

**Tomasz Szczepański**  
**Piotr Wiśniowski**  
Instytut Transportu Samochodowego

**TYPOWE ZADANIA REALIZOWANE PRZEZ SILNIK SPALINOWY  
W CZASIE EKSPLOATACJI ORAZ ICH ODWZOROWANIE  
W HAMOWNIANYCH TESTACH JEZDNYCH**

W artykule została zaprezentowana metoda syntezy testów jezdnych na podstawie analizy typowych zadań realizowanych przez silnik spalinowy. Algorytm obliczeniowy składa się z analizy pracy silnika służącej wyodrębnieniu typowych zadań i ich usystematyzowaniu oraz z syntezy nowych testów o charakterze uproszczonym. Celem tak powstałych testów jezdnych jest odwzorowywanie możliwie najbardziej dokładnie tych procesów pracy silnika, które są najbardziej interesujące z punktu widzenia ekologicznego lub które występują najczęściej w trakcie rzeczywistej eksploatacji silnika.

***TYPICAL TASKS PERFORMED BY COMBUSTION ENGINE  
DURING OPERATION AND THEIR MODELING  
IN THE DYNAMOMETER LABORATORY TESTING***

*This paper presents the method of synthesis driving tests based on analysis typical tasks performed by combustion engine. Calculation algorithm consist of analysis of engine work to extract the typical tasks and systematization of them, and after that synthesis of new tests with simplified character. The aim of the resulting driving tests is modeling in the most accurate way these processes of engine work that are the most interesting from the ecological point of view or are the most common in the real engine exploitation.*

## 1. Wprowadzenie

W stosowanych obecnie testach jezdnych wykonywanych w laboratoriach hamownianych obserwuje się znaczne niedoskonałości w odwzorowaniu rzeczywistych warunków pracy silnika spalinowego. Zakładane są przebiegi prędkości obrotowej silnika oraz momentu hamującego (lub wielkości z nimi powiązanych), które charakteryzują się określoną zmiennością w obrębie danego testu. W takiej sytuacji nie jest jednak możliwe rozważenie, jak wspomniane przebiegi (a więc narzucone warunki pracy silnika) wpływają na jego stan pracy oraz, które warunki mogą stanowić największe zagrożenie pod względem emisji substancji zanieczyszczających spaliny. Problem ten dotyczy szczególnie warunków dynamicznych, w których silnik trakcyjny pracuje przez większość czasu.[1, 2, 3, 5, 7, 11]

W niniejszym artykule została zaprezentowana metoda syntezy testów na podstawie typowych zadań realizowanych przez silnik. Tworzone za jej pomocą testy będą odpowiadały charakterystycznym cechom pracy silnika spalinowego, ponieważ będą wynikały z analizy jej specyfikacji.[9]

W pracy można wyróżnić dwa podstawowe zagadnienia:

- wyodrębnienie typowych zadań realizowanych przez silnik w trakcie jego eksploatacji,
- syntezę nowych testów na podstawie wybranych zadań realizowanych przez silnik.

Wśród mierzonych wielkości fizycznych towarzyszących pracy silnika można wyróżnić warunki pracy, jako ogół parametrów niezależnych od silnika (narzucających charakter jego pracy) oraz stan pracy silnika, jako ogół wielkości fizycznych wynikających z właściwości badanego silnika. Wszystkie parametry mogą być mierzone i rejestrowane z określoną częstotliwością, tworząc proces warunków i proces stanu pracy silnika, i mogą być wówczas zdefiniowane w dziedzinie dyskretnej [4, 6, 8].

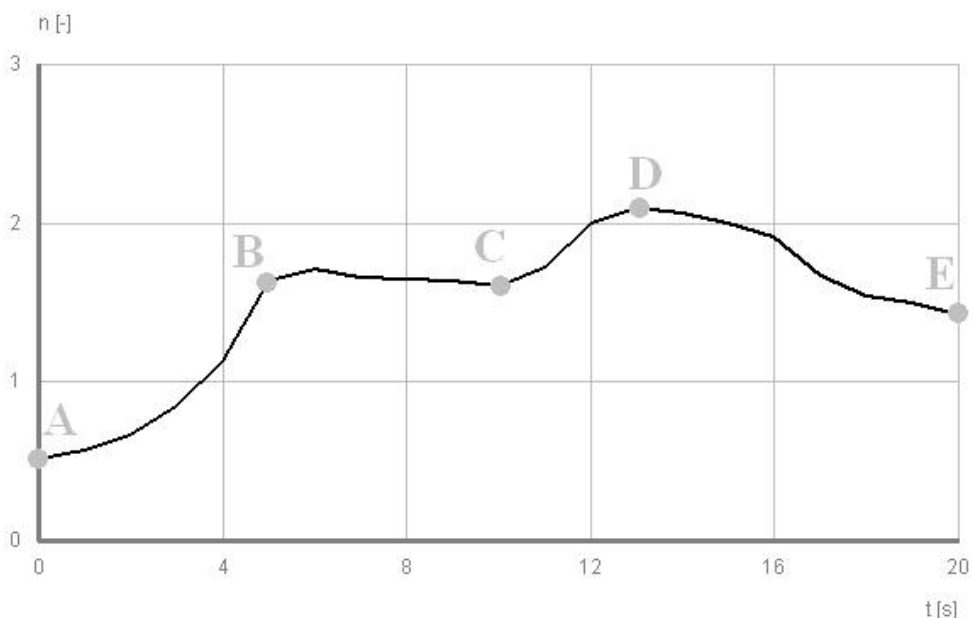
W niniejszym artykule kluczowym pojęciem jest zadanie realizowane przez silnik. Zadanie to składa się z kilku (lub więcej) kolejno występujących warunków pracy i odpowiadających im stanów pracy. W ten sposób zadanie jest krótkim procesem pracy silnika.

Zakłada się jednak, że zadanie realizowane przez silnik ma odpowiadać realizacji prostego celu, jak na przykład: zwiększaniu prędkości obrotowej wału korbowego silnika od prędkości początkowej do prędkości końcowej przy zadanym obciążeniu, czy utrzymaniu założonej prędkości obrotowej przy stałym lub zmiennym obciążeniu. Zadanie to reprezentuje więc elementarną czynność realizowaną za pomocą silnika przez operatora.[10, 12]

Na podstawie powyższych założeń zadanie realizowane przez silnik można zdefiniować jako proces przejścia po najkrótszej drodze od warunków początkowych do warunków końcowych pracy silnika. Kluczowym pojęciem w powyższej definicji jest „najkrótsza droga” przejścia. Oznacza ono, że w przypadku opisu warunków pracy silnika za pomocą wybranych parametrów, przebieg wszystkich parametrów można przedstawić za pomocą linii prostych, co wymusza dosłowną najkrótszą drogę w sensie geometrycznym, albo linii zbliżonych do linii prostych w przypadku, kiedy realizacja określonego procesu po linii prostej nie jest możliwa ze względów fizycznych. Gdyby przebiegi parametrów opisujących warunki pracy miały wyraźne załamania, rozważany proces należałoby podzielić na większą liczbę zadań. Oznaczałoby to bowiem, że nie jest realizowane ciągłe, proste przejście od warunków początkowych do końcowych [9].

Przykładowe zadania realizowane przez silnik na przykładzie przebiegu prędkości obrotowej zostały przedstawione na rys. 1. Jest to fragment przebiegu prędkości w teście

jezdnym FTP-75. Przejście od punktu A do punktu B jest pojedynczym zadaniem, chociaż nie odbywa się po linii prostej. Podobnie przejścia między kolejnymi punktami charakteryzują się pewnymi zakłóceniami przebiegu, ale wynikają one ze specyfiki pracy silnika, a nie ze zmiany realizowanego celu. Przejście od punktu A do E nie może być traktowane jako pojedyncze zadanie, ponieważ w międzyczasie zmienia się charakter zmian prędkości obrotowej silnika.



Rys. 1. Przykładowe zadania realizowane przez silnik  
*Fig. 1. An example of tasks performed by the engine*

Każde zadanie realizowane przez silnik składa się z poszczególnych warunków pracy silnika, w całości można je również traktować jako zadane warunki. W obrębie warunków zdefiniowanych przez zadanie można również rozpatrywać poszczególne stany pracy silnika (jako proces stanu pracy), albo określić stan średni występujący w danym zadaniu.

W dalszej części artykułu jest mowa o zadaniu jako o zadanych warunkach oraz o stanie pracy silnika (średnim lub sumarycznym) w danych warunkach.

## 2. Analiza testów jezdnych

W obrębie testu jezdnych, podobnie jak w czasie rzeczywistej eksploatacji trakcyjnej, silnik realizuje szereg kolejnych zadań. Omawiana metoda analizy testu jezdnych polega na ich wyodrębnieniu.

Pojęcie zadania realizowanego przez silnika zostało zdefiniowane jako proces przejścia po najkrótszej drodze od warunków początkowych do warunków końcowych pracy silnika. Tym samym zadanie reprezentuje elementarną czynność realizowaną za pomocą silnika przez jego operatora.

Powstaje istotny problem wyodrębniania tak zdefiniowanych zadań z rzeczywistego procesu pracy silnika.

### **Wielkości fizyczne definiujące zadania realizowane przez silnik**

Zadanie realizowane przez silnik, jako pojęcie opisujące warunki pracy silnika, może być zdefiniowane w dziedzinie dowolnych wielkości fizycznych wpływających na jego pracę. W prezentowanych poniżej przykładowych obliczeniach przyjęto, że wystarczającym opisem warunków pracy silnika będzie jego prędkość obrotowa. Wynika to z faktu, że pozostałe wielkości, takie jak moment hamujący stanowiący obciążenie wału korbowego silnika, czy parametr opisujący sterowanie silnikiem – są ściśle związane z prędkością obrotową. Na przykład moment hamujący wynika z oporów jazdy samochodu, a opory są ściśle skorelowane z prędkością obrotową silnika.

Powyższa decyzja jest jedynie przykładowym wyborem, sprzyjającym uproszczeniu prezentowanych obliczeń. W razie potrzeby uwzględnienia innych wielkości fizycznych podczas wyodrębniania zadań realizowanych przez silnik istnieje taka możliwość i zostanie ona przedstawiona w dalszej części artykułu. Na przykład potrzeba uwzględnienia momentu hamującego silnik zaistniałaby wówczas, gdyby w prowadzonych rozważaniach istniała potrzeba wyeksponowania wpływu momentu hamującego zmieniającego się niezależnie od prędkości obrotowej silnika.

### **Granice między zadaniami**

Istotne jest wyodrębnienie granic pomiędzy zadaniami. W przypadku, kiedy warunki pracy silnika (a zatem i zadania realizowane przez silnik) są opisane za pomocą samej prędkości obrotowej, będą to punkty graniczne w przebiegu prędkości obrotowej.

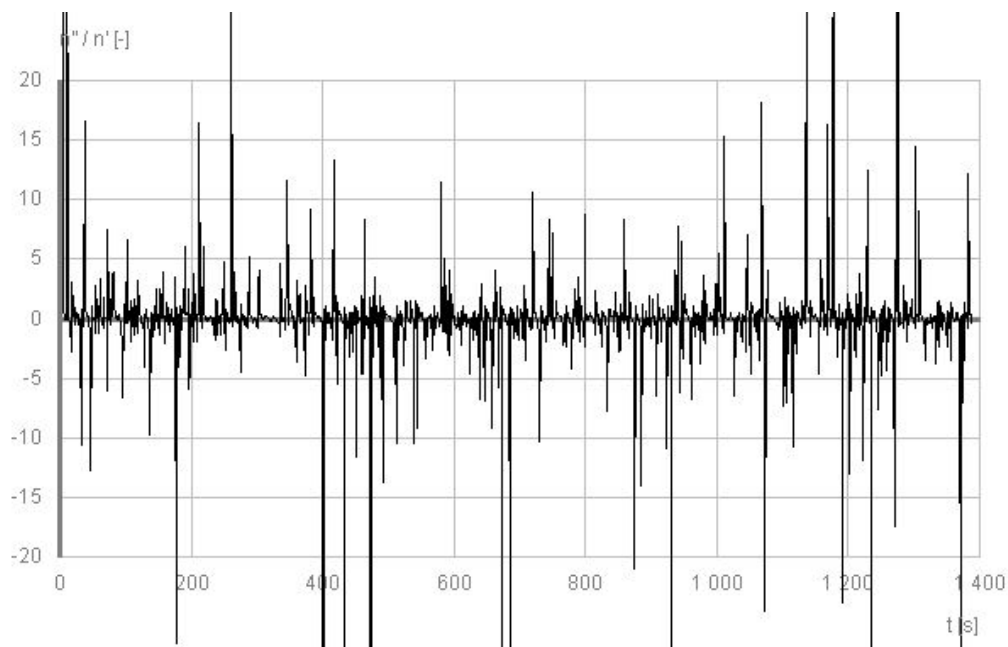
Sama zmienność prędkości obrotowej nie może stanowić kryterium granicznego pomiędzy zadaniami, ponieważ w obrębie pojedynczego zadania prędkość może się zmieniać. Zmiany te muszą mieć jednak charakter jednorodny. Teoretycznie należałoby więc poszukiwać zmienności pochodnej prędkości obrotowej względem czasu. Tam, gdzie wartość pochodnej zmienia się, tam zmianie ulega szybkość zmiany prędkości. Dobrym odwzorowaniem jest więc analiza pochodnej drugiego rzędu prędkości obrotowej silnika pod względem przekraczania wartości progowych.

Występuje problem z ustaleniem wartości progowej pochodnej drugiego rzędu prędkości obrotowej, przy której można mówić o punkcie granicznym pomiędzy zadaniami. Sama jej wartość zależy bowiem od wartości pochodnej pierwszego rzędu. W efekcie na przebiegu prędkości obrotowej, w miejscach gdzie przebieg jest stromy, wszelkie zakrzywienia przebiegu będą bardziej wyeksponowane przez pochodną drugiego rzędu, niż w miejscu gdzie przebieg prędkości obrotowej jest stosunkowo płaski.

Powyższy problem można dość łatwo wyeliminować, analizując stosunek pochodnej drugiego rzędu do pochodnej pierwszego rzędu prędkości obrotowej. Przebieg stosunku pochodnych został przedstawiony na rys. 2.

Na wspomnianym przebiegu stosunku pochodnych widoczne jest wielokrotne przekraczanie przez wartości funkcji skali przyjętej na wykresie. Takie gwałtowne skoki wartości wynikają z faktu, że przy pochodnej pierwszego rzędu dążącej do zera stosunek niezerowej wartości pochodnej drugiego rzędu do pochodnej pierwszego rzędu dąży do nieskończoności. Taki efekt nie przeszkadza jednak w analizie powstałego przebiegu. Ze względu na możliwość wizualnego przedstawienia prezentowanej funkcji, ograniczono widoczną na wykresie skalę wartości.

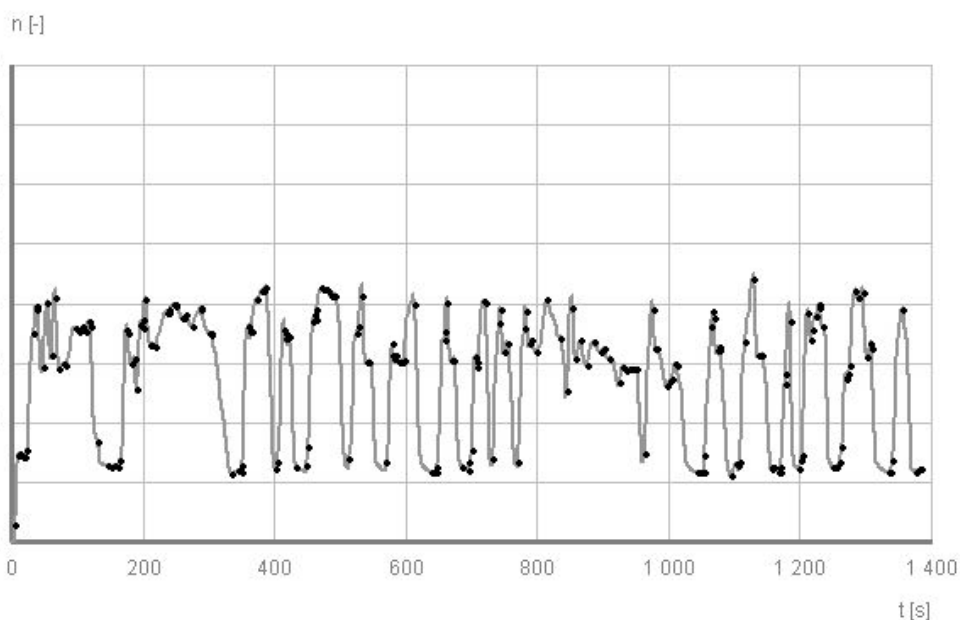
Na podstawie przykładowych danych realizacji testu FTP-75 wybrano wartość progową stosunku pochodnych na poziomie 0,8. We wszystkich miejscach, w których przebieg stosunku pochodnych prędkości obrotowej silnika przekracza tę wartość, przyjmuje się, że występuje granica pomiędzy zadaniami realizowanymi przez silnik.



Rys. 2. Przebieg stosunku drugiej pochodnej prędkości obrotowej  $n''$  do pierwszej pochodnej prędkości obrotowej  $n'$

Fig. 2. The waveform of ratio of the second derivative of rotation engine speed  $n''$  to the first derivative of rotation engine speed  $n'$

Na rys. 3. przedstawiono przebieg prędkości obrotowej silnika z zaznaczonymi punktami granicznymi (czarne punkty). Tym samym szare linie pomiędzy czarnymi punktami reprezentują poszczególne zadania realizowane przez silnik.



Rys. 3. Przebieg prędkości obrotowej  $n$  z zaznaczonymi punktami granicznymi

Fig. 3. The waveform of rotation speed  $n$  with marked boundary points

Czarne punkty graniczne znajdują się w miejscach załamania się kształtu przebiegu prędkości obrotowej. Istnieje problem optymalizacji wartości progowej wyznaczającej granice zadań. Jeśli wartość progowa będzie zbyt duża, zostaną uchwycone jedynie ostre zakrzywienia kształtu przebiegu prędkości. W przeciwnym przypadku, kiedy wartość progowa będzie zbyt mała, zostanie ustalonych zbyt wiele granic i niektóre z nich będą znajdowały się w miejscach, w których zakrzywienie przebiegu prędkości jest stosunkowo niewielkie.

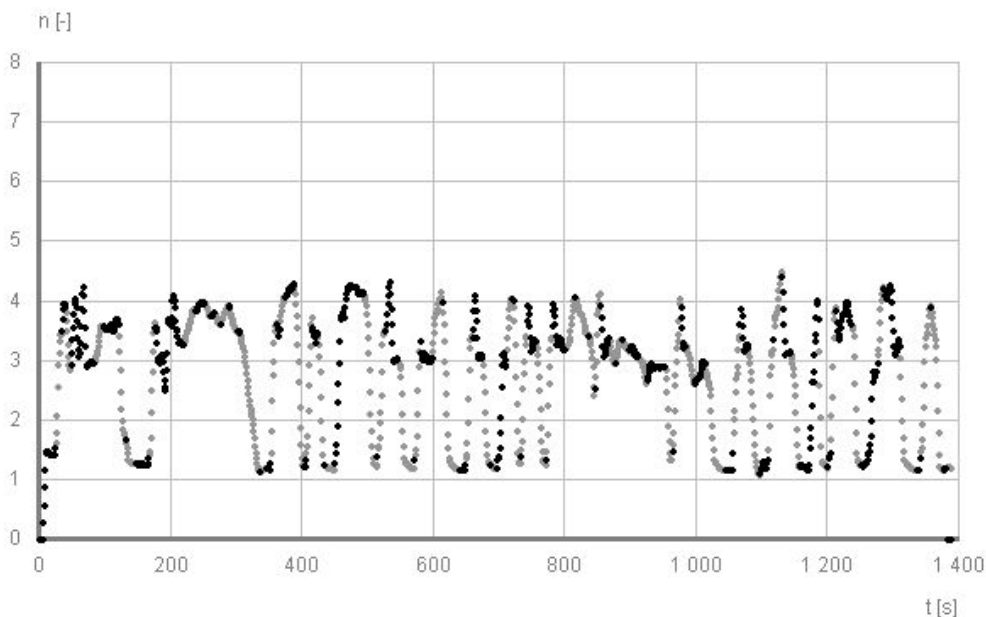
Problem wrażliwości metody na przyjętą wartość progową występuje jednak w znacznie mniejszym stopniu w przypadku analizy przebiegu stosunku pochodnych, niż w przypadku analizy samej pochodnej drugiego rzędu.

### **Wybór zadań o określonej długości**

Niektóre zadania wyodrębnione w przedstawiony powyżej sposób są bardzo krótkie. W skrajnym przypadku odstęp między dwoma punktami granicznymi może nie występować. W sytuacji, w której przebieg prędkości obrotowej będzie charakteryzował się skokową zmiennością o dużym zagęszczeniu zmian (poszarpany wykres), prezentowany algorytm umieści same wartości graniczne leżące obok siebie. Tak nierównomierny przebieg prędkości nie będzie tworzył żadnego zadania. Aby wyeliminować taki efekt, można zastosować odpowiednią filtrację przebiegu prędkości.

Wyodrębnione zadanie może być bardzo krótkie i składać się zaledwie z jednego lub dwóch punktów pomiarowych. Użyteczność tak krótkich zadań do ich dalszej analizy może się okazać ograniczona. Z tego względu może zaistnieć potrzeba wyboru tylko tych zadań realizowanych przez silnik, które składają się z określonej liczby punktów.

Na rys. 4. przedstawiono przebieg prędkości obrotowej silnika z zaznaczonymi zadaniami, które składają się z co najmniej 8 punktów. Przy częstotliwości próbkowania równej 1 Hz oznacza to, że zadania będą rozciągały się w czasie na co najmniej 7 s. W celu zaznaczenia pojedynczych punktów pomiarowych (w dziedzinie dyskretnej) wartości prędkości obrotowej zostały zaznaczone kropkami. Szare kropki reprezentują te punkty pomiarowe, które zostały zakwalifikowane do zadań o określonej długości, a czarne kropki, to te punkty pomiarowe, które nie tworzą zadań, a więc stanowią punkty (lub grupy punktów) oddzielające poszczególne zadania.



Rys. 4. Przebieg prędkości obrotowej  $n$  z zaznaczonymi zadaniami  
*Fig. 4. The waveform of rotation speed  $n$  with marked tasks*

Kwestia tego, jak długie zadania należy uwzględniać podczas analizy wyników jest dość dowolna i zależy od celu prowadzonych obliczeń. W celu przejrzystej prezentacji zagadnienia zostały wybrane stosunkowo długie zadania, składające się z co najmniej 8 punktów. Dzięki temu liczba wybranych zadań wynosiła niewiele ponad pięćdziesiąt, a więc otrzymane wyniki, jak również sama metoda obliczeniowa, mogą zostać łatwo zaprezentowane.

### **Większa liczba parametrów opisujących zadania realizowane przez silnik**

Interesującym jest, jak zmieniłby się sposób postępowania w sytuacji, w której do opisu zadań realizowanych przez silnik wykorzystywane byłyby również przebiegi innych wielkości fizycznych, niż prędkość obrotowa. Należałoby wówczas dla każdego z przebiegów niezależnie przeprowadzić procedurę wyznaczania wartości granicznych, a następnie oznaczyć granice pomiędzy zadaniami wszędzie tam, gdzie występuje punkt graniczny w choć jednym z rozpatrywanych przebiegów. Dla tak oznaczonych granic można kontynuować opisaną procedurę wyboru tych zadań, które zawierają określoną liczbę punktów.

Tok postępowania niemal nie różni się w przypadku zwiększenia liczby rozpatrywanych wielkości fizycznych. Zmianie uległyby jednak długości otrzymanych zadań realizowanych przez silnik. Im więcej czynników wprowadzających podziały pomiędzy zadaniami, tym krótsze byłyby otrzymane zadania. Właśnie dlatego, w celu zachowania przejrzystości przykładowych obliczeń, w artykule wykorzystano tylko jeden parametr (prędkość jazdy) opisujący warunki pracy silnika (a zatem i zadania realizowane przez silnik).

### **3. Synteza testów jezdnych**

Analiza testów jezdnych doprowadziła do wyodrębnienia zadań realizowanych przez silnik. W drugiej części obliczeń, nazywanych syntezą testów jezdnych, przedstawiono metodę obliczeniową, służącą do usystematyzowania wyodrębnionych zadań i zbudowania na ich podstawie syntetycznego testu jezdneho.

#### **Parametryczny opis zadań realizowanych przez silnik**

Każde z wyodrębnionych zadań realizowanych przez silnik stanowi proces opisany za pomocą wybranych wielkości fizycznych. W dotychczasowych rozważaniach zadanie było definiowane na podstawie samej prędkości obrotowej silnika i opisywało warunki jego pracy. Tym warunkom można przyporządkować również wielkości fizyczne opisujące stan pracy silnika, jak na przykład natężenie emisji wybranych składników spalin. W ten sposób proces pracy silnika stanowiący pojedyncze zadanie jest zbiorem kolejnych wartości prędkości obrotowej oraz natężeń emisji wybranych składników spalin.

Każde takie zadanie realizowane przez silnik można opisać w sposób parametryczny, co będzie stanowiło aproksymację danego zadania. Z uwagi na fakt, że zadanie stanowi proces przejścia po najkrótszej drodze od warunków początkowych (początkowej prędkości obrotowej) do warunków końcowych (końcowej prędkości obrotowej) pracy silnika, można je aproksymować za pomocą wartości: początkowej i końcowej prędkości obrotowej. Każde zadanie rozciąga się w czasie, należy więc dodatkowo uwzględnić czas trwania zadania. Ponadto każdemu zadaniu można przypisać sumaryczną emisję wybranych składników spalin lub inną wielkość charakteryzującą stan pracy silnika (na przykład wartość sumarycznej emisji wszystkich niepożądanych składników spalin).

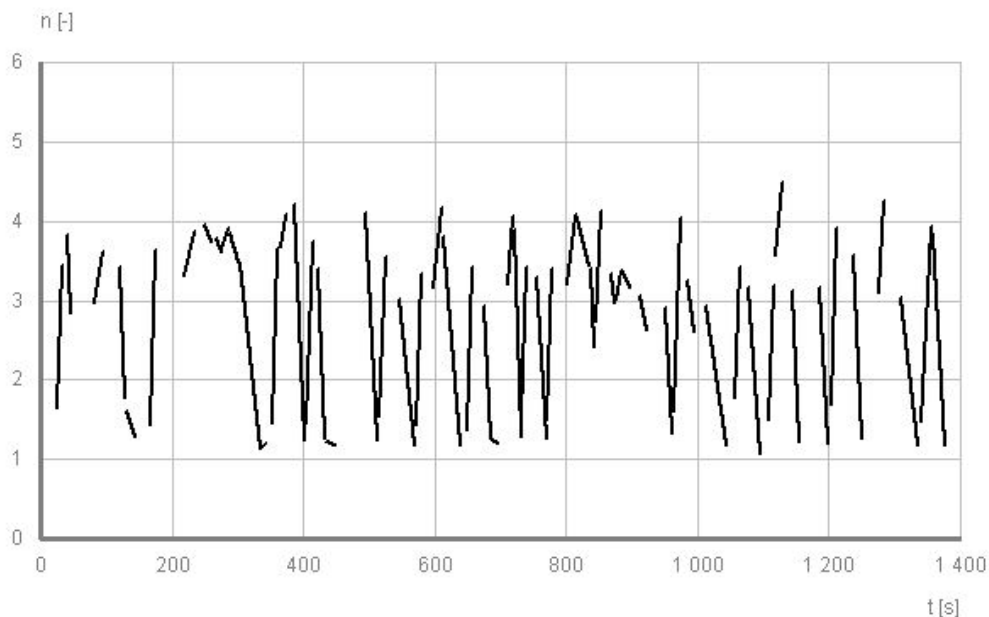
Ostatecznie, w ramach prezentowanych przykładowych obliczeń, każde zadanie realizowane przez silnik w rozpatrywanym teście jezdnyim będzie opisane za pomocą: czasu rozpoczęcia i zakończenia zadania w teście (lub czasu trwania zadania), prędkości obrotowej początkowej i końcowej oraz sumarycznej emisji wszystkich mierzonych składników spalin.

#### **Zadania występujące w teście FTP-75**

Na rys. 5. przedstawiono wszystkie zadania realizowane przez silnik wyodrębnione z testu FTP-75, po ich uprzedniej aproksymacji w sposób opisany powyżej. Zadania te zostały uporządkowane w czasie w takiej kolejności, w jakiej występowały rzeczywiście w teście jezdnyim. Pusta przestrzeń rozdzielająca poszczególne zadania wynika z faktu, że niektóre punkty pomiarowe testu nie zostały zakwalifikowane do żadnego z zadań.

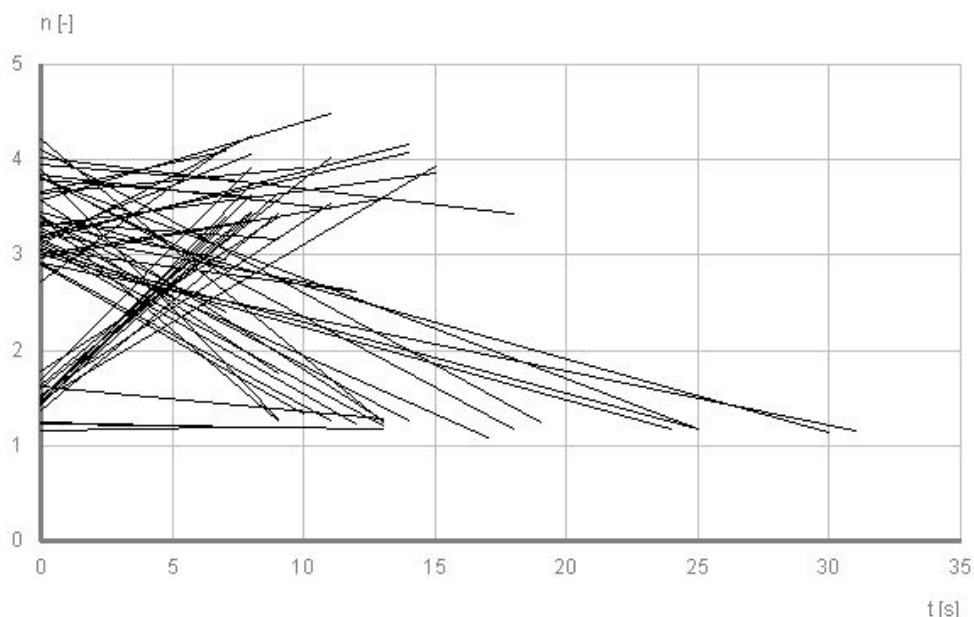


*Typowe zadania realizowane przez silnik spalinowy w czasie eksploatacji...*



Rys. 5. Zadania realizowane przez silnik w teście w kolejności ich występowania  
*Fig. 5. Tasks performed by the engine in the test in the order of their occurrence*

Na powyższym wykresie zadania zostały opisane w czasie za pomocą czasu rozpoczęcia i zakończenia zadania. W przypadku, kiedy te dwie wielkości zostaną zastąpione samą informacją o czasie trwania zadania, wówczas wszystkie zadania na wykresie zostaną nałożone na siebie. Taka sytuacja została przedstawiona na rys. 6.



Rys. 6. Zadania realizowane przez silnik w teście nałożone na siebie  
*Fig. 6. Tasks performed by the engine in the test after being superposed*

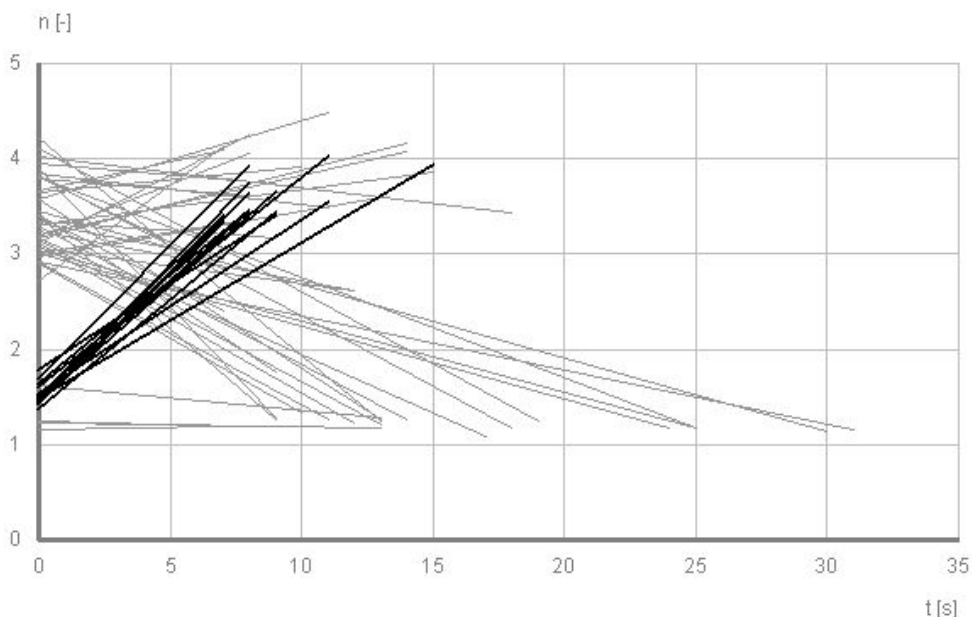
W ten sposób w jednym miejscu zostały naniesione wszystkie możliwe zmiany prędkości obrotowej w czasie, które tworzą zadania realizowane przez silnik w rozpatrywanym teście jezdnym. Oczywiście powyższy wykres jest stosunkowo mało czytelny ze względu na duże zagęszczenie naniesionych zadań o różnym charakterze. Dlatego w dalszej kolejności przedstawiono podjętą próbę podziału istniejących zadań na grupy.

### Podział realizowanych zadań na typy

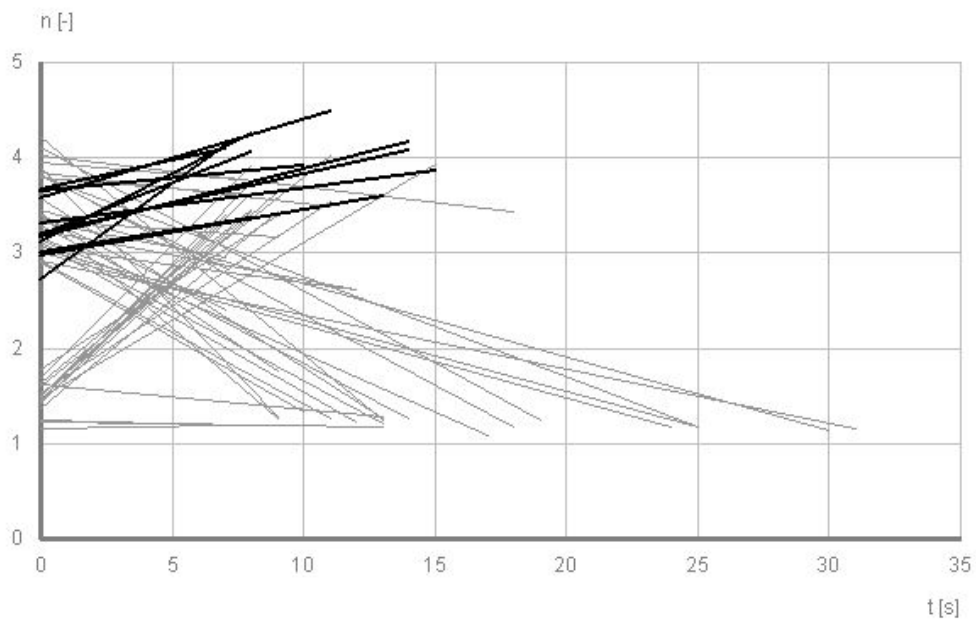
Na podstawie wyodrębnionych zadań realizowanych przez silnik, naniesionych na jeden wykres można wyszczególnić kilka grup zadań o zbliżonym charakterze. Wizualnie odpowiada to istnieniu na wykresie linii o podobnym kącie nachylenia.

Na rys. 7 – 12 przedstawiono poszczególne grupy, które w dalszej części artykułu będą nazywane typami zadań realizowanych przez silnik. Wyszczególniono łącznie 6 takich typów:

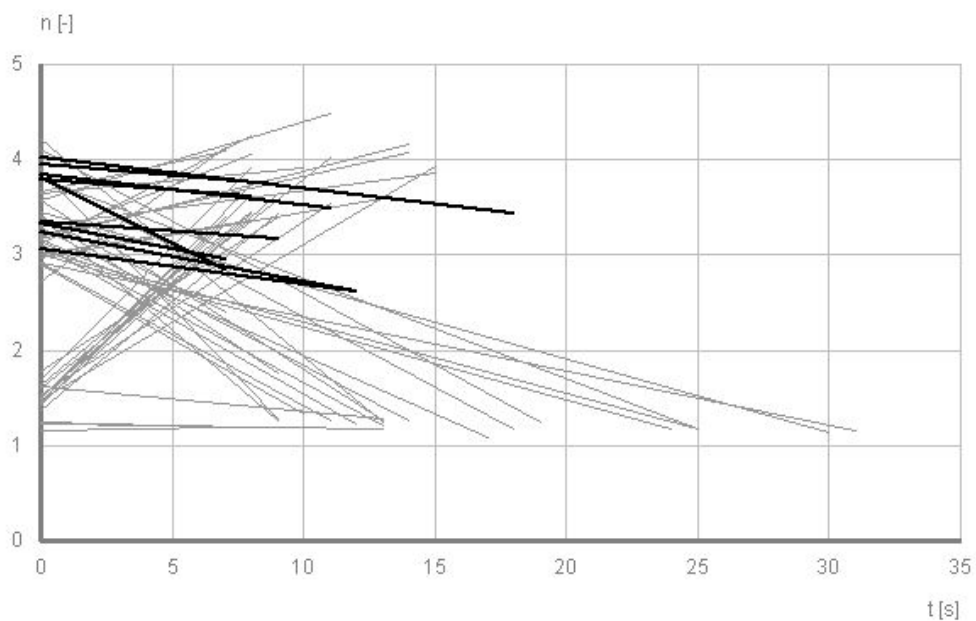
1. typ: zwiększanie prędkości obrotowej od małej do średniej,
2. typ: zwiększanie prędkości obrotowej od średniej do dużej,
3. typ: zmniejszanie prędkości obrotowej od dużej do średniej,
4. typ: względnie powolne zmniejszanie prędkości od średniej do małej,
5. typ: względnie szybkie zmniejszanie prędkości od średniej do małej,
6. typ: utrzymanie stałej, małej prędkości obrotowej.



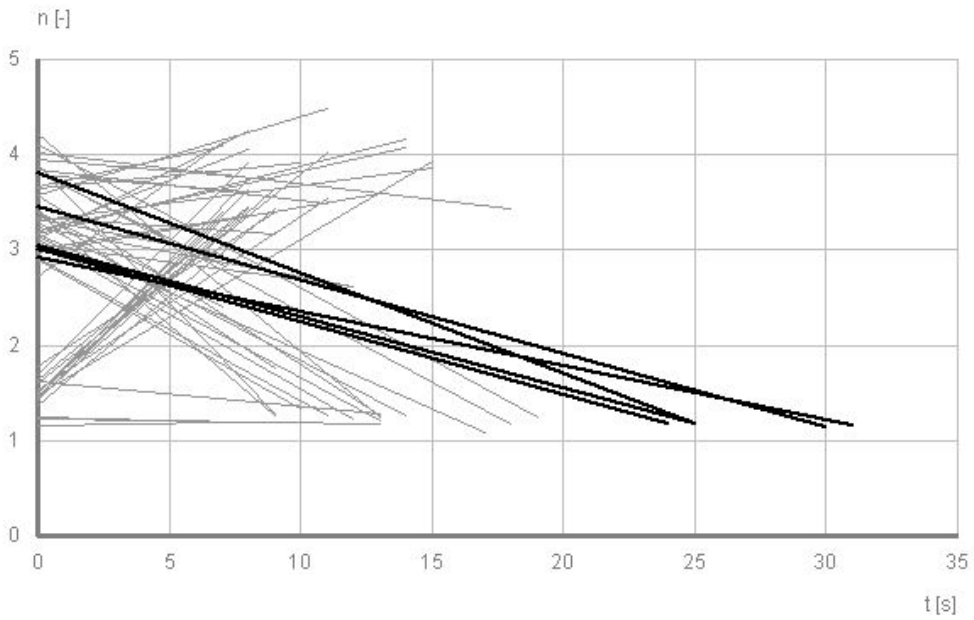
Rys. 7. Pierwszy typ zadań realizowanych przez silnik  
*Fig. 7. First type of tasks performed by the engine*



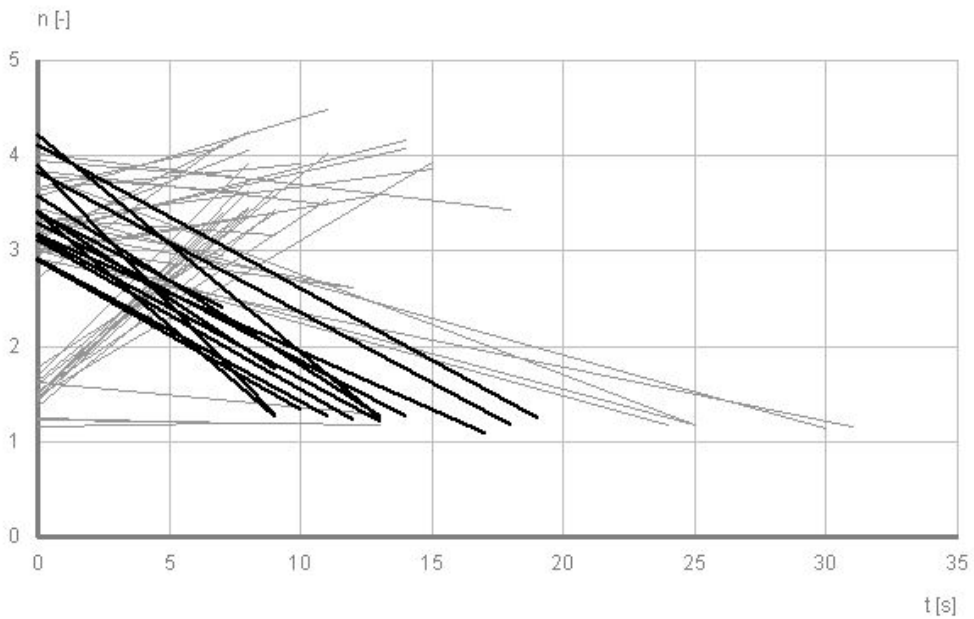
Rys. 8. Drugi typ zadań realizowanych przez silnik  
*Fig. 8. Second type of tasks performed by the engine*



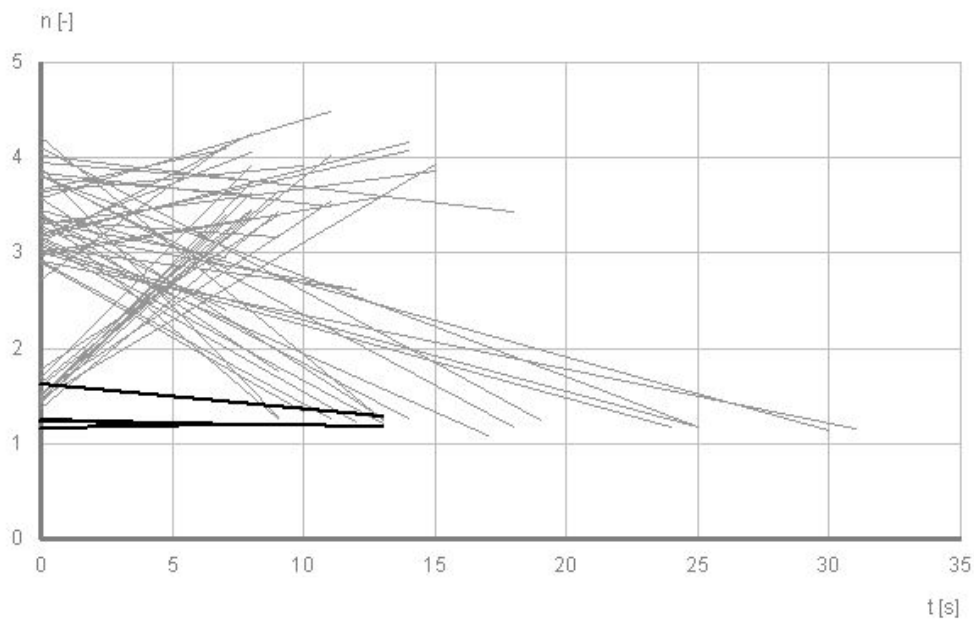
Rys. 9. Trzeci typ zadań realizowanych przez silnik  
*Fig. 9. Third type of tasks performed by the engine*



Rys. 10. Czwarty typ zadań realizowanych przez silnik  
*Fig. 10. Fourth type of tasks performed by the engine*



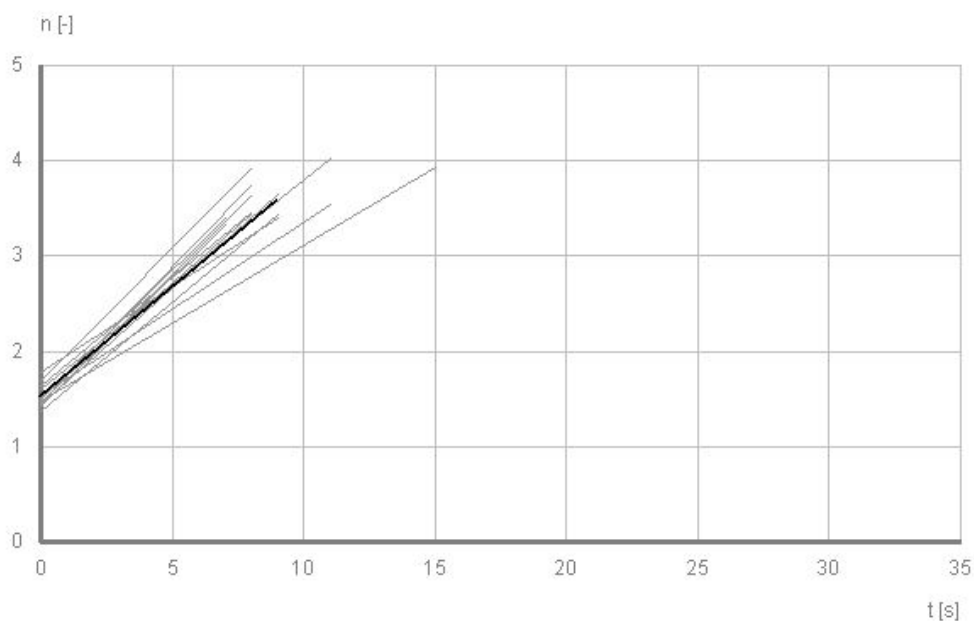
Rys. 11. Piąty typ zadań realizowanych przez silnik  
*Fig. 11. Fifth type of tasks performed by the engine*



Rys. 12. Szósty typ zadań realizowanych przez silnik  
*Fig. 12. Sixth type of tasks performed by the engine*

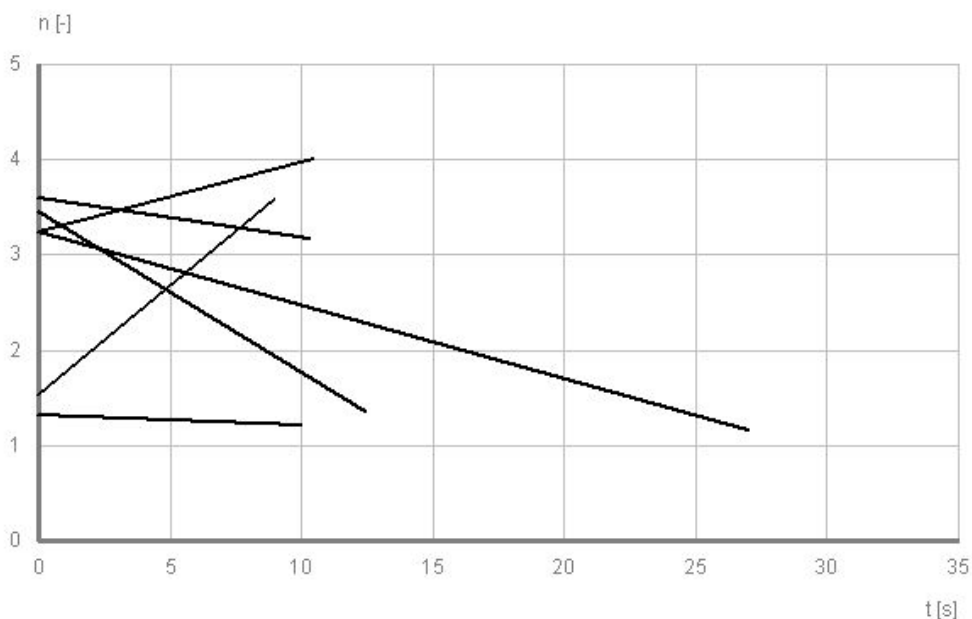
### Aproksymacja typów zadań realizowanych przez silnik

Wyodrębnione grupy (typy) zadań można aproksymować za pomocą pojedynczego zadania średniego. Przykładowe uśrednienie (aproksymacja) zostało przedstawione na rys. 13.



Rys. 13. Aproksymacja pierwszego typu zadań realizowanych przez silnik  
*Fig. 13. Approximation of first type of tasks performed by the engine*

Na rys. 14. przedstawiono zestawienie aproksymacji wszystkich sześciu typów zadań realizowanych przez silnik. Poszczególne zadania (aproksymacje typów zadań) nie przystają do siebie pod względem równości prędkości obrotowej. Problem ten przedstawiono w dalszej części artykułu.



Rys. 14. Zestawienie aproksymacji poszczególnych typów zadań  
 Fig. 14. Summary of approximation of different types of tasks

### Uśrednienie wartości początkowych i końcowych

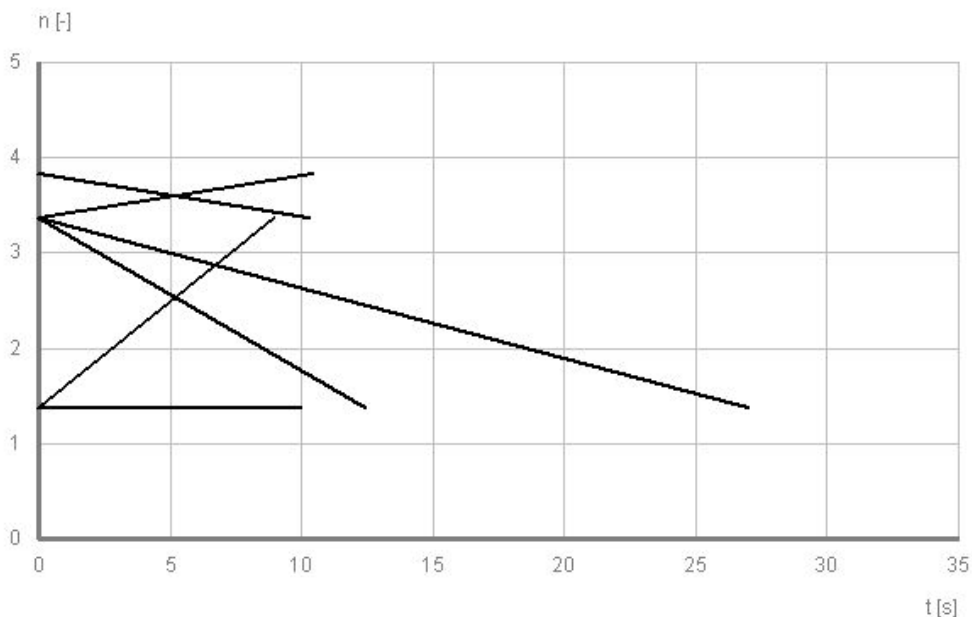
Na rys. 14. widoczny jest problem braku przystawiania do siebie poszczególnych typów zadań. Oznacza to, że poszczególne typy zadań rozpoczynają się i kończą nieco innymi wartościami prędkości obrotowej.

W celu ujednoczenia występujących prędkości zaproponowano wprowadzenie trzech głównych wartości prędkości obrotowej: małą, średnią i dużą. Każda z tych głównych prędkości występuje tylko w niektórych z typów zadań:

- mała wartość prędkości występuje w typach zadań: 1., 4., 5., 6. (dwukrotnie: na początku zadania i na końcu),
- średnia wartość prędkości występuje w typach zadań: 1., 2., 3., 4., 5.,
- duża wartość prędkości występuje w typach zadań: 2., 3.

Główne wartości prędkości obrotowej zostały obliczone jako wartości średnie ważone z prędkości w zadaniach, w których występują. Wagami przy obliczaniu wartości średniej była liczba wystąpień danego typu zadań w rozpatrywanym teście jezdnym.

Na rys. 15. przedstawiono ponowne zestawienie sześciu typów zadań po uprzednim uśrednieniu głównych wartości prędkości obrotowej.



Rys. 15. Zestawienie uśrednionych aproksymacji poszczególnych typów zadań  
 Fig. 15. Summary of averaged approximation of different types of tasks

Istniejące typy zadań nadal nie przystają do siebie pod względem równości czasu trwania, jednak takie przystawanie nie jest konieczne. Poszczególne zadania nie muszą zaczynać się i kończyć w ustalonych okresach, żeby możliwe było sporządzenie za ich pomocą jednolitego testu jezdny.

### Dobór częstości występowania zadań w teście

Dość trudnym zagadnieniem jest również dobór częstości występowania poszczególnych typów zadań w syntezywanym teście jezdny. Pomocne w tym zakresie są informacje o liczbie wystąpień poszczególnych typów zadań w analizowanym teście, jednak nie pozwala to na jednoznaczne rozstrzygnięcie tego zagadnienia.

W tabeli 1. przedstawiono udział występowania poszczególnych typów zadań w teście FTP-75.

Udział występowania poszczególnych typów zadań w teście FTP-75

Tabela 1

Table 1

The share of each task type occurring in the FTP-75 test

Nr typu zadania	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Udział w teście FTP-75 [%]	24,6	19,3	15,8	8,8	24,6	7,0

Udział zadań typu 1., w których występuje zwiększanie prędkości od małej do średniej, nie jest równy sumie udziałów zadań typów 4. i 5. (zmniejszających prędkość od średniej do małej). Podobnie udziały zadań typów 2. i 3. nie są równe. Choć różnice te nie są duże, oznacza to, że w przypadku bezkrytycznego zachowania istniejących proporcji zadań w syntezywanym teście jezdny, częściej musiałyby występować typy zadań

zwiększające prędkość niż zmniejszające (lub na odwrót), co nie jest możliwe do praktycznego zrealizowania w trakcie badań.

Istotna jest przyczyna takiego stanu rzeczy. Wynika to z faktu, że algorytm wyodrębniania zadań z testu jezdnego nie wszystkie fragmenty testu kwalifikował jako zadania realizowane przez silnik. W konsekwencji proporcje udziałów poszczególnych typów zadań mogły zostać nieznacznie zachwiane.

Nie zmienia to jednak faktu, że w syntezywanym teście jezdnym bilans zwiększania i zmniejszania prędkości musi wynosić 0. Tak więc udziały poszczególnych zadań należy zaokrąglić w taki sposób, żeby suma zadań zwiększających prędkość była równa sumie zadań zmniejszających prędkość.

W rozpatrywanym przykładzie zostały zastosowane liczby wystąpień poszczególnych zadań ujęte w tabeli 2.

Tabela 2

Liczby wystąpień poszczególnych zadań

Table 2

*Number of occurrences of individual tasks*

Nr typu zadania	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Udział w teście FTP-75 [%]	24,6	19,3	15,8	8,8	24,6	7,0

Jest to dość duże uproszczenie licznosci poszczególnych zadań w teście, mające na celu skrócenie czasu trwania całego testu. Oczywiście w przypadku, kiedy požądane byłoby zwiększenie dokładności częstości występowania zadań, należałoby zwiększyć ich całkowitą liczbę, co w konsekwencji wydłużyłoby cały test jezdny. Zabieg jest możliwy do wykonania. Bardziej rozbudowany przykład wystąpień poszczególnych typów zadań w teście został przedstawiony w tabeli 3.

Tabela 3

Przykład wystąpień poszczególnych typów zadań w teście

Table 3

*Example of individual types of tasks occurring in a test*

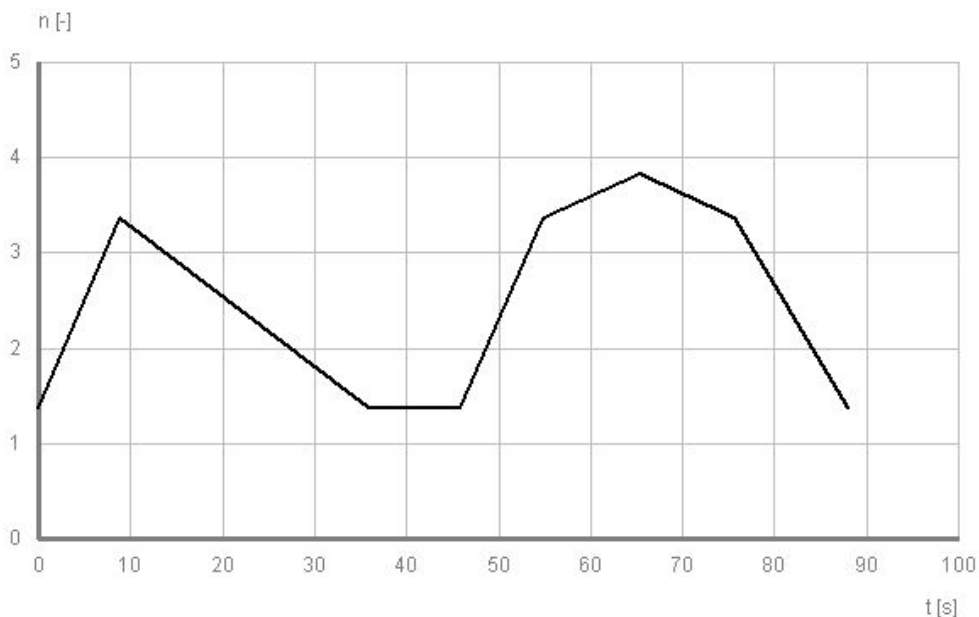
Nr typu zadania	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Liczba wystąpień w teście	4	2	2	1	3	1
Udział w syntezywanym teście	30,8	15,4	15,4	7,7	23,1	7,7
Udział w teście FTP-75 [%]	24,6	19,3	15,8	8,8	24,6	7,0

### **Dobór kolejności zadań w teście**

Kolejność zadań w syntezywanym teście jezdnym jest niemal dowolna. Jedyny warunek jest taki, żeby każde kolejne zadanie zaczynało się na takiej wartości prędkości obrotowej, na której kończyło się poprzednie zadanie. Warunek ten jest prosty do spełnienia dzięki zastosowanemu uśrednieniu wartości początkowych i końcowych.

Przykładowy zszyntezywany test jezdny został przedstawiony na rys. 16. (na podstawie częstości wystąpień ujętych w tabeli 3.)





Rys. 16. Przykładowy test jezdny zsyntezowany na podstawie wyodrębnionych zadań  
 Fig. 16. An example of driving test synthesized on the basis of separated tasks

### Wybór najbardziej interesujących zadań

W powyższym przykładzie zostały wykorzystane wszystkie zadania wyodrębnione ze zrealizowanego testu jezdny. Istnieje jednak możliwość wyboru tylko tych, które spełniają określone kryteria – na przykład charakteryzują się największą sumaryczną emisją wybranych składników spalin.

Jako pewien przykład ilustrujący taką możliwość, w tabeli 4. zostało zaprezentowane zestawienie całkowitej emisji sumy rejestrowanych składników spalin w odniesieniu do każdego typu zadań.

Tabela 4  
 Zestawienie całkowitej emisji sumy rejestrowanych składników spalin w odniesieniu do każdego typu zadań

Table 4  
 Compilation of the total emission of the sum of the recorded exhausts components for each type of task

Nr typu zadania	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sumaryczna emisja	85	61	45	27	16	9

Największa sumaryczna emisja została zarejestrowana w przypadku zadania polegającego na gwałtownym zwiększaniu prędkości obrotowej, nieco mniejsza emisja występuje dla łagodniejszego zwiększania prędkości, jeszcze mniejsza sumaryczna emisja jest widoczna w przypadku powolnego zmniejszania prędkości itd. Najmniejsza emisja występowała w zadaniu polegającym na utrzymaniu stałej, małej prędkości obrotowej. Są to więc obserwacje zgodne z powszechnie znanymi zależnościami.

#### **4. Podsumowanie**

Zaprezentowana metoda pozwala na syntezę hamownianych testów jezdnych na podstawie analizy typowych zadań realizowanych przez silnik w trakcie jego eksploatacji. Może być ona praktycznie wykorzystana.

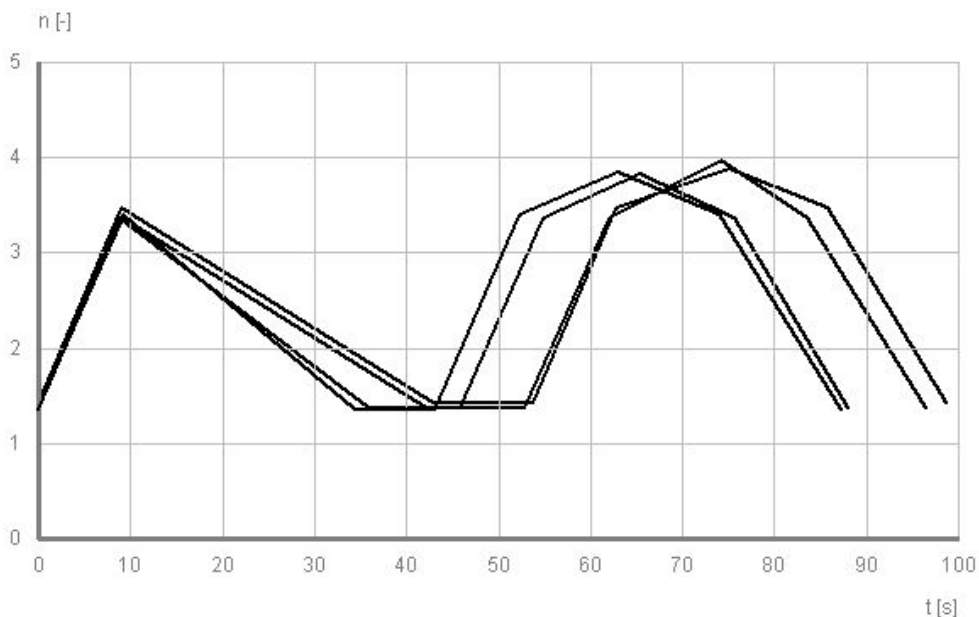
Prezentowana metoda obliczeniowa pozwala na syntezę testów jezdnych na podstawie analizy typowych zadań realizowanych przez silnik spalinowy w trakcie realizacji istniejących testów jezdnych. Metoda ta może znaleźć następujące zastosowania:

- można za jej pomocą upraszczać testy jezdne stanowiące przebiegi zarejestrowanych wielkości fizycznych podczas rzeczywistych przejazdów samochodu napędzanego trakcyjnym silnikiem spalinowym; podczas jazdy samochodu w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego operator (kierowca samochodu) realizuje za pomocą silnika szereg zadań; dzięki prezentowanej metodzie analizy wyników badań istnieje możliwość wyodrębnienia tych zadań, usystematyzowania ich oraz zsyntezowania testu jezdneho (przeznaczonego na hamownię silnikową lub podwoziową), który będzie odwzorowywał zadania zarejestrowane podczas rzeczywistych przejazdów,
- za pomocą prezentowanej metody obliczeniowej można również wybrać te zadania realizowane przez silnik podczas testu jezdneho (w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego lub w warunkach laboratorium hamownianego), które z punktu widzenia ekologicznego są najbardziej interesujące (charakteryzują się największą sumaryczną emisją wybranych substancji zanieczyszczających spaliny).

#### Powtarzalność wyników obliczeń

W celu zaprezentowania powtarzalności procesu syntezy testów jezdnych zostało przygotowane zestawienie wykresów odpowiadających obliczeniom prowadzonym niezależnie dla różnych realizacji testu FTP-75. Zostało ono przedstawione na rys. 17.

Największe rozbieżności są widoczne w zadaniu polegającym na zmniejszaniu prędkości obrotowej od wartości średniej do małej (drugie zadanie w kolejności występowania na wykresie), co powoduje przesunięcie w czasie dalszych zadań. Można jednak mówić o ogólnej zgodności (powtarzalności) pomiędzy zsyntezowanymi testami. Oznacza to, że drobne różnice w realizacji danego testu jezdneho mają bardzo ograniczony wpływ na końcowy kształt zsyntezowanego testu. Przemawia to na korzyść prezentowanej metody.



Rys. 17. Złożenie testów jezdnych uzyskanych na podstawie czterech realizacji testu FTP-75  
Fig. 17. The summary of driving tests prepared on the basis of four realization of FTP-75 test

## LITERATURA

- [1] Bazari Z.: Diesel exhaust emissions prediction under transient operating conditions. Paper No. 2008-01-2430, Wydawnictwo SAE 2008.
- [2] Chłopek Z.: Metody badań właściwości silników spalinowych w warunkach przypadkowych modelujących użytkowanie. Archiwum Motoryzacji 4/2010, s. 187-210.
- [3] Chłopek Z.: Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych. Prace Naukowe. Seria „Mechanika” z. 173, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [4] Chłopek Z.: Uwagi do badań silników spalinowych w stanach dynamicznych. Silniki spalinowe nr 4/2010.
- [5] Chłopek Z., Rostkowski J.: Testy dynamiczne do badań emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych. The Sixth International Symposium „Combustion Engines in Military Applications”, Jurata 2003.
- [6] Chłopek Z., Szczepański T.: Metoda oceny użytkowych właściwości silnika spalinowego w stanach dynamicznych – rozprawa doktorska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
- [7] Chłopek Z., Szczepański T.: Aktualny stan wiedzy i prowadzone badania na temat dynamicznych stanów pracy silników spalinowych. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2012.
- [8] Chłopek Z., Szczepański T.: Badanie właściwości użytkowych silników spalinowych w stanach dynamicznych. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, Warszawa 2013.
- [9] Jaroński W., Szczepański T.: Rozwój metod pomiaru cząstek stałych i zanieczyszczeń gazowych. Praca statutowa nr 6504/ZDO realizowana w Instytucie Transportu Samochodowego w latach 2015-2016.
- [10] Longwic R.: Dynamic Aspects of Work of the Diesel Engine, Paper No. 2007-01-4210. Wydawnictwo SAE 2007.

- [11] Sitek K., Syta S.: Badania stanowiskowe i diagnostyka. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2011.
- [12] Szczepański T.: Wpływ regulacji ruchu pojazdów za pomocą sygnalizacji świetlnej na drogach miejskich na ekologiczne właściwości transportu samochodowego. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2012.