest to zakres prędkości obrotowej wału korbowego silnika, w którym silniki są najczęściej eksploatowane.

Podobne zależności wyznaczono w przypadku jednostkowego zużycia paliwa. Zilustrowano je na rysunku 5.



Rys. 5. Wartości statystyki  $t$  wyznaczone przy porównywaniu średnich jednostkowego zużycia paliwa obu badanych partii silników w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego  
 Fig. 5. The value of statistics  $t$  appointed near comparing values average maximum rotational moment both of studied parties of engines in function of rotational speed of crank rampart

Tu różnice między średnimi wartościami jednostkowego zużycia paliwa silników z obu partii są istotne prawie w całym zakresie prędkości obrotowej wału korbowego silnika.

Jest interesującym, że minimalne zużycie paliwa podawane jako  $\leq 255$  g/kWh uzyskiwane jest jedynie w bardzo wąskim zakresie prędkości obrotowej wału korbowego silnika (praktycznie przy prędkości obrotowej rzędu  $33 \text{ s}^{-1}$ ). Silniki z partii I kwartału wykazują średnią wartość tego parametru na poziomie 254,87 g/kWh, podczas gdy silniki wyprodukowane w IV kwartale na poziomie odrobinę niższym 252,75 g/kWh. Przy prędkości obrotowej wału korbowego silnika  $60 \text{ s}^{-1}$  odpowiadającej maksymalnemu momentowi obrotowemu jednostkowe zużycie paliwa wynosi odpowiednio 286,62 g/kWh (I kwartał) oraz 287,60 g/kWh (IV kwartał). Komentując te wyniki można stwierdzić, iż nie są to wartości złe (zwłaszcza, że minimalne wartości jednostkowego zużycia paliwa nie występują z reguły przy parametrach charakterystyki zewnętrznej) i odpowiadają dzisiejszemu stanowi techniki. Wydaje się natomiast, że jest tu jeszcze sporo do zrobienia. Świadczy o tym choćby sam przebieg charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa. Przebieg ten nie jest monotoniczny. Występują tu wyraźne minima lokalne. A skoro występują minima lokalne to oznacza, że drogą dalszej optymalizacji powinno udać się osiągnąć obniżenie jednostkowego zużycia paliwa, a z nim również np. emisji  $\text{CO}_2$ .

#### 4. Zakończenie

Wielkoseryjna produkcja silników spalinowych skutkuje rozrzutem ich cech i również rozrzutem ich osiągnięć. Rozrzuty te zmieniają się w trakcie postępującej degradacji maszyn i urządzeń linii produkcyjnych. Celem prezentowanej pracy było wykazanie czy również osiągnięcia silników zmieniają się w trakcie postępującego kalendarzowego czasu ich wytwarzania. Postawiono hipotezę, że różnice osiągnięć silników produkowanych w postępujących po sobie różnych okresach czasu kalendarzowego występują i różnice te są istotne.

Weryfikację tej tezy przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów hamownianych dwu partii silników o zapłonie iskrowym wytworzonych w odstępie czasowym dwu kwartałów. Przebadano dwie partie silników po 30 silników tego samego typu i rodzaju każda (przebadano zatem łącznie 60 silników).

Wyniki pomiarów zgromadzono na kartach pomiarowych i stworzono z nich bazę danych.

Z bazy tej wybrano dane służące do sporządzenia prędkościowych charakterystyk zewnętrznych.

W pracy przedstawiono charakterystyki zewnętrzne maksymalnego momentu obrotowego i odpowiadającego mu jednostkowego zużycia paliwa.

Wykonano analizę statystyczną i wyznaczono szereg jej charakterystycznych wielkości. Wielkości te przedstawiane w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika były podstawą do stwierdzenia, że są one zmienne w całym zakresie prędkości obrotowej wału korbowego silnika, przy czym w stosunku do niektórych parametrów silnika zmienność ta jest stosunkowo duża. Dalej analizowano średnie wartości poszczególnych wielkości wyznaczone niezależnie z danych poszczególnych partii silników. Średnie te zmieniały się w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika i różniły się w poszczególnych partiach silników.

Przeprowadzono analizę statystyczną istotności różnic wartości średnich maksymalnego momentu obrotowego silnika. Stwierdzono, że różnice te są istotne z zakresie prędkości obrotowych wału korbowego silnika, które najczęściej występują w eksploatacji naturalnej. Stwierdzono również istotność różnic średnich wartości minimalnego jednostkowego zużycia paliwa. Różnice te są istotne w prawie całym zakresie prędkości obrotowych wału korbowego silnika.

Interesujące wydaje się być, że w miarę upływu kalendarzowego czasu wytwarzania silników, statystycznie rzecz ujmując ich moment obrotowy wzrastał – co jest zjawiskiem pozytywnym, ale jednocześnie wzrastało również jednostkowe zużycie paliwa – co jest zjawiskiem niepożądanym.



Wyniki przeprowadzonych pomiarów i ich statystycznej weryfikacji zdają się potwierdzać tezę, że osiągi wytwarzanych i wprowadzanych do eksploatacji w pojazdach silników zmieniają się wraz z postępującą degradacją parku wytwórczego. Zmian tych nie można jednoznacznie zakwalifikować jako pozytywne lub negatywne. Celowym wydaje się zatem prowadzenie dalszych prac i analiz mających na celu wyjaśnienie czy zaobserwowane zjawisko jest prawidłowością oraz jakie należałoby przedsięwziąć środki by postępująca degradacja parku wytwórczego (jeśli jedynie to zjawisko leżało u podstaw zaobserwowanych zmian) prowadziła do jednoznacznych zmian w osiąгах silników, zwłaszcza w przypadku jednostkowego zużycia paliwa.

## **Literatura**

- [1] Greń, J., *Statystyka matematyczna modele i zadania*, PWN Warszawa 1976.
- [2] Sitnik, L. J., *Statistical verification of combustion engines parameters*, Journal of KONES Powertrain and Transport, European Science Society of Powertrain and Transport Publication. Vol. 13, No. 4. pp. 175 – 182. KONES Warsaw 2006.

