

Charakterystyka silnika dwuprzepływowego analiza chłodzenia

opracował dr inż Robert Jakubowski

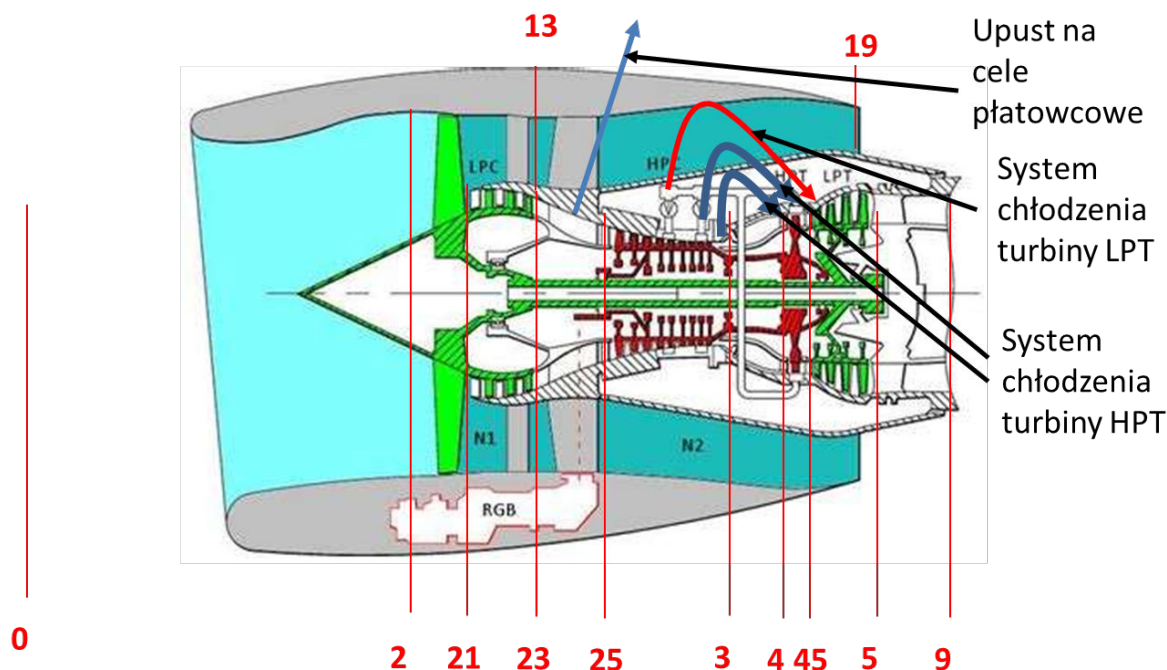
Table of Contents

1 MODEL SILNIKA.....	1
2 OBLICZENIA SILNIKA Z UPUSTEM I CHŁODZENIEM OBYDWU TURBIN.....	2
Przygotowanie danych do obliczeń dla punktu obliczeniowego (DP).....	2
Obliczenia silnika dla silnika bez upustu i z upustami.....	4
Prezentacja wyników obliczeń dla silnika bez chłodzenia i silnika z chłodzeniem i upustami.....	4
3 OBLICZENIA SILNIKA Z UPUSTEM I CHŁODZENIEM TYLKO TURBINY WYSOKIEGO CIŚNIENIA HPT.....	5
Prezentacja wyników obliczeń dla analizowanych silników bez chłodzenia i silnika z chłodzeniem i upustami.....	6

W dokumencie zostanie omówiona metodyka przygotowania danych i wykonania obliczeń dla silnika dwuprzepływowego z oddzielnymi dyszami wylotowymi z uwzględnieniem chłodzenia i upustów w silniku

1 MODEL SILNIKA

Koncepcja silnika dla którego prowadzone sa obliczenia została przedstawiona na rysunku poniżej:



Chłodzenie turbiny HPC:	Bch1, PRBch1=1 - chłodzenie WDT Bch2, PRBch2 – chłodzenie wirnika turbiny HPC
Chłodzenie turbiny LPC:	Bch3, PRBch3=1 - chłodzenie WDT
Upust na cele płatowcowe	B_bleed, PR_bleed = 1 - upus za sprężarką NC

Silnik ma przewidziany upust na cele płatowcowe, który może być realizowany ze sprężarki niskiego ciśnienia LPC lub z za sprężarki LPC.

W silniku uwzględniono upust na chłodzenie turbiny ze sprężarki HPC, przy czym pierwszy upust przewidziany jest na chłodzenie turbiny niskiego ciśnienia, a pozostałe na turbinę wysokiego ciśnienia. Ostatni upust (powinien być z za sprężarki jest wykorzystany na chłodzenie **aparatu dyszowego turbiny i wirnika turbiny** w ilości 60% i 40%.

Gdy turbina niskiego ciśnienia nie jest chłodzona, to w wektorze definiującym upusty z HPC na pierwszym miejscu powinien być zdefiniowany NaN - przykład w: [3 OBLICZENIA SILNIKA Z UPUSTEM I CHŁODZENIEM TYLKO TURBINY WYSOKIEGO CIŚNIENIA HPT](#)

2 OBLICZENIA SILNIKA Z UPUSTEM I CHŁODZENIEM OBYDWU TURBIN

Założenia dotyczące upustów:

- 8% powietrza względem wlotu do KW pobierane z za sprężarki jest wykorzystane na chłodzenie turbiny wysokiego ciśnienia (60% WDT, 40% wirnik)
- Z HPC jest upuszczane powietrze w ilości 3% (spręż względny 40%) do chłodzenia dalszej części sprężarki HPC
- Z HPC jest upuszczane powietrze w ilości 1.5% na chłodzenie LPT (spręż względny 12%)
- Z za LPC jest upuszczane powietrze w ilości 3% na cele płatowcowe

stąd

$B_{\text{bleed}}=0.03$ $PR_{\text{bleed}}=1$

$B_{\text{ch}}=[0.015 \ 0.03 \ 0.08]$, $PR_{\text{ch}}=[0.08 \ 0.5 \ 1]$

Przygotowanie danych do obliczeń dla punktu obliczeniowego (DP)

Definicja danych dla upustu i chłodzenia:

Wprowadzenie pozostałych danych

Wysokość H [m]

$$H_{\text{DP}} = 11000$$

Prędkość lotu wyrażona liczbą Mach

$$VM_{\text{DP}} = 0.8200$$

Wydatek masowy powietrza w DP [kg/s]

$$m0_{\text{DP}} = 100$$

Stopień dwuprzepływowości [kg/s]

$$BPR_{\text{DP}} = 9.5000$$

Spręż wentylatora

$$PiF_{\text{DP}} = 1.4500$$

Spręż sprężarki niskiego ciśnienia

$$PiLPC_{\text{DP}} = 3$$

Spręż sprężarki wysokiego ciśnienia

$$P_{iHPC_DP} = 18$$

Temperatura gazów przed turbiną TIT [K]

$$T_{t4_DP} = 1650$$

Współczynnik strat ciśnienia we wlocie

$$s_{IN} = 0.9800$$

Sprawność wentylatora ustalona jako politropowa (1 na drugiej pozycji)

$$e_F = \begin{matrix} 1 \times 2 \\ 0.9100 & 1.0000 \end{matrix}$$

Sprawność sprężarki niskiego ciśnienia (LPC) ustalona jako politropowa (1 na drugiej pozycji)

$$e_{LPC} = \begin{matrix} 1 \times 2 \\ 0.9100 & 1.0000 \end{matrix}$$

Sprawność sprężarki wysokiego ciśnienia (HPC) ustalona jako politropowa (1 na drugiej pozycji)

$$e_{HPC} = \begin{matrix} 1 \times 2 \\ 0.8850 & 1.0000 \end{matrix}$$

Współczynnik strat ciśnienia w komorze spalania

Sprawność cieplna komory spalania

Sprawność turbiny wysokiego ciśnienia (HPT) ustalona jako izentropowa (0 na drugiej pozycji)

$$e_{HPT} = \begin{matrix} 1 \times 2 \\ 0.8800 & 1.0000 \end{matrix}$$

Sprawność turbiny niskiego ciśnienia (LPT) ustalona jako izentropowa (0 na drugiej pozycji)

$$e_{LPT} = \begin{matrix} 1 \times 2 \\ 0.9000 & 1.0000 \end{matrix}$$

Sprawność mechaniczna wirników niskiego ciśnienia e_{m1} i wysokiego ciśnienia e_{m2}

$$e_{m1} = 0.9950$$

$$e_{m2} = 0.9900$$

Współczynnik strat ciśnienia w kanale zewnętrznym - od wentylatora do wlotu do mieszalnika

$$s_{KZ} = 0.9800$$

Współczynnik strat ciśnienia w kanale wewnętrznym - od turbiny LPT do wlotu do mieszalnika

$$s_{KW} = 0.9850$$

Współczynnik strat ciśnienia dla dyszy zbieżnej w kanale wewnętrznym. Rodzaj dyszy zdefiniowano w modelu silnika.

$$s_N = 0.9800$$

Współczynnik strat ciśnienia dla dyszy zbieżnej w kanale zewnętrznym. Rodzaj dyszy zdefiniowano w modelu silnika

sN_z = 0.9850

Obliczenia silnika dla silnika bez upustu i z upustami

Wykonane zostaną obliczenia silnika dwuprzepływowego bez upustów - oznaczenia z indeksem 0

Wykonane zostaną obliczenia silnika dwuprzepływowego z upustami - oznaczenia z indeksem 1

Prezentacja wyników obliczeń dla silnika bez chłodzenia i silnika z chłodzeniem i upustami

Podstawowe wyniki obliczeń zestawiono w tabeli:

tabela0 = 14x4 table

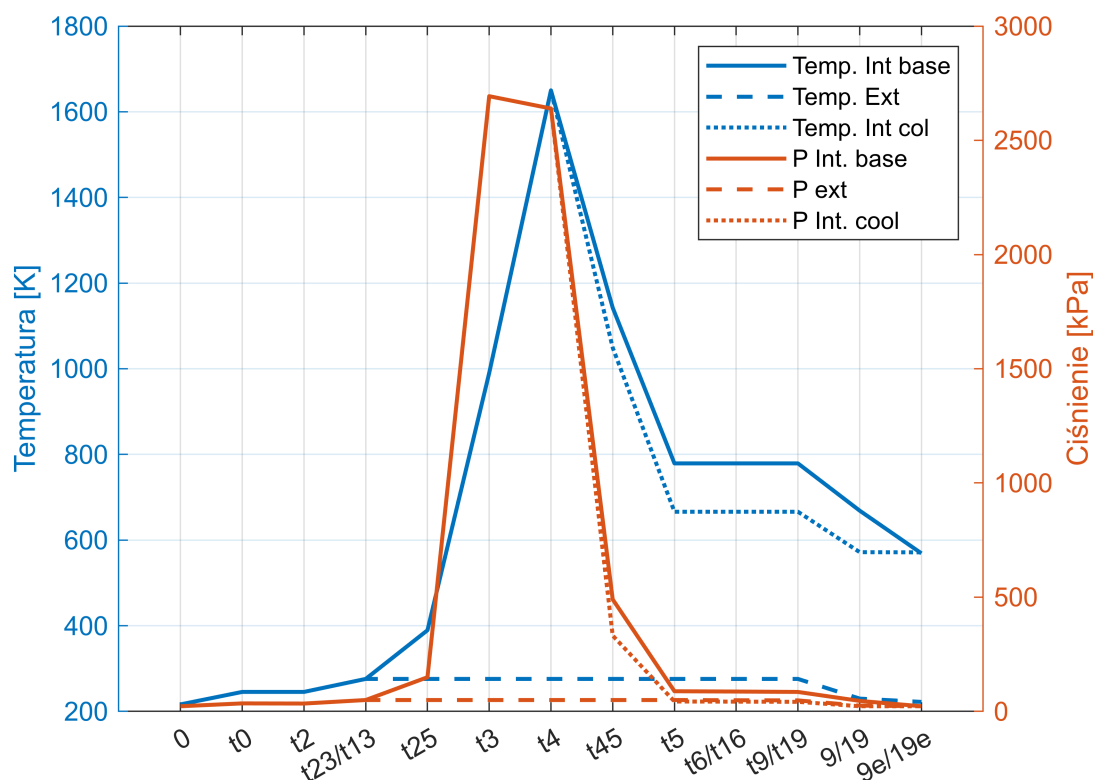
	Parameter	Unit	Brak upustu	upust i chłodz.
1	'Altitude'	'km'	11	11
2	'Mach No'	'-'	0.82	0.82
3	'm0'	'kg/s'	100	100
4	'Thrust'	'kN'	12.37	9.978
5	'Specific Thrust'	'N*s/kg'	123.7	99.78
6	'fuel consumption'	'kg/s'	0.1771	0.151
7	'Specific fuel consump'	'kg/N/h'	0.05155	0.05447
8	'therm. efficiency'	'-'	0.5727	0.4632
9	'prop. efficiency'	'-'	0.6856	0.8023
10	'overall efficiency'	'-'	0.3927	0.3716
11	'A_WDT_HPT'	'm^2'	0.003831	0.003398
12	'AWDT_LPT'	'm^2'	0.01783	0.02434
13	'A8'	'm^2'	0.08007	0.1458
14	'A18'	'm^2'	0.7721	0.7721

Dane dotyczące parametrów strumienia w przekrojach silnika zestawiono w tabeli i na wykresie

tabela1 = 13x5 table

	section	T. [K] Int. nie chl	T. [K] Int. chl	P [kPa] Int. nie chl	P [kPa] Int. chl
1	'0'	216.4	216.4	22.57	22.57
2	't0'	245.5	245.5	35.1	35.1
3	't2'	245.5	245.5	34.4	34.4
4	't23/t13'	275.9	275.9	49.87	49.87
5	't25'	389.5	389.5	149.6	149.6
6	't3'	990.3	990.3	2693	2693
7	't4'	1650	1650	2639	2639

	section	T. [K] Int. nie chl	T. [K] Int. chl	P [kPa] Int. nie chl	P [kPa] Int. chl
8	't45'	1143	1049	490.4	331.9
9	't5'	779.1	666.1	88.27	43.39
10	't6/t16'	779.1	666.1	86.94	42.74
11	't9/t19'	779.1	666.1	85.2	41.89
12	'9/19'	668.7	571.8	46.04	22.64
13	'9e/19e'	569	571.4	22.57	22.57



Wartości parametrów w punkcie obliczeniowym stanowiąc będą odniesienie do wyników obliczeń parametrów i osiągow silnika dla różnych prędkości i wysokości lotu

3 OBLICZENIA SILNIKA Z UPUSTEM I CHŁODZENIEM TYLKO TURBINY WYSOKIEGO CIŚNIENIA HPT

Dla przyjętego modelu chłodzenia silnika założono, że przy zadawaniu parametrów chłodzenia, gdy wektor chłodzenia jest jednoelementowy, to cały strumień chłodzący jest wykorzystany na chłodzenie HPT. Gdy wektor elementów czynnika chłodzącego jest dwu lub więcej elementowy, to pierwszy element dotyczy właściwości czynnika chłodzącego dla turbiny LPT. Aby przy większym wktorze czynnika chłodzącego pominąć

chłodzenie LPT, wektor zawierający informacje o parametrach chłodzenia na pierwszej pozycji powinien zawierać element NaN. Przykład wyeliminowanie z wcześniej zdefiniowanego wektora czynnika chłodzącego i pominięcie chłodzenia LPT będzie:

B_ch=[NaN 0.03 0.08], PR_ch=[NaN 0.4 1] zamiast

B_ch=[0.015 0.03 0.08], PR_ch=[0.08 0.5 1]

Definicja nowego wektora dla chłodzenia:

Wykonane zostaną obliczenia silnika dwuprzepływowego z upustami - oznaczenia z indeksem 1

Prezentacja wyników obliczeń dla analizowanych silników bez chłodzenia i silnika z chłodzeniem i upustami

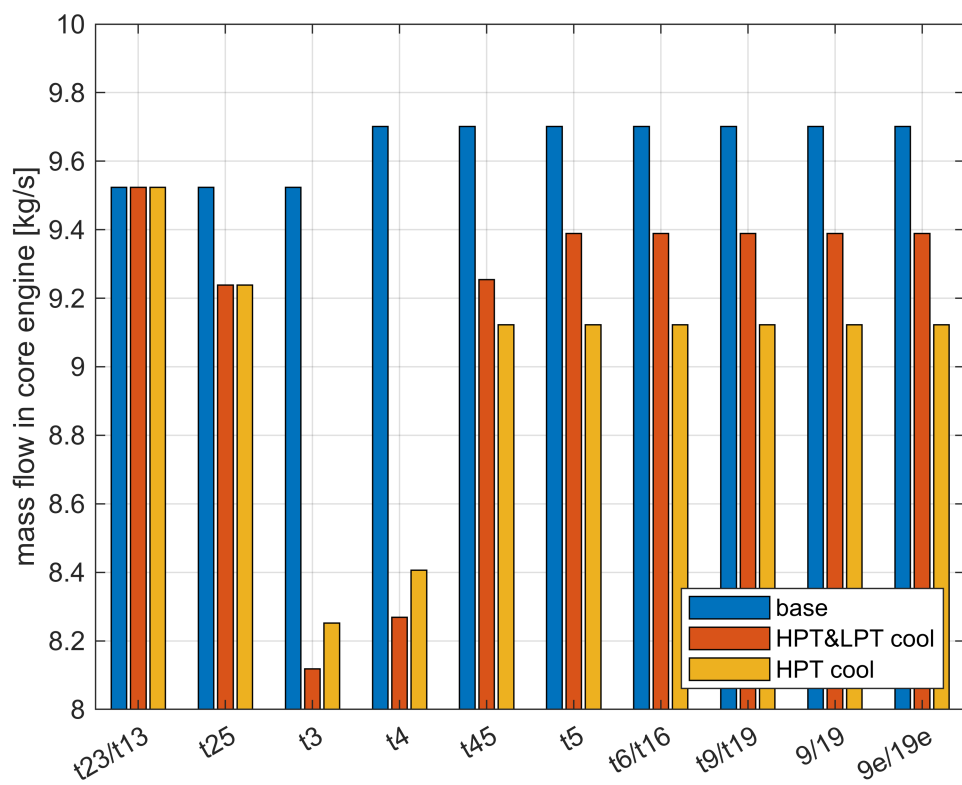
Podstawowe wyniki obliczeń zestawiono w tabeli:

tabela0 = 14x5 table

...

	Parameter	Unit	Brak upustu	upust i chłodz. obu turb.
1	'Altitude'	'km'	11	11
2	'Mach No'	'-'	0.82	0.82
3	'm0'	'kg/s'	100	100
4	'Thrust'	'kN'	12.37	9.978
5	'Specific Thrust'	'N*s/kg'	123.7	99.78
6	'fuel consumption'	'kg/s'	0.1771	0.151
7	'Specific fuel consump'	'kg/N/h'	0.05155	0.05447
8	'therm. efficiency'	'-'	0.5727	0.4632
9	'prop. efficiency'	'-'	0.6856	0.8023
10	'overall efficiency'	'-'	0.3927	0.3716
11	'A_WDT_HPT'	'm^2'	0.003831	0.003398
12	'AWDT_LPT'	'm^2'	0.01783	0.02434
13	'A8'	'm^2'	0.08007	0.1458
14	'A18'	'm^2'	0.7721	0.7721

Analiza wydatku masowego w kanale wewnętrznym silnika została przedstawiona na rysunku poniżej.



Dane dotyczące parametrów strumienia w przekrojach silnika zestawiono w tabeli i na wykresie

tabela1 = 13x4 table

	section	T. [K] Int. nie chl	T. [K] HPT&LPT cool	T. [K] HPT cool
1	'0'	216.4	216.4	216.4
2	't0'	245.5	245.5	245.5
3	't2'	245.5	245.5	245.5
4	't23/t13'	275.9	275.9	275.9
5	't25'	389.5	389.5	389.5
6	't3'	990.3	990.3	990.3
7	't4'	1650	1650	1650
8	't45'	1143	1049	1081
9	't5'	779.1	666.1	694.6
10	't6/t16'	779.1	666.1	694.6
11	't9/t19'	779.1	666.1	694.6
12	'9/19'	668.7	571.8	596.3
13	'9e/19e'	569	571.4	568.8

tabela1 = 13x4 table

	section	P [kPa] Int. nie chl	P [kPa] HPT&LPT cool	P [kPa] HPT cool
1	'0'	22.57	22.57	22.57
2	't0'	35.1	35.1	35.1
3	't2'	34.4	34.4	34.4
4	't23/t13'	49.87	49.87	49.87
5	't25'	149.6	149.6	149.6
6	't3'	2693	2693	2693
7	't4'	2639	2639	2639
8	't45'	490.4	331.9	331.9
9	't5'	88.27	43.39	43.39
10	't6/t16'	86.94	42.74	42.74
11	't9/t19'	85.2	41.89	41.89
12	'9/19'	46.04	22.64	22.64
13	'9e/19e'	22.57	22.57	22.57

