

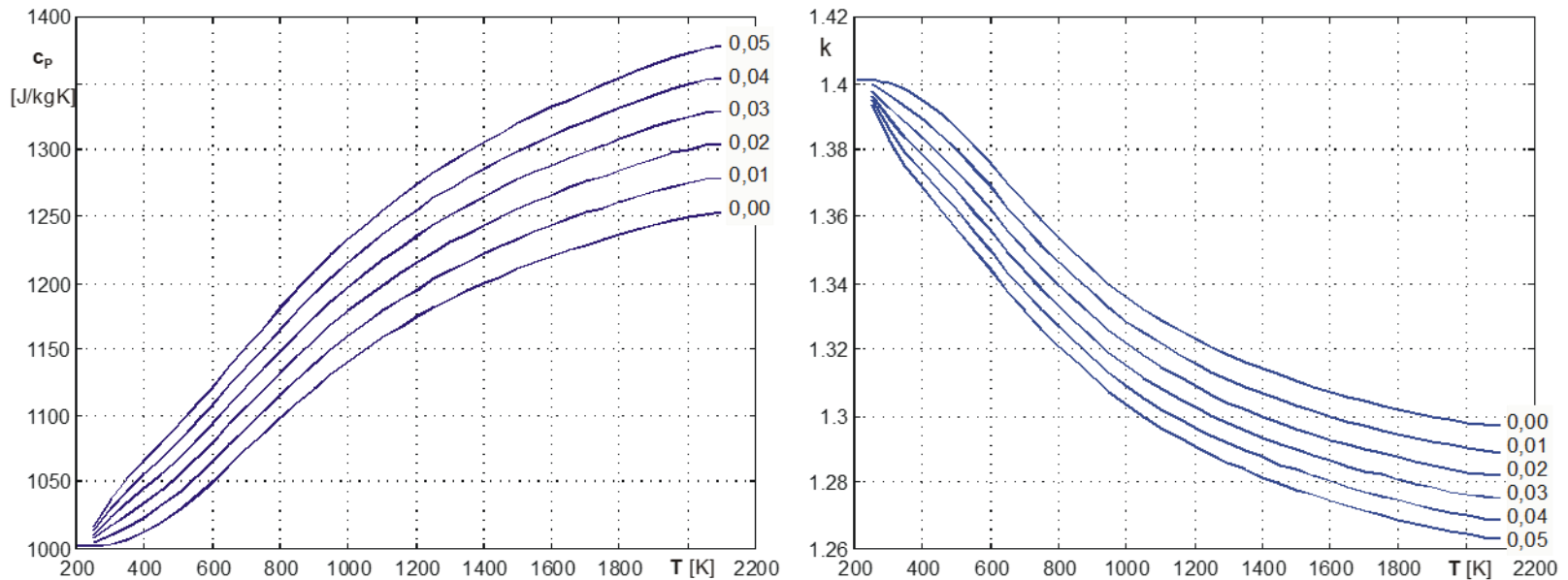
Modelowanie osiągow silnika z uwzględnieniem modelu gazu półdoskonatego

Robert Jakubowski

Gaz półdoskonały

Gaz w którym uwzględnia się drgania drobin. Wielkości opisujące właściwości gazu zależą od temperatury i składu gazu

$$c_p, c_v, k = f(T)$$



Zależność pojemności cieplnej c_p oraz wykładnika izentropy k dla spalin powstałych ze spalania paliwa o uśrednionym składzie chemicznym $C_{12}H_{23,5}$ od temperatury dla różnych wartości względnego zużycia paliwa τ_{pal} (dla powietrza $\tau_{pal}=0$)

$$\bar{c}_p = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT / (T_2 - T_1)$$

$$\bar{k} = \int_{T_1}^{T_2} k dT / (T_2 - T_1) = \frac{\bar{c}_p}{\bar{c}_p - R}$$

Modelowanie powietrza

- Ciepło właściwe - model wielomianowy:

$$c_p = \sum_{i=0}^n A_i \left(\frac{T}{1000} \right)^i \quad [\text{kJ/kg/K}]$$

Wartości wskaźników wielomianu

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
0,992313	0,236688	-1,852148	6,083152	-8,893933	7,097112	-3,234725	0,794571	-0,081873

- Indywidualna stała gazowa

$$R_{pow} = 287,053 \quad [\text{J/kg/K}]$$

- Wykładnik izentropy

$$k = \frac{c_p}{c_p - R}$$

Model spalin

- Ciepło właściwe spalin

$$c_{p_spal} = \frac{1 + \tau_{pal} (J_0 + J_1 T - J_2 / T^2)}{1 + \tau_{pal}} c_{p_pow}$$

$$J_0 = \frac{1}{M_{pal}} (18,0566 n_C + 8,3485 n_H + 15,1616 n_O)$$

$$J_1 = 0,00223 \frac{n_H}{M_{pal}}$$

$$J_2 = 1077768,4 \frac{n_C}{M_{pal}}$$

M_{pal}, M_{pow} - masa molowa paliwa i powietrza

n_C, n_H, n_O - udział molowy pierwiastków w paliwie odpowiednio: węgla, wodoru i tlenu

τ_{pal} - względne zużycie paliwa.

Model przedstawiono na podstawie:

Guha A.: *An efficient generic method for calculating the properties of combustion products*, **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A, Vol. 215, Iss. 3, Londyn, 2001**

Przykładowe udziały molowe oraz wybrane wskaźniki charakteryzujące paliwa

Fuel	Equivalent chemical formula	Density kg/m ³	Specific heat kJ/(kgK)	Lower heating values (LHV) MJ/(kg)	Molar mass kg/kmol
Ethanol	C_2H_6O	790	2,44	26,8	46.069
Methanol	CH_4O	790	2,53	19,92	32,042
Liquid hydrogen	H_2	70	1,44	120,0	2,016
CNG	CH_4	450	1,27	42	17,39
LPG	$C_{3,5}H_9$	550	1,253	45	15,67
Gasoline	C_7H_{17}	770	2,4	44	100
Diesel	$C_{14,4}H_{24,9}$	820	2,0	42,8	200
Kerosene	$C_{12,5}H_{23,5}$	850	2,0	42,8	173

Model spalin c.d.

- Indywidualna stała gazowa

$$R_{spal} = \frac{1 + \mathfrak{R} \tau_{pal}}{1 + \tau_{pal}} R_{pow}$$

Gdzie:

$$\mathfrak{R} = \frac{M_{pow}}{M_{pal}} \left(\frac{n_H}{4} + \frac{n_O}{2} \right)$$

Gdy $\mathfrak{R} < 1$, to przyjmuje się że $\mathfrak{R} = 1$,

- Ciepło właściwe oblicza się wg zależności jak dla powietrza

$$k = \frac{c_p}{c_p - R}$$

Obliczenia dla przemian gazowych

- Dla przemiany od T_1 do T_2 powinno się wyznaczyć średnie ciepło właściwe

$$\bar{c}_p = \int_{T_1}^{T_2} c_p(T) dT / (T_2 - T_1) \qquad \bar{k} = \int_{T_1}^{T_2} k(T) dT / (T_2 - T_1)$$

- Istnieje możliwość przybliżenia średniego ciepła właściwego poprzez wyznaczane wartości c_p i k dla temperatury średniej

$$T_{sr} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Przykładowe obliczenia

Obliczyć ciepło właściwe c_p i wykładnik izentropy k dla przemiany powietrza od temp $T_1=300$ K do temp $T_2=700$ K

Dla całki z wielomianu

$$\bar{c}_p = \frac{\int_{T_1}^{T_2} c_p(T) dT}{(T_2 - T_1)} = \frac{1000 \left(\sum_{i=0}^n \left(\frac{A_i}{i+1} \frac{T_2^{i+1}}{1000^i} \right) - \sum_{i=0}^n \left(\frac{A_i}{i+1} \frac{T_1^{i+1}}{1000^i} \right) \right)}{(T_2 - T_1)}$$

$$\bar{c}_p = 1032 \frac{J}{kgK} \quad \bar{k} = \frac{\bar{c}_p}{\bar{c}_p - R} = \frac{1032}{1032 - 287} = 1,385$$

Dla temperatury średniej

$$T_{sr} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{300 + 700}{2} = 500 \text{ K}$$

$$\bar{c}_p = c_p(T_{sr}) = 1029 \frac{J}{kgK} \quad \bar{k} = \frac{\bar{c}_p}{\bar{c}_p - R} = \frac{1029}{1029 - 287} = 1,387$$

Przykład obliczeniowy

Policzyć ciepło właściwe, indywidualną stałą gazową oraz wykładnik izentropy dla spalin powstałych ze spalania etanolu C_2H_6O , gdy względna masa paliwa do powietrza wynosi 0,025 a temperatura 1000K

Masa molowa paliwa

$$M_{pal} = M_H n_H + M_C n_C + M_O n_O = 1 \cdot 6 + 12 \cdot 2 + 16 \cdot 1 = 46 \text{ kg/kmol}$$

Masa molowa powietrza

$$\begin{aligned} M_{pow} &= M_{N_2} \% (n_{N_2}) + M_{O_2} \% (n_{O_2}) + M_{Ar} \% (n_{Ar}) \\ &= 28 \cdot 0,78 + 32 \cdot 0,21 + 40 \cdot 0,01 = 28,96 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_0 &= \frac{1}{M_{pal}} (18,0566 n_C + 8,3485 n_H + 15,1616 n_O) \\ &= \frac{1}{46} (18,0566 \cdot 2 + 8,3485 \cdot 6 + 15,1616 \cdot 1) = 2,2003 \end{aligned}$$

$$J_1 = 0,00223 \frac{n_H}{M_{pal}} = 0,00223 \cdot \frac{6}{46} = 2,904337 \cdot 10^{-4}$$

$$J_2 = 1077768,4 \frac{n_C}{M_{pal}} = 1077768,4 \cdot \frac{2}{46} = 4,678929 \cdot 10^4$$

Przykład obliczeniowy c.d.

$$c_{p_pow}(1000) = 1141 \frac{J}{kg K}$$

$$c_{p_spal} = \frac{1 + \tau_{pal} \left(J_0 + J_1 T + \frac{J_2}{T^2} \right)}{1 + \tau_{pal}} c_{p_pow}$$
$$= \frac{1 + 0,025 \left(2,2003 + 2,904337 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 + \frac{4,678929 \cdot 10^4}{1000^2} \right)}{1 + 0,025} 1141 = 1181 \frac{J}{kgK}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{M_{pow}}{M_{pal}} \left(\frac{n_H}{4} + \frac{n_O}{2} \right) = \frac{28,96}{46} \left(\frac{6}{4} + \frac{1}{2} \right) = 1,2575$$

$$R_{spal} = \frac{1 + \mathfrak{R} \tau_{pal}}{1 + \tau_{pal}} R_{pow} = \frac{1 + 1,2575 \cdot 0,025}{1 + 0,025} 287 = 289 \frac{J}{kg K}$$

$$k_{spal} = \frac{c_{p_spal}}{c_{p_spal} - R_{spal}} = \frac{1141}{1141 - 289} = 1,324$$

Przykład funkcji do obliczeń c_p dla powietrza

```
function cp=cp_pow(T)
```

```
%cp=cp_pow(T)
```

```
%Funkcja oblicza  $c_p$  dla powietrza w zależności o d temperatury T, korzystając z opisu
```

```
%za pomocą wielomianu  $cp=\sum(A_i(T_i/1000)^i)$ 
```

```
%Wyznaczona wartość  $c_p$  jest w J/kg/K
```

```
%Guha - An Efficient generic method for calculating the properties of combustion products
```

```
A=[0.992313 0.236688 -1.852148 6.083152 -8.893933 7.097112 -3.234725 0.794571 -0.081873];
```

```
cp=0;
```

```
for i=1:9,
```

```
    cp=A(i).*T.^(i-1)/1000.^(i-2)+cp;
```

```
end;
```

Przykładowa funkcja do obliczeń c_p dla spalin

```
function cp=ciep_w(T,pal_pow,naz_pal)                end;

%cp=ciep_w(T,tau_pal,naz_pal)                       cp=cp_pow(T);
%funkcja oblicza ciepło właściwe powietrza i spalin if pal_pow>0
%powstałych ze spalania paliw węglowodorowych    [nh,no,nc]=paliwa(naz_pal);
%pal_pow - stosunek m_pal/m_pow                  %wymaga to opracowania funkcji paliwa
%naz_pal - nazwa paliwa;                          M_pal=nc.*Mc+nh.*Mh+no.*Mo;
%n - ilość kilomoli pierwiastka w paliwie
%np. metan CH4 nc=1, nh=4;

Mh=1.00794;
Mc=12.011;
Mo=15.9994;
if exist('naz_pal','var')==0,
    naz_pal='powietrze';
end;
if exist('pal_pow','var')==0,
    pal_pow=0;

J0=(18.0566*nc+8.3485*nh+15.1616*no)./M_pal;
J1=0.00223*nh./M_pal;
J2=1077768.4*nc./M_pal;
Cp_pow=cp_pow(T);
cp=(1+pal_pow.*(J0+J1*T+J2/T^2))/(1+pal_pow)*Cp_pow;
end
```

Biblioteka paliw

```
function [nh,no,nc,Wu]=paliwa(naz_pal)
```

```
%Funkcja stanowi bibliotekę paliw zawierającą ilości moli pierwiastków w paliwie  
%Oraz Wu jako wartość opałowa danego paliwa w J/kg
```

```
•  
if strcmpi(naz_pal,'nafta')==1  
    nc=12;  
    nh=23.5;  
    no=0;  
    Wu=43e6; %J/kg  
elseif strcmpi(naz_pal,'wodór')==1  
    nc=0;  
    nh=2;  
    no=0;  
    Wu=120e6; %J/kg  
elseif strcmpi(naz_pal,'benzen')==1  
    ...  
elseif strcmpi(naz_pal,'powietrze')==1,  
    nc=0;  
    nh=0;  
    no=0;  
    Wu=0;  
end;
```

Przykładowa funkcja do obliczeń k i R dla powietrza i spalin

```
function [k,R]=krodcp(cp,tau_pal,naz_pal)

Mc=12.011;
Mo=15.9994;
Mpow=28.967;
R_pow=287.053;

%[k,R]=kRodcp(T,tau_pal,naz_pal)
%funkcja oblicza parametry termodynamiczne gazu
k i R dla %danej wartości cp
%przy zadanych tau_pal i naz_pal (dotyczy spalin)
%dla powietrza zmienne tau_pal i naz_pal nie są
podawane
%
%patrz ciep_w, cp_pow, cp_sr

if exist('naz_pal','var')==0,
    naz_pal='powietrze';
end;
if exist('tau_pal','var')==0,
    tau_pal=0;
end;

Mh=1.00794;

if all(tau_pal==0),
    R=R_pow;
else
    [nh,no,nc]=paliwa(naz_pal);
    M_pal=nc.*Mc+nh.*Mh+no.*Mo;

    RR=Mpow./M_pal.*(nh/4+no/2);
    if RR<1
        RR=1;
    end
    R=(1+RR.*tau_pal)./(1+tau_pal)*R_pow;
end;
k=cp./(cp-R);
```

Funkcja do obliczeń sprężarki z uwzględnieniem średniego ciepła właściwego

```
function [Tt2,pt2,Ps]
=sprezarka_zmcp(Tt1,pt1,Pis,es,m)

cp=1005;
k=1.4;

if length(es)==1;
    es(2)=0;
end

T2p=Tt1;
if es(2)==0
    Tt2=Tt1*(1+(Pis.^((k-1)/k)-1)/es(1));
else
    Tt2=Tt1*Pis.^((k-1)/k/es(1));
end
```

```
while abs((Tt2-T2p)/Tt2)>0.0001
    cp=cp_sr_pow(Tt1,Tt2);
    [k,R]=krodcp(cp);
    T2p=Tt2;
    if es(2)==0
        Tt2=Tt1*(1+(Pis.^((k-1)/k)-1)/es(1));
    else
        Tt2=Tt1*Pis.^((k-1)/k/es(1));
    end
end

Ps=cp*m*(Tt2-Tt1);
pt2=Pis*pt1;
```

Obliczanie prowadzone są iteracyjnie. Warunek zakończenia iteracji zdefiniowany jest przez wskazanie różnicy w kolejnych wartościach temperatury za sprężarką

Porównanie wyników obliczeń sprężarki dla stałego i zmiennego c_p

Spręż	Tt1 [K]	Tt2 [K] – stałe cp=1005 J/kg/K	T2 [K]- zmiennie cp- wartość kolumna obok	Cp [J/kg/K] gaz półdoskonały	Praca [kJ/kg] stałe cp	Praca [kJ/kg] zmiennie cp
5	288	475	473	1012	187,935	187,22
10	288	586	580	1020	299,49	297,84
15	288	662	653	1027	375,87	374,855
5	500	824	862	1063	325,62	384,806
10	500	1017	968	1082	519,585	506,376
15	500	1149	1075	1094	652,245	629,05

Wyniki obliczeń pokazują, że wartość temperatury za sprężarką wyliczona wg zależności na zmiennie ciepło właściwe różni się od obliczeń dla stałego ciepła właściwego (przeważnie temperatura Tt2 dla zmiennego ciepła właściwego jest wyższa, ale dla wysokiej temperatury wlotowej i sprężów 10 i 15 obliczona wartość Tt2 dla zmiennego cp jest niższa). Zmiana cp wpływa także na wartość pracy sprężarki, która szczególnie istotnie różni się dla wysokich temperatur wlotowych do sprężarki i dużych spręży.

Modelowanie turbiny chłodzonej

```
function [Tt2,pt2,Pit,m2,Awdt,pal_pow2]
=turbina_zmcp(Tt1,pt1,Pt,et,pal_pow,naz_pal,m,mch,Tch)

if exist('mch','var')==0;
    mch=0;Tch=0;
end

cp1=cp_pow(Tch);
cp2=ciep_w(Tt1,pal_pow,naz_pal);

m2=m+mch;
Tt2=(m*cp2*Tt1-Pt+mch*cp1*Tch)/(m*cp2+mch*cp1);
Tp2=Tt1;

while abs(Tt2-Tp2)/Tp2>0.0001
    cp1=cp_sr_pow(Tch,Tt2);
    cp2=ciep_w((Tt2+Tt1)/2,pal_pow,naz_pal);
    Tp2=Tt2;
    Tt2=(m*cp2*Tt1-Pt+mch*cp1*Tch)/(m*cp2+mch*cp1);
end

if length(et)==1;
    et(2)=0;
end

mpal=pal_pow*m/(1+pal_pow);
pal_pow2=mpal/(m2-mpal);

cp3=ciep_w((Tt1+Tt2)/2,pal_pow2,naz_pal);
[k,R]=krodcp(cp3,pal_pw,naz_pal);
if et(2)==0
    Pit=(et(1)/(et(1)+Tt2./Tt1-1)).^(k./(k-1));
else
    Pit=(Tt1/Tt2)^(k/(k-1)/et(1));
end
pt2=pt1/Pit;

[k2,R2]=krodcp(cp2,pal_pow,naz_pal);
Awdt=m/(pt1*0.98)*sqrt(R2/k2*Tt1)/(((k2+1)/2)^(2*(k2-1)/k2+1));
```

Porównanie wyników obliczeń turbiny

Temperatura wlotowa/Różnica na turbinie		Temp za turbiną [K] (cp zmienne)	Temp. Za turbiną [K] cp= 1180 J/kg/K]	Cp_ średnie [J/kg/K]	k_średnie
1600	2	1389	1372	1255	1,296
	4	1206	1181	1240	1,299
	6	1110	1083	1138	1,302
1300	2	1123	1115	1217	1,308
	4	971	959	1204	1,312
	6	919	880	1198	1,315

Obliczenia wykonano dla względnego wydatku paliwa 0,02 i sprawności izentropowej 0,9

Dla zmiennego ciepła właściwego wyznaczono wyższą wartość temperatury za turbiną niż dla stałego cp. Jest to spowodowane tym, że w zalesie analizowanych przypadków wykładnik izentropy był niższy niż w obliczeniach dla stałego cp (k=1.33).

Modelowanie komory spalania z funkcją obliczeń jako dopalacz

```
function [Tt3,p3t,mpal,Qid,pal_pow2]=  
komora_spalania_zmcp  
(Tt2,Tt3,pt2,s_ks,d_ks,naz_pal,m,pal_pow1)
```

% W wynikach masa paliwa jest zbiorem
dwuelementowym

```
% mpal=[mpal_akt,mpal_akt+mpal_wcz],
```

% aktualnie wyznaczoną dla danej komory spalania, a
m_pal_wcz - jest masą paliwa wyznaczoną dla komory
spalania poprzedzającej. W przypadku pierwszej komory
spalania obydwie pozycje będą równe, ale w przypadku
dopalacza, pierwsza pozycja zawiera masę paliwa spaloną
w dopalaczu, a druga masę paliwa spaloną w obydwu
zespołach łącznie.

```
if exist('pal_pow1','var')==0
```

```
    pal_pow1=0;
```

```
end
```

% średnie ciepło właściwe

```
if pal_pow1~=0
```

```
    mpal1=m*pal_pow1/(1+pal_pow1);
```

```
    mpow=m-mpal1;
```

```
else
```

```
    mpal1=0;
```

```
    mpow=m;
```

```
end
```

```
[nh,no,nc,Wu]=paliwa(naz_pal);
```

```
cp=ciep_w((Tt3+Tt2)/2,pal_pow1,naz_pal);
```

```
mpal=m*cp*(Tt3-Tt2)/Wu/d_ks;
```

```
pal_pow_pom=pal_pow1; %wartość pomocnicza do  
przewodzenia iteracji
```

```
pal_pow2=(mpal1+mpal)/mpow;
```

%Pętla do obliczeń średniego ciepła właściwego i wydatku
masowego paliwa

```
while abs(pal_pow2-pal_pow_pom)/pal_pow_pom>1e-5;
```

```
    pal_pow_pom=pal_pow2;
```

```
    cp=ciep_w((Tt3+Tt2)/2,(pal_pow1+pal_pow2)*0.75  
    ,naz_pal);
```

```
    mpal=m*cp*(Tt3-Tt2)/Wu/d_ks;
```

```
    pal_pow2=(mpal1+mpal)/mpow;
```

```
end
```

```
mpal=[mpal,mpal+mpal1];
```

```
p3t=s_ks*pt2;
```

```
Qid=mpal(1)*Wu;
```

W obliczeniach cp średniego
przyjęto wskaźnik 0,75
(pal_pow1+pal_pow2

Wyznaczone wartości względnego zużycia paliwa i średniego ciepła właściwego

Tt2 [K]	Tt3 [K]	Cp_sr [J/kg/K]		Względny wydatek paliwa	Względny wydatek paliwa
		Gaz półdoskonały			Gaz doskonały
600	1400	1173	1262	0,0223	0,0228
800	1500	1197	1304	0,0199	0,0199
800	1800	1235	1366	0,0293	0,0285
1000	1500	1204	1324	0,0143	0,0142
1000	1800	1239	1387	0,0235	0,0228
Dopalacz					
1000	2000	1290		0,0312	0,0297

W obliczeniach gazu doskonałego przyjęto dla spalin $c_p=1180$ J/kg/K dla spalin, dla spalania w komorze spalania $c_p=1230$ J/kg/K, dla powietrza $c_p=1005$ J/kg/K, c_{p_sr} w drugiej kolumnie wyznaczono z zależności: $c_{um} = 908,9 + 0,2095(T_3^* + 0,48 T_2^*)$

Model obliczeniowy silnika jednoprzepływowego z dopalaczem

```
function [kj,cj,K,mpal,ec,ek,eo,A,Pit,T,p]=  
silnik_jedoprz1_d_zmcp(H,Ma,Pis,Tt3,naz_pal,Ttd,rd,m,swl,sk  
s,sd,es,et,dks,ddop,b_ch)  
  
If isempty(Ttd )==1  
    Ttd=NaN;  
end  
sdop=1;  
em=.99;  
  
[Th,ph]=otoczenie(H);  
[Tt1,pt1,vh]=wlot_zmcp(Th,ph,swl,Ma);  
[Tt2,pt2,Ps]=sprezarka_zmcp(Tt1,pt1,Pis,es,m);  
mch=m*b_ch;  
mks=m-mch;  
Tch=Tt2;  
[Tt3,pt3,mpal,Qid,pal_pow]=komora_spalania_zmcp(Tt2,Tt3,pt  
2,sks,dks,naz_pal,mks);  
ms=mks+mpal(1);  
[Tt4,pt4,Pit,ms,Awdt,pal_pow1]=turbina_zmcp  
    (Tt3,pt3,Ps/em,et,pal_pow,naz_pal,ms,mch,Tch);  
  
if isnan(Ttd)~=1  
    [Ttd,ptd,mpald,Qidd,pal_pow2]=komora_spalania_zmcp  
        (Tt4,Ttd,pt4,sdop,ddop,naz_pal,ms,pal_pow1);  
else  
    Ttd=Tt4;  
    ptd=pt4;  
    mpald=mpal;  
    Qidd=0;  
    pal_pow2=pal_pow1;  
end  
msd=ms+mpald(1); % zwiększenie masy spalin o masę paliwa w  
dopalaczu  
mpal=[mpal(1),mpald(2)]; % zwiększenie masy zużywanego  
paliwa o masę paliwa w dopalaczu  
Qid=Qid+Qidd; % zwiększenie ilości dostarczonego ciepła do  
silnika o ciepło dopalacza  
  
[T5,T5h,pt5,p5,p5h,c5,c5h,A5]=dysza_zmcp(Ttd,ptd,ph,sd,rd,m  
sd,pal_pow2,naz_pal);  
[K,kj,cj,eta]=osiagi(msd,c5h,m,vh,mpal(2),Qid);  
ec=eta(1);  
ek=eta(2);  
eo=eta(3);  
c5_out=[c5,c5h];  
  
T=[Th,Tt1,Tt2,Tt3,Tt4,T5,T5h,Ttd];  
p=[ph,pt1,pt2,pt3,pt4,p5,p5h,ptd];  
A=[Awdt,A5];
```

Przykład wyników obliczeń dla silnika jednoprzetłwowego

Obliczenia dla $H=0$, $Ma=0$, spręż sprężarki 18, temp. gazów przed turbiną 1500, wydatek masowy powietrza 30 kg/s, upust na chłodzenie turbiny $0,08 \cdot m$

Parametr	Gaz doskonały	Gaz półdoskonały
K [N]	26378	25985
k_j [Ns/kg]	879	866
c_j [kg/(Nh)]	0,0854	0,0855
m_{pal}	0,6261	0,6172
sprawność cieplna	42,2%	40,7%

Porównanie ciśnień i temperatur

przekrój	Gaz doskonały		Gaz półdoskonały	
	Temp [K]	Ciśnienie [kPa]	Temp [K]	Ciśnienie [kPa]
1	288	98,3	288	98,3
2	703,4	1769,1	710,2	1769,1
3	1500	1733,8	1500	1733,8
4	1089,6	407,6	1091,4	372,9
5_statyczne	775,2	101,3	802,5	101,3

Parametry ciśnienia w przekrojach: 1- wlot do sprężarki, 2- za sprężarką i 3 – wlot do turbiny nie zależą od modelu gazu. Pozostałe przekroje: 4 – za turbiną, 5 – wylotowy z dyszy silnika.