

Mirosław Karczewski
Leszek Szczęch
Wojskowa Akademia Techniczna

METODYKA WYZNACZANIA TRÓJSKŁADNIKOWEJ MIESZANINY OPTYMALNEJ DO ZASILANIA SILNIKA Z UKŁADEM COMMON RAIL

STRESZCZENIE

Problem zasilania silników spalinowych pojazdów wojskowych narasta wraz ze wzrostem liczby pojazdów w armiach. Kolejnym problemem jest stosowanie dodatków biokomponentów, które zmieniają właściwości paliw podstawowych. Dlatego konieczne jest podejmowanie działań prowadzących do przystosowania silników do zasilania paliwami pochodzącymi ze źródeł odnawialnych. Celem badań było eksperymentalne dobranie mieszanin trójskładnikowych (paliwo F-34, RME i etanol) oraz określenie ich wpływu na parametry użyteczne i skład spalin silnika Renault G9T o zapłonie samoczynnym. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że parametry silnika z wysokociśnieniowym układem wtrysku zasilanego paliwem F-34 i mieszanin uległy częściowo zmianie w stosunku do podstawowego paliwa, jakim był olej napędowy. Ponadto nie można wyznaczyć optymalnej mieszaniny.

Słowa kluczowe:

silnik spalinowy, układ zasilania, paliwo F-34, estry.

WSTĘP

Paliwa płynne są jednym z najważniejszych źródeł energii na współczesnym polu walki. Dysponowanie paliwami decyduje o ruchliwości wojsk, efektywności wykorzystania uzbrojenia i innego sprzętu pomocniczego oraz dostawach odpowiedniej ilości zaopatrzenia. Spełnienie rosnącego zapotrzebowania walczących wojsk w materiały pędne jest jednym z najtrudniejszych problemów logistycznego

zabezpieczenia pola walki. Kalkuluje się, że średniodobowe potrzeby materiałów pędnych i smarów liczone na jednego żołnierza mogą sięgać do trzydziestu kilogramów. Dostarczenie tak dużej ilości tych materiałów wojskom w warunkach oddziaływania przeciwnika na system komunikacyjny i infrastrukturę zaopatrzeniową jest problemem niezwykle skomplikowanym. Dlatego dąży się do ujednoczenia asortymentu paliwa w wojsku, a przykładem tego jest wprowadzanie w NATO jednolitego paliwa pola walki F-34.

W efekcie zdecydowano się ujednoczyć paliwa do silników tłokowych i turbinowych pojazdów mechanicznych oraz samolotów stacjonujących na lądzie. Wprowadzono paliwo oznaczone symbolem F-34/35, które ma identyczną bazę jak paliwo lotnicze JP8, a jego właściwości końcowe wynikają z dodatków wprowadzanych przed wlaniem paliwa do zbiornika pojazdu.

Od czasu prac prowadzonych nad wdrożeniem tego paliwa w Wojsku Polskim zmienił się osprzęt silników i zamiast tłoczkowych pomp wtryskowych stosowane są także systemy wtrysku wysokociśnieniowego Common Rail oraz w dużo mniejszym stopniu pompowtryskiwacze. W układach tych ciśnienie paliwa jest podnoszone do 140...200 MPa i utrzymywane przez większość czasu pracy. Zmienia to istotnie warunki termiczne paliwa przed wtryskiem do komory spalania, a jego temperatura jest dużo wyższa niż temperatura paliwa w pompie tłoczkowej. W pojeździe nadmiar paliwa przepływa do zbiornika, a ciągłe jego krążenie powoduje ochładzanie w przewodach paliwowych i zbiorniku.

Układy wtryskowe CR są już powszechnie stosowane w silnikach samochodów osobowych, dostawczych, ciężarowych, lokomotyw i jednostek pływających, a także wozów bojowych. Na przykład, obecnie produkowane silniki MTU serii MT 880 są wyposażone w te układy zamiast układów wtryskowych z pompami tłoczkowymi, które były stosowane we wcześniejszych wersjach.

Już zastosowanie samego paliwa F-34 do silnika z układem CR może spowodować istotne zmiany parametrów pracy silnika. Rozpoznawcze badania własne silnika G9T z układem CR wykazały wyraźne zmniejszenie jego maksymalnego momentu obrotowego w zakresie średniej prędkości obrotowej, obniżenie udziału NO_x w spalinach oraz zwiększenie jednostkowego zużycia paliwa. Oznacza to pogorszenie procesu spalania paliwa F-34 w silniku z układem CR.

W trakcie realizacji pracy wykorzystano następujące paliwa: ON, ester metylowy oleju rzepakowego RME, Paliwo F-34, odwodniony metanol oraz mieszaniny tych paliw. Olej napędowy spełniał wymagania jakościowe normy PN 590/2006. RME (biodiesel) do badań został dostarczony przez Rafinerię Trzebinia i spełniał

zapisy jakościowe normy PN-EN 142145. Paliwo F-34 (zgodne z Jet A1) dostarczyła Rafineria Gdańska — Grupa Lotos S.A.

Wybrane właściwości fizykochemiczne paliw wykorzystywanych podczas badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane własności fizykochemiczne paliw stosowanych podczas badań

Parametr	Jednostka miary	ON	RME	F-34	Etanol
Gęstość w temp. 15°C	g/cm ³	0,831	0,881	0,804	0,790
Wartość opałowa	MJ/kg	43,2	37,9	42,8	27,2
Wartość opałowa	MJ/dm ³	35,9	33,4	34,4	21,5
Temperatura zapłonu	°C	66	120	57	12
Temperatura samozapłonu	°C	~230	~170	~180	430
Temperatura zablokowania zimnego filtra	°C	-31	-9	-54	< 60
Lepkość kinematyczna w 40°C	mm ² /s	2,35	4,6	1,27	0,9
Masa cząsteczkowa	g/mol	~200	~300	~180	46
Zawartość siarki	mg/kg	350	8	3000	—
Indeks cetanowy	—	50	48	45	8

Źródło: opracowanie własne.

Mieszanki paliw, które można zastosować do zasilania silników o zapłonie samoczynnym, powinny zachować jednorodność przez długi okres przechowywania oraz w szerokim zakresie zmian temperatury.

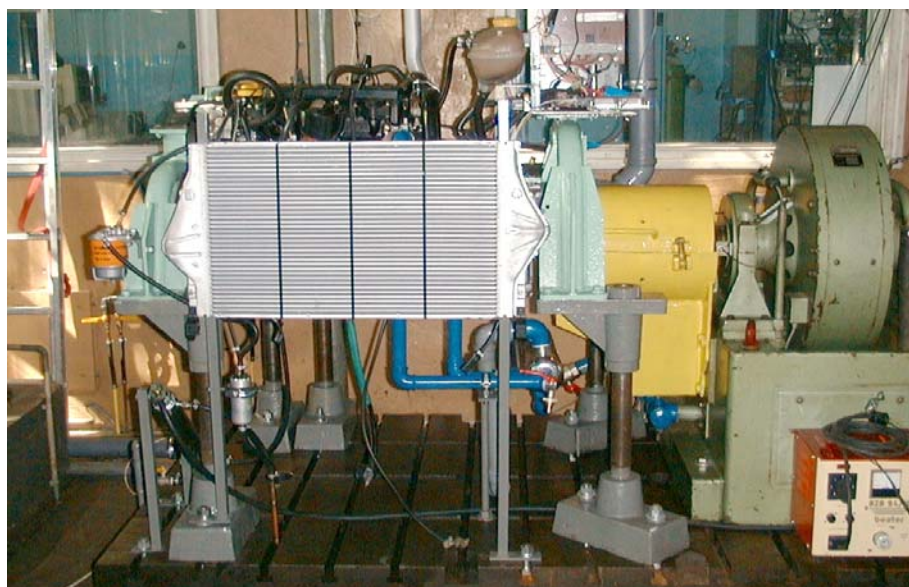
OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań był czterocylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym Renault G9T o mocy 95 kW przy $n = 2500$ obr/min i momencie 280 Nm przy 1750 obr/min stosowany do napędu samochodów dostawczych tej firmy. Jest to czterocylindrowy silnik z bezpośrednim wtryskiem paliwa do toroidalnej komory spalania, wyposażony w wysokociśnieniowy wtrysk paliwa z podłużnego zasobnika. Silnik jest doładowywany za pomocą turbosprężarki z chłodzeniem powietrza (rys. 1.). Zestaw

dwóch wentylatorów za chłodnicą powietrza umożliwiało sterowanie temperaturą powietrza w układzie dolotowym silnika.

Silnik był wyposażony w fabryczny układ zasilania typu Common Rail produkcji Bosch składający się z następujących zasadniczych zespołów:

- sterownika EDC 15A53;
- pompy zasilającej EKP3;
- pompy wysokiego ciśnienia CR/CP153/R65/10-165;
- elektromagnetycznych wtryskiwaczy CR, nr katalogowy 0 445 110 036.



Rys. 1. Silnik G9T na stanowisku badawczym

Źródło: zdjęcie wykonane przez autorów.

Do analizy udziałów gazowych składników spalin zastosowano zestaw analizatorów spalin CEBII-2000 znajdujący się w kabinie pomiarowej. Spaliny pobierane za pomocą sond były oczyszczane w filtrze wstępnym, a następnie przepływały grzaną drogą gazową do zespołu dozującego spaliny do poszczególnych analizatorów w kabinie pomiarowej. Dopływ spalin do analizatorów wymagających spalin gorących odbywał się przez grzaną drogę gazową.

Udziały tlenków azotu NO i NO_x były mierzone za pomocą detektora chemiluminescencyjnego firmy EcoPhysics, analizatory CO i CO₂ działały na zasadzie pochłaniania promieniowania podczerwonego, do pomiaru węglowodorów zastosowano

analizator typu FID, a do pomiarów O_2 analizator wykorzystujący zjawisko paramagnetyzmu. Wszystkie analizatory były wbudowane w szafę z układem kondycjonowania próbek gazu. Do analizatorów doprowadzono gazy wzorcowe, po dwa stężenia każdego z mierzonych składników spalin. Zadymienie spalin badano za pomocą dymomierza AVL 439 OPACIMETER, który działał na zasadzie absorpcji światła. Wyniki pomiarów parametrów pracy silnika gromadzono w ciągu całego eksperymentu w celu bieżącej kontroli jego stanu technicznego, określenia okoliczności ewentualnej awarii oraz kontroli przebiegu realizacji kolejnych faz cyklu badawczego.

Sterowanie stanowiskiem dynamometrycznym i rejestrację wyników pomiarów wykonywano za pomocą szeregu komputerów wyposażonych w odpowiednie moduły pomiarowo-sterujące.

W trakcie wyznaczania charakterystyk wyjściowych w sterowniku silnika znajdowało się oprogramowanie fabryczne. Czas wtrysku oraz ciśnienie w zasobniku paliwa były ustalane przez oprogramowanie sterownika w zależności od aktualnych warunków pracy silnika (prędkość obrotowa, obciążenie). Wykaz podstawowych mierzonych wielkości zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wykaz czujników parametrów pomiarowych

Lp.	Mierzona wielkość	Nazwa przyrządu	Zakres	Dokładność
1	Dymomierz, D	AVL 439 OPACIMETER	0–10 m ⁻¹	0.0025 m ⁻¹
2	Waga paliwa, Ge	AVL 733S Fuel Balance	0–200 kg/h	0.005 kg/h
3	Analizator spalin	CEBII-2000	CO₂ — 0–23%, THC — 0–2200 ppm, CO — 0–11000 ppm, NO_x — 0–3000 ppm, O₂ — 0–22%	0,1% mierzonej wielkości
4	Hamulec elektrowirowy	elektrowirowy, Schenck W 230	$N_e = 0–230$ kW, $n = 0–5000$ obr/min, $M_o = 0–700$ Nm	± 1 obr/min, ± 0,1 Nm

Źródło: opracowanie własne.

METODYKA WYZNACZANIA MIESZANINY OPTYMALNEJ

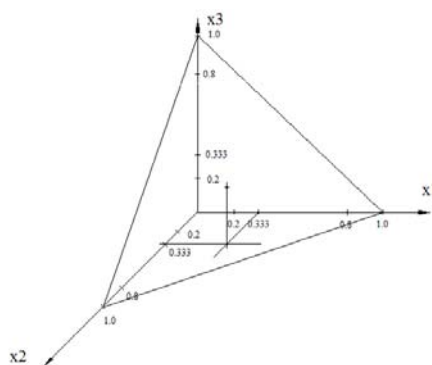
Dobór optymalnego składu paliwa zawierającego bioester, paliwo F-34 oraz spirytus etylowy przeprowadzono metodą planowanego eksperymentu. Wykorzystano plan eksperymentu dla mieszanin oparty na podstawie trójkątnej. Jest to szczególnie przypadek, w którym suma składników zawsze musi się równać 1 (tzn. wszystkie składniki łącznie dają 100 procent), a udział składnika musi być dodatni lub zerowy. Na przykład można badać zależność efektywności silnika lub zawartości toksycznych składników spalin od procentowego składu poszczególnych składników paliwa. Powszechnie stosowanym sposobem przedstawienia udziałów mieszanin najczęściej złożonych z nie więcej niż trzech składników są wykresy we współrzędnych trójkątnych (potrójnych). Każda mieszanina trzech składników może być jednoznacznie określona poprzez podanie punktu w układzie współrzędnych trójkątnych zdefiniowanych przez trzy zmienne. Dla wyjaśnienia sposobu rozwiązania powyższego zagadnienia można przedstawić przykład dla trzech składników, czyli trzech zmiennych niezależnych.

Tabela 3. Skrajne proporcje mieszaniny

Nr dośw.	X1	X2	X3
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1

Źródło: opracowanie własne.

Punkty te w przestrzeni zmiennych niezależnych X1, X2 i X3 znajdują się na osiach układu współrzędnych, w jednostkowych odległościach od jego początku, tworząc trójkąt równoramienny pokazany na rysunku.



Rys. 2. Punkty planu dla mieszaniny w przestrzeni trzech zmiennych niezależnych

Źródło: opracowanie własne.

Można zauważyć, że tylko punkty położone na powierzchni tego trójkąta spełniają warunek charakterystyczny dla składu mieszanki, to znaczy suma składowych wynosi 1. Przykładowo, zaznaczono mieszankę zawierającą równą zawartość składników 0.333, 0.333, 0.333. Analizowany trójkąt jest nazywany dwuwymiarowym sympleksem rozpiętym na trzech wierzchołkach. Przy analizie trzech składników paliwa, przyjmując, że wartości unormowanych zmiennych niezależnych znajdują się na powierzchni trójkąta, można ustalić oś zmiennej zależnej (np. moc N_e , jednostkowe zużycie paliwa g_e lub zawartość składnika spalin CO, NO_x itp.) prostopadłą do płaszczyzny trójkąta.

W planach eksperymentu opartych na sieci sympleksowej doświadczenie wykonywane jest po przyjęciu dla każdej zmiennej wejściowej wartości (proporcji składników paliwa) standaryzowanych do zakresu 0..1, przy uwzględnieniu, że suma składowych musi się równać 1. Plan taki nazywamy sympleksem.

Tabela 4. Przykładowy rozkład punktów pomiarowych

Nr dośw.	X1	X2	X3	Nr dośw.	X1	X2	X3
1	1	0	0	6	0	1/3	2/3
2	0	1	0	7	2/3	1/3	0
3	0	0	1	8	2/3	0	1/3
4	1/3	2/3	0	9	0	2/3	1/3
5	1/3	0	2/3	10	1/3	1/3	1/3

Źródło: opracowanie własne.

Podczas badań przyjęto model o nieco zmienionym rozkładzie punktów spowodowanym ograniczeniem zawartości spirytusu etylowego maksymalnie do 10 procent. Badania wykonano zgodnie z planem przedstawionym w poniższej tabeli.

Tabela 5. Paliwa wykorzystane podczas badań

Nr punktu	Oznaczenie paliwa (mieszanki)	X1 — F-34		X2 — bioester		X3 — alkohol etylowy (10% — maksymalna zawartość)	
1	F-34	1	100%	0	0	0	0
2	B-100	0	0	1	100%	0	0
3	B45E10	0	45%	0	45%	1	10%
4	B20	0.8	80%	0.2	20%	0	0
5	B80	0.2	20%	0.8	80%	0	0
6	B9E2	0.8	89	0	9	0.2	2
7	B36E8	0.2	56	0	36	0.8	8
8	B89E2	0	9	0.8	89	0.2	2
9	B56E8	0	36	0.2	56	0.8	8
10	B48E3	0.333	48.285	0.333	48.285	0.333	3.33

Źródło: opracowanie własne.

Istotnym problemem jest przyjęcie odpowiedniej postaci modelu pozwalającego na analizę wpływu zawartych składników mieszaniny paliwa na przybliżoną wartość zmiennej niezależnej. Modele w zależności od przebiegu zjawiska mogą mieć charakter liniowy, kwadratowy lub wyższego rzędu. W planach eksperymentu dla mieszanin mają one postać zredukowaną o niektóre człony interakcyjne. Należy zwrócić uwagę, że w modelu nie występuje wyraz wolny.

Model liniowy niezawierający członów interakcyjnych jest opisany wielomianem zredukowanym pierwszego stopnia:

$$y = b_0 * x_1 + b_1 * x_2 + b_2 * x_3. \quad (1)$$

Model kwadratowy:

$$y = b_0 * x_1 + b_1 * x_2 + b_2 * x_3 + b_3 * x_1 * x_2 + b_4 * x_1 * x_3 + b_5 * x_2 * x_3. \quad (2)$$

Specjalny model kubiczny (trzeciego stopnia):

$$y = b_0 * x_1 + b_1 * x_2 + b_2 * x_3 + b_3 * x_1 * x_2 + b_4 * x_1 * x_3 + b_5 * x_2 * x_3 + b_6 * x_1 * x_2 * x_3. \quad (3)$$

Pełny model kubiczny (trzeciego stopnia):

$$y = b_0 * x_1 + b_1 * x_2 + b_2 * x_3 + b_3 * x_1 * x_2 + b_4 * x_1 * x_3 + b_5 * x_2 * x_3 + d_1 * x_1 * x_2 * (x_1 - x_2) + d_2 * x_1 * x_3 * (x_1 - x_3) + d_3 * x_2 * x_3 * (x_2 - x_3) + b_6 * x_1 * x_2 * x_3. \quad (4)$$

Stopień wielomianu jest związany z rodzajem składników, które wystąpią w modelu dopasowywanym do danych. Model liniowy wymaga przyjęcia co najmniej dwóch poziomów każdej zmiennej. W modelu kwadratowym niezbędne jest nadawanie każdej wielkości co najmniej trzech różnych wartości. Aby użyć modelu trzeciego stopnia, niezbędne jest nadawanie każdej wielkości co najmniej czterech różnych wartości. Podczas badań przyjęto model kwadratowy. Dla każdej ze zmiennych niezależnych poszukiwano współczynników modelu $b_0..b_5$.

WYNIKI WYZNACZANIA MIESZANINY OPTYMALNEJ

Przykładowy rozkład jednostkowego zużycia paliwa przy odpowiednich wartościach czynników zmienianych w zakresie 0..1 co 0.1 i wartości współczynników modelu przedstawione są w tabeli poniżej. Przedstawiono w niej także: stężenia poszczególnych składników, dla których były określane wartości zmiennych niezależnych; rozkład jednostkowego zużycia paliwa g_e przy prędkości 1500 obr/min i przy momencie obrotowym $M_o = 120$ Nm; wartości współczynników modelu przy badaniach, które były prowadzone przy dwóch wartościach prędkości obrotowej $n = 1500$ i 3000 obr/min oraz dwóch poziomach obciążenia $M_o = 120$ Nm i maksymalnej wartości momentu obrotowego.

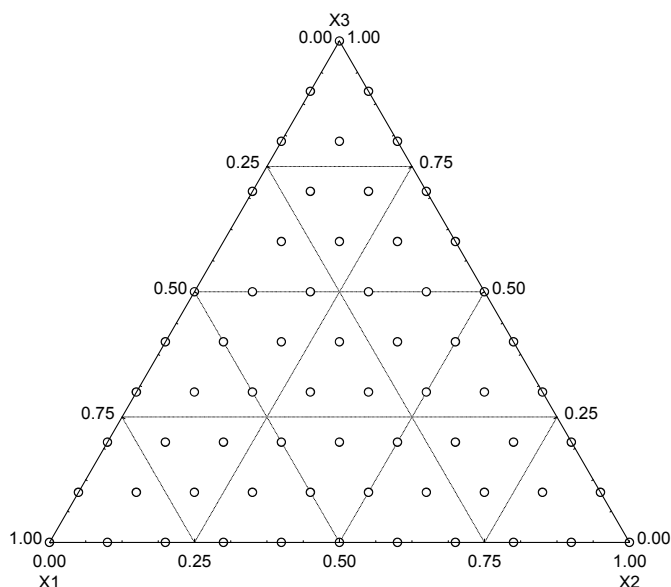
Tabela 6. Rozkład wartości M_o , N_e , G_e , C_o , HC oraz NO_x dla poszczególnych punktów pomiarowych

n = 1500, $M_o = 120$						
	M_o	N_e	g_e	CO	HC	NO_x
b0	118,19	18,55	245,26	125,66	15,27	668,79
b1	118,62	18,63	266,23	105,99	8,39	754,51
b2	117,73	18,50	265,86	87,35	15,34	1084,70
b3	-1,41	-0,18	27,70	-92,65	-14,57	33,44
b4	0,66	0,31	-38,74	-131,29	-1,91	1223,46
b5	0,44	0,06	16,88	-210,43	-5,40	2080,60
b6	0,70	-0,56	-10,98	430,15	119,63	-2803,25
R	0,999986	0,999986	0,99999	0,997862	0,998074	0,996915
n = 1500, $M_o = \text{Max}$						
	M_o	N_e	g_e	CO	HC	NO_x
b0	248,72	39,07	236,39	2257,03	12,62	866,23
b1	232,68	36,55	262,90	1363,19	6,65	928,25
b2	227,46	35,73	252,40	903,78	13,73	1040,52
b3	-11,28	-1,77	28,76	1589,94	-10,23	-20,25
b4	-6,24	-0,97	-29,03	-2808,77	2,03	238,27
b5	-32,36	-5,07	-10,98	-2656,17	20,70	885,11
b6	30,44	4,64	712,80	-4034,82	70,51	-1284,12
R	0,999881	0,999882	0,999876	0,977048	0,993304	0,999289
n = 3000, $M_o = 120$						
	M_o	N_e	g_e	CO	HC	NO_x
b0	119,37	37,50	250,06	33,60	10,16	813,32
b1	119,64	37,59	280,28	74,44	6,00	738,19
b2	117,32	36,86	277,10	34,96	11,84	782,48
b3	-5,76	-1,82	40,40	24,88	-3,61	45,25
b4	-6,41	-2,04	12,09	260,75	-3,13	-455,64
b5	-5,67	-1,80	31,85	111,24	-8,89	-642,74
b6	26,11	8,43	-233,70	-398,61	64,88	1242,59
R	0,999982	0,999982	0,999968	0,973006	0,999641	0,999355
n = 3000, $M_o = \text{Max}$						
	M_o	N_e	g_e	CO	HC	NO_x
b0	237,40	74,58	227,03	142,09	9,16	1102,42
b1	235,35	73,94	251,24	126,25	7,47	1160,14
b2	224,65	70,57	251,53	90,66	13,38	1206,44
b3	3,94	1,26	28,27	33,32	-1,95	210,75
b4	-40,34	-12,66	4,20	13,27	1,46	19,20
b5	-102,01	-32,04	35,75	25,28	-5,76	-33,08
b6	89,21	28,00	-173,18	-557,61	72,75	-356,32
R	0,999661	0,999662	0,999995	0,978543	0,9961	0,999955

Źródło: opracowanie własne.

Dla każdego modelu obliczono wartości współczynnika korelacji R , które w większości przypadków utrzymują się na poziomie 0.99. W kilku przypadkach osiągają mniejsze wartości, nie przekraczając jednak poziomu niższego od 0.97.

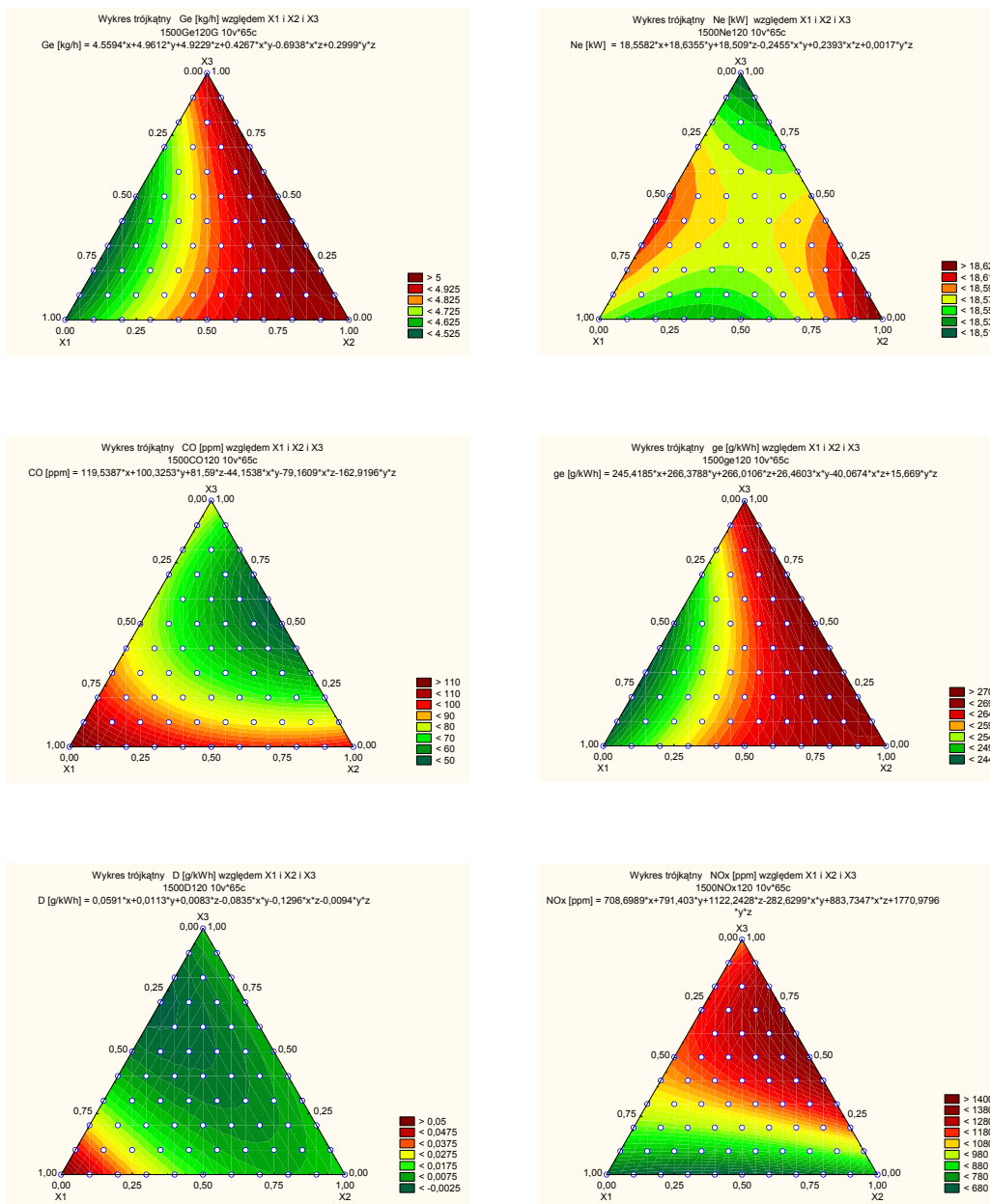
Na ich podstawie określono optymalny skład paliwa ze względu na poszczególne zmienne niezależne. Wyniki obliczeń przedstawiono w układzie współrzędnych o podstawie trójkątnej wykorzystywanych w przypadku analizy mieszanin trójskładnikowych. Schemat tego układu współrzędnych przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys. 3. Schemat układu współrzędnych, w których przedstawiono wyniki obliczeń

Źródło: opracowanie własne.

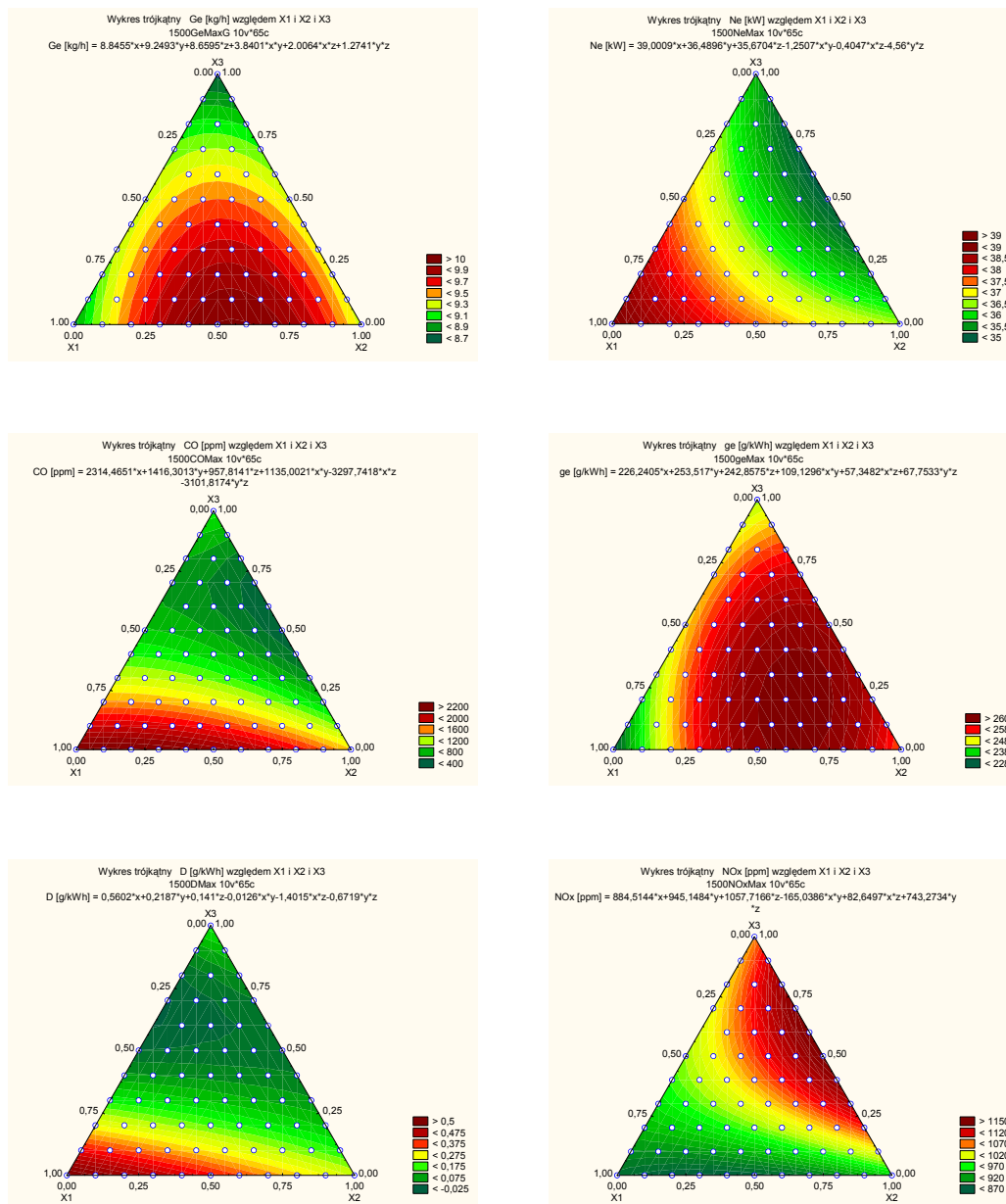
W narożnikach znajdują się punkty o czystej stuprocentowej zawartości każdego ze składników. Układ liczb na osiach zawierający się w zakresie 0..1 wynika ze standaryzacji zmiennych wejściowych. W przypadku spirytusu, ponieważ jego maksymalne stężenie było ograniczone do 10 procent, wynika, że w narożniku X_3 znajduje się mieszanina 10 procent spirytusu i po 45 procent paliwa F-34 i bioestru (RME). Stężenia poszczególnych składników w punktach planu eksperymentu i na wykresach rozkładu przedstawiono w tabelach 5. i 6.



Rys. 4. Wpływ składu paliwa na parametry silnika, $n = 1500$ obr/min, $M_o = 120$ Nm:

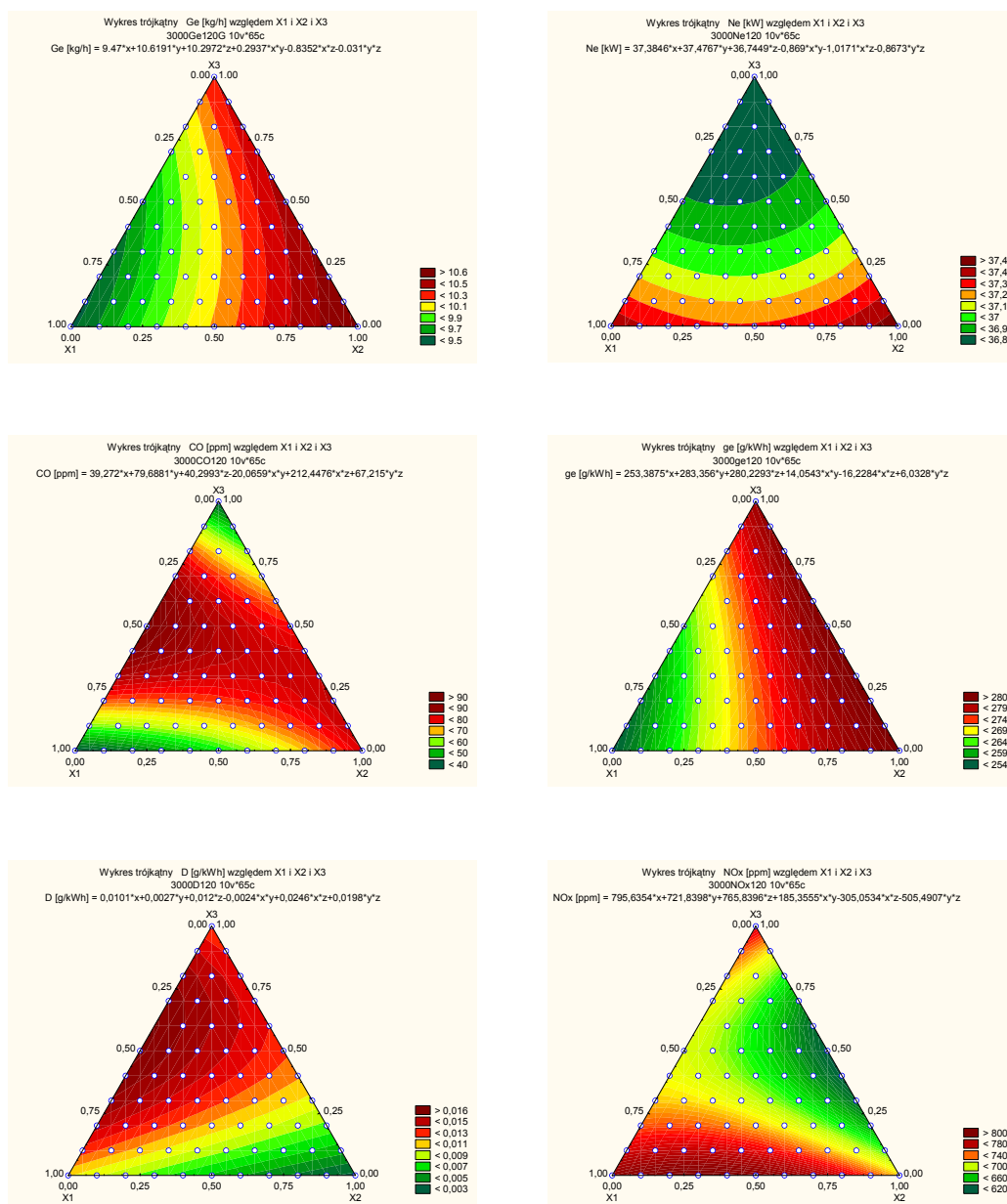
- a) godzinowe zużycie paliwa; b) moc użyteczna; c) stężenie tlenku węgla;
- d) jednostkowe zużycie paliwa; e) zadymienie spalin; f) stężenie tlenków azotu

Źródło: opracowanie własne.



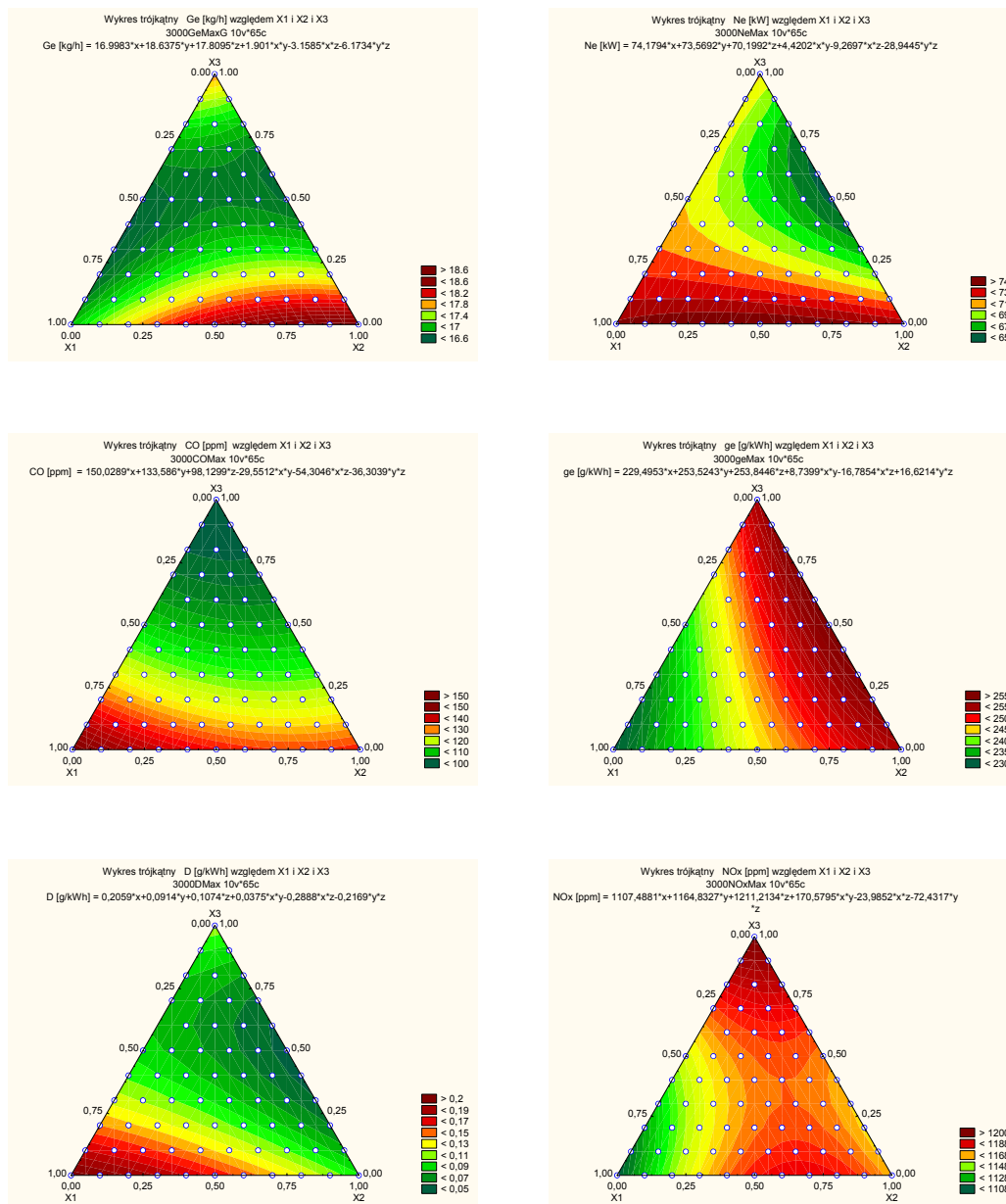
Rys. 5. Wpływ składu paliwa na parametry silnika, $n = 1500$ obr/min, $M_0 = \max$:
 a) godzinowe zużycie paliwa; b) moc użyteczna; c) stężenie tlenku węgla;
 d) jednostkowe zużycie paliwa; e) zadymienie spalin; f) stężenie tlenków azotu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Wpływ składu paliwa na parametry silnika, $n = 3000$ obr/min, $M_0 = 120$ Nm:
 a) godzinowe zużycie paliwa; b) moc użyteczna; c) stężenie tlenku węgla;
 d) jednostkowe zużycie paliwa; e) zadymienie spalin; f) stężenie tlenków azotu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Wpływ składu paliwa na parametry silnika, $n = 3000$ obr/min, $M_0 = \max$:
 a) godzinowe zużycie paliwa; b) moc użyteczna; c) stężenie tlenku węgla;
 d) jednostkowe zużycie paliwa; e) zadymienie spalin; f) stężenie tlenków azotu

Źródło: opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Z analizy wyników obliczeń wynika, że własności silnika zmieniają się wraz z prędkością obrotową. Optymalny skład paliwa różni się też ze względu na analizowaną zmienną niezależną.

Ze względu na jednostkowe zużycie paliwa optymalny skład paliwa zawierał stuprocentowe paliwo F-34. Ze wzrostem stężeń pozostałych składników, zwłaszcza RME, następowało pogorszenie jednostkowego zużycia paliwa g_e . Różnica pomiędzy minimalną i maksymalną wartością g_e wynosiła 25 g/kWh.

W zakresie wielkości efektywnych mocy i momentu obrotowego analizę można prowadzić tylko w warunkach maksymalnego obciążenia, ponieważ dla stałego obciążenia $M_0 = 120$ Nm różnice wartości mocy także są nieznaczne. Dla maksymalnego obciążenia optymalne warunki z punktu widzenia osiągnięcia maksymalnej mocy otrzymano dla mieszanki 60 procent paliwa X2 i 40 procent paliwa X3 (18% F-34, 78% bioestru i 4% spirytusu).

Ze względu na stężenie CO w spalinach we wszystkich przypadkach prędkości i obciążenia, za wyjątkiem prędkości 3000 i obciążenia 120 Nm, najniższą emisję zanotowano dla mieszanki zawierającej około 50 procent paliwa X2 i 50 procent paliwa X3 (22.5% F-34, 72.5% bioestru i 5% spirytusu).

W przypadku tlenków azotu NO_x najniższe stężenia osiągnięto w zakresie prędkości 1500 obr/min dla wszystkich mieszanki paliwa X1 i X2 (F-34 i bioester). Minimum stężenia NO_x osiągnięto dla czystego paliwa X3 (F-34). Wprowadzenie dodatku spirytusu powodowało wzrost stężenia NO_x osiągającego maksymalne wartości dla mieszanki 50 procent X2 i 50 procent X3 (22.5% F-34, 72.5% bioestru i 5% spirytusu).

W zakresie zadymienia spalin najkorzystniejszy skład paliwa przy prędkości 1500 obr/min zawierał 75 procent X1 i 25 procent X3 (83.5% F-34, 13.5% bioestru i 3% spirytusu etylowego). Najwyższe wartości zadymienia osiągnięto podczas pracy na czystym paliwie X1 (F-34).

Dla prędkości 3000 obr/min wyniki nie są jednoznaczne. Dla obciążenia maksymalnego (punkt na charakterystyce zewnętrznej) najkorzystniejsze warunki osiągnięto dla mieszanki 50 procent X2 i 50 procent X3 (22.5% F-34, 72.5% bioestru i 5% spirytusu), a najmniej korzystne dla czystego paliwa X1 (100% F-34). Dla prędkości obrotowej 3000 obr/min i obciążenia 120 Nm najkorzystniejsze zadymienie osiągnięto dla czystego paliwa X2 (100% bioester), a najmniej korzystne dla składu paliwa, który przy prędkości 1500 obr/min był najkorzystniejszy (70% X1 i 30% X3) — 83.5% F-34, 13.5% bioestru i 3% spirytusu etylowego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baczewski K., Kałdoński T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*, WKŁ, Warszawa 2004.
- [2] Daisuke K., Hajime I., Yuichi G., Akira N, Yuzo A., *Application of Biodiesel Fuel to Modern Diesel Engine*, SAE Technical Papers 2006-01-0233, 2006.
- [3] Hasegawa M., Sakurai Y., Kobayashi Y., Oyama N., Sekimoto M., Watanabe H., *Effects of Fuel Properties (Content of FAME or GTL) on Diesel Emissions Under Various Driving Modes*, SAE Technical Paper 2007-01-4041, 2007.
- [4] Kałużyński M., Reksa M., Zarudzka E., *Wpływ dodatków estrów metylowych na właściwości biodiesla i toksyczność spalin silnika Diesla*, 'Journal of KONES Powertrain and Transport. European Science Society of Powertrain and Transport Publications', 2006, No 4, Vol. 13.
- [5] Mayer A., Czerwiński J., Wyser M., Mattrel P., Heitzer A., *Impact of RME/ Diesel Blends on Particle Formation*, Particle Filtration and PAH Emissions, SAE Technical Papers 2005-01-1728, 2005.
- [6] Szlachta Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, WKŁ, Warszawa 2002.

METHODOLOGY USED TO DETERMINE THREE-COMPONENT OPTIMUM MIXTURE TO FEED COMMON RAIL ENGINE

ABSTRACT

The problem of fuel supply for military vehicles is growing along with the number of vehicles in armies. Another problem is the use of biocomponent agents which change the properties of basic fuels. Therefore it is necessary to take steps to adapt the engines to use fuels from renewable sources. The aim of the investigations was to experimentally select three-component mixtures (fuel R-34, RME, ethanol) and to determine their effect on performance parameters and the composition of gases in a Renault G9T diesel engine. As a result of the investigations conducted it was found out that parameters of the CR engine with fed with fuel F-34 and mixtures partially changed as compared with the basic fuel, which was diesel oil. In addition it was impossible to determine the optimum mixture.

Keywords:

combustion engine, fuel system, F-34 fuel, esters.