

Spis treści

Spis podstawowych oznaczeń	11
Streszczenie	13
Abstract	15
1. Wprowadzenie	17
1.1. Parametry silników spalinowych	17
1.2. Kierunek rozwoju silników spalinowych.....	20
1.3. Cel i zakres pracy	24
1.3.1. Cel i tezy pracy.....	24
1.3.2. Realizacja pracy silnika turbowałowego pracującego w obiegu Humphreya.....	25
1.3.3. Zakres pracy	28
2. Analityczne obliczenia sprawności energetycznej silnika pracującego według obiegu Humphreya oraz porównanie z innymi obiegami	33
2.1. Charakterystyka obiegu termodynamicznego Braytona-Joule'a.....	33
2.2. Charakterystyka obiegu termodynamicznego Humphreya	35
2.3. Charakterystyka obiegu termodynamicznego Otto	37
2.4. Charakterystyka obiegu termodynamicznego Diesla	38
2.5. Porównanie obiegu Humphreya z obiegiem Braytona-Joule'a, Otto i Diesla	39
2.6. Porównanie obiegu Humphreya z obiegiem Braytona-Joule'a, Otto i Diesla w funkcji sprężu, z uwzględnieniem niektórych rzeczywistych warunków.....	42
2.7. Analiza obiegu Humphreya z uwzględnieniem parametrów pośrednich w komorze podczas rozprężania	44
2.7.1. Sprężanie	44
2.7.2. Spalanie.....	45
2.7.3. Rozprężanie w dyszy de Laval'a przy zmiennym ciśnieniu w komorze	45
2.7.4. Generowanie pracy mechanicznej oraz sprawność obiegu.....	50
2.8. Analiza obiegu Humphreya z uwzględnieniem chłodzenia międzystopniowego	52
3. Model matematyczny 3-wymiarowej analizy numerycznej CFD	55
3.1. Wprowadzenie.....	55
3.2. Równanie ciągłości płynu	55
3.3. Równania pędu (Naviera-Stokesa) dla przepływu turbulentnego w wirującym układzie odniesienia.....	56

3.4.	Równanie energii	59
3.5.	Równanie transportu składników mieszaniny gazów	60
3.6.	Równania reakcji chemicznej spalania	60
3.7.	Równanie transferu promieniowania cieplnego	61
3.8.	Równania ruchu cząstek dyskretnych oraz wymiany masy i ciepła	62
4.	Podstawowe badania koncepcji silnika – ewolucja koncepcji rozrządu	65
4.1.	Rozrząd 1-komorowy z zaworami krążkowymi	65
4.1.1.	Zasada działania rozrządu	65
4.1.2.	Sprężanie zewnętrzne powietrza	67
4.1.3.	Napełnianie komory spalania sprężonym powietrzem	69
4.1.4.	Proces spalania w komorze izochorycznej	71
4.1.5.	Wylot spalin do turbiny (opróżnianie komory, rozprężanie i zasilanie turbiny)	75
4.2.	Rozrząd 2-komorowy z zaworami krążkowymi	76
4.2.1.	Przebieg parametrów termicznych cyklu silnika	80
4.2.2.	Obliczenia sprawności energetycznej silnika	81
4.3.	Rozrząd 4-komorowy z zaworami tarczowymi	83
4.4.	Rozrząd 4-komorowy z zaworem tarczowym i rozdzielonymi dyszami	85
4.5.	Rozrząd 4-komorowy z zaworami klapowymi i rozdzielonymi dyszami	86
4.6.	Rozrząd 4-komorowy z zaworami tarczowymi, rozdzielonymi dyszami i zasilaniem na całym obwodzie turbiny	88
4.7.	Rozrząd 3-komorowy z zaworami tarczowymi i dyszami 2-ciśnieniowymi	89
4.8.	Wirujący rozrząd z 3-ciśnieniowymi dyszami	92
4.9.	Wirujący rozrząd z 4-ciśnieniowymi dyszami	97
4.10.	Urealnienie warunków brzegowych symulacji oraz analiza parametryczna sprawności energetycznej koncepcji silnika turbinowego z zastosowaniem wirującego rozrządu	100
4.10.1.	Spalanie dekanu z uwzględnieniem chłodzenia ścianek komór	100
4.10.2.	Etap przygotowania wysokociśnieniowych spalin	101
4.10.3.	Etap generowania mocy	106
4.10.4.	Przebieg parametrów termicznych podczas cyklu pracy silnika	108
4.10.5.	Optymalizacja kątów napływu spalin i dobór profilu łopatki turbiny	109
4.10.6.	Analiza wrażliwości różnych wartości współczynnika nadmiaru powietrza i sprężu na sprawność silnika	113
4.10.7.	Koncepcja wirującego rozrządu z 3-ciśnieniowymi dyszami i zasilaniem na całym obwodzie turbiny	114
4.11.	Uproszczenie konstrukcji rozrządu z układem dolotu i wylotu gazu po jednej stronie komory	118
5.	Rozrząd z zaworami samoczynnymi	122
5.1.	Rozrząd z zaworami wahadłowymi i grzybkowymi	122
5.1.1.	Model geometryczny rozrządu i zasada działania	122
5.1.2.	Obliczenia prędkości ruchomych elementów zaworów samoczynnych	124
5.1.3.	Opis działania silnika na podstawie wzajemnego położenia ruchomych elementów zaworu wahadłowego i grzybkowego	127
5.1.4.	Model numeryczny i opis warunków brzegowych	130
5.1.5.	Wyniki symulacji pracy silnika	133
5.1.6.	Hamulec gazowy części ruchomej zaworu wahadłowego	139
5.2.	Rozrząd z zaworami tłoczkowymi	143

6. Rozrząd z wirującymi komorami spalania – finalna koncepcja silnika	147
6.1. Koncepcja uszczelnienia komór spalania	147
6.2. Zasada działania finalnej koncepcji silnika	151
6.3. Schemat silnika oraz dobór turbosprężarek oraz sprężarki mechanicznej	152
6.4. Model numeryczny oraz wyniki finalnej koncepcji silnika o mocy 1000 kW	156
6.5. Analiza wrażliwości siatki obliczeniowej.....	164
6.5.1. Omówienie aspektów wpływających na dokładność wyników symulacji.....	164
6.5.2. Opis różnych siatek numerycznych zastosowanych w symulacji	167
6.5.3. Porównanie wyników dla trzech różnych siatek obliczeniowych	172
6.6. Zapewnienie efektywnego napełniania komory świeżym sprężonym powietrzem.....	173
6.7. Porównanie modelu spalania <i>Eddy Dissipation</i> z modelem <i>Finite Rate/Eddy Dissipation</i> oraz reakcji spalania jedno- i dwukrokowej.....	174
6.8. Wariant silnika o mocy 500 kW	175
6.9. Wariant silnika o mocy 700 kW	178
6.10. Wariant silnika o mocy 1700 kW – 6 komór w dwóch rzędach.....	179
6.11. Wariant silnika o mocy 1700 kW – 8 komór w dwóch rzędach.....	184
6.12. Porównanie sprawności prezentowanej koncepcji silnika z silnikami turbowałowymi dostępnymi na rynku.....	186
6.13. Wariant silnika z dodatkowym wzmocnieniem obiegiem parowym.....	187
6.13.1. Schemat silnika gazowo-parowego	188
6.13.2. Parametry obiegu pary.....	190
6.13.3. Wyniki obliczeń sprawności silnika.....	191
7. Aspekty technologiczne finalnej koncepcji silnika z wirującymi komorami spalania	193
7.1. Technologiczna koncepcja samonastawnych segmentowych uszczelnień ceramicznych	193
7.1.1. Zasada działania systemu uszczelnień	193
7.1.2. Obliczenia pracy tarcia uszczelnień	195
7.1.3. Zagadnienia technologiczne systemu uszczelnień	196
7.2. Materiałowo-technologiczna koncepcja konstrukcji układu rozrządu do badań stanowiskowych samonastawnego systemu uszczelnień	198
7.2.1. Opis modelu projektowanego stanowiska badawczego	198
7.2.2. Analiza termiczna i dobór materiałów konstrukcyjnych.....	201
7.3. Materiałowo-technologiczna koncepcja konstrukcji silnika.....	204
7.3.1. Koncepcja konstrukcji silnika	204
7.3.2. Dobór materiałów konstrukcyjnych oraz wyniki analizy termicznej.....	206
8. Zakończenie.....	215
8.1. Podsumowanie.....	215
8.2. Weryfikacja celu i tez pracy.....	216
8.3. Wnioski.....	219
Literatura.....	223