

Základy stavby energetických strojů

Spalovací turbíny

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

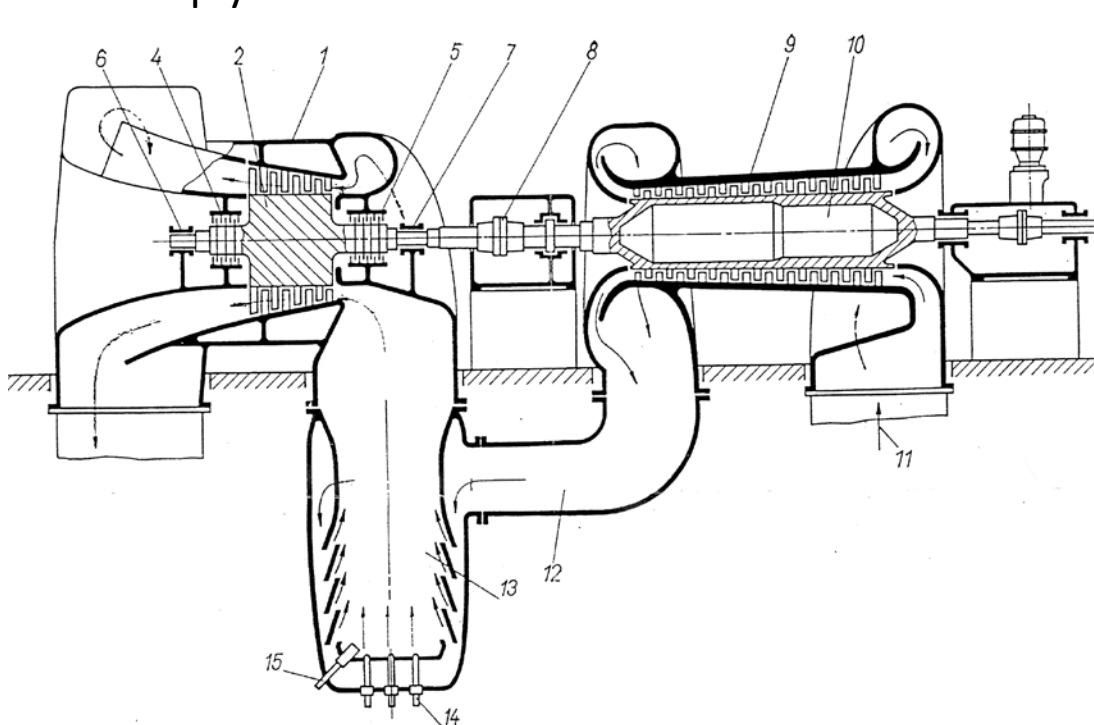


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Spalovací a plynové turbíny

- **Plynová turbína** – rotační tepelný lopatkový motor, kde se tepelná energie stlačeného horkého plynu mění v energii mechanickou
- **Spalovací turbína** – soubor zařízení tvořené kompresorem, spalovací komorou a plynovou turbínou



- 1) skříň turbíny
- 2) rotor turbíny
- 4, 5) labyrintová ucpávka
- 6, 7) ložiska
- 8) spojka
- 9) skříň kompresoru
- 10) rotor kompresoru
- 11) vzduch nasávaný kompresorem
- 12) vzduch zaváděný do spalovací komory
- 13) spalovací komora
- 14) palivová tryska
- 15) zapalovací svíčka

Výhody spalovacích turbín

- kompaktní uspořádání stroje a vysoké využití prostoru
- menší spotřeba materiálu
- vysoká provozní spolehlivost a pružnost
- rychlé spouštění zařízení
- značný rozsah změn zatížení

Nevýhody spalovacích turbín

- menší mezní výkony v porovnání s parními turbínami
- vyšší nároky na palivo
- větší náročnost na výrobu a použité materiály

Oblasti použití

- energetika – základní a špičkové zdroje
- doprava – letecká, námořní, železniční
- doprava zemního plynu a ropy
- chemický a hutní průmysl
- jaderná energetika

Pracovní oběhy spalovací turbíny

1. Oběh se spalováním při konstantním tlaku - Ericsson – Braytonův cyklus

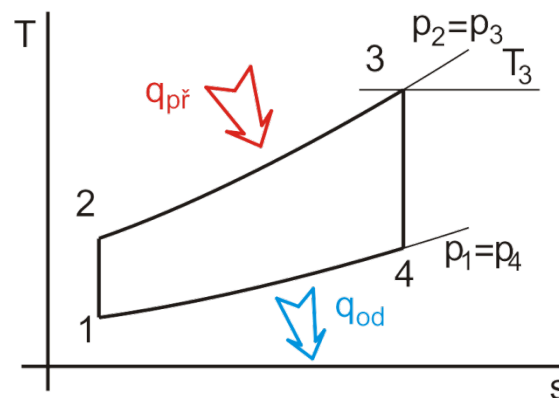
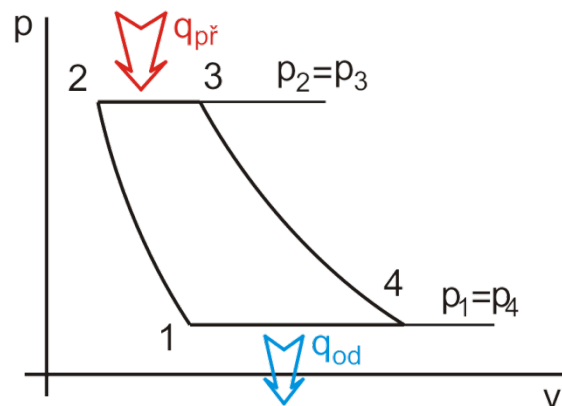
Oběh Ericson – Braytonův se skládá ze dvou adiabat a dvou isobar. Podle tohoto oběhu pracují rovnotlaké spalovací turbíny a letecké proudové motory s konstantním spalováním.

1-2 isoentropická komprese pracovní látky v kompresoru

2-3 isobarické přivádění tepla do oběhu

3-4 isoentropická expanze pracovní látky v plynové turbině

4-1 isobarický odvod nevyužitého tepla



Stanovení tepelné účinnosti oběhu

$$\eta = \frac{a}{q_{př}} = \frac{q_{př} - |q_{od}|}{q_{př}} = 1 - \frac{|q_{od}|}{q_{př}} = 1 - \frac{c_p \cdot (T_4 - T_1)}{c_p \cdot (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \cdot \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \cdot \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

Z rovnice adiabaty:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}}$$

Zavedeme kompresní poměr $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$

Z rovnice adiabaty: $p_1 \cdot V_1^\chi = p_2 \cdot V_2^\chi \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\chi = \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^\chi$

Po dosazení: $\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}}$

2. Oběh se spalováním při konstantním objemu – Humpreův cyklus

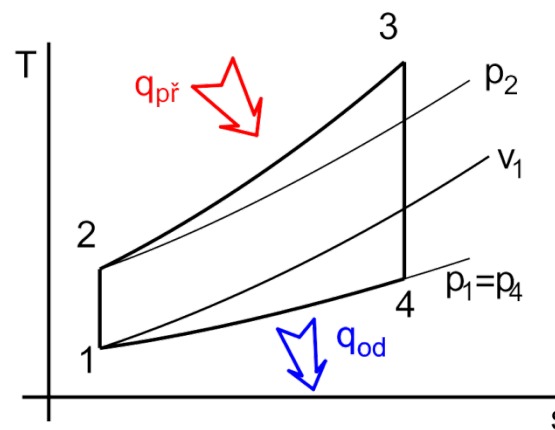
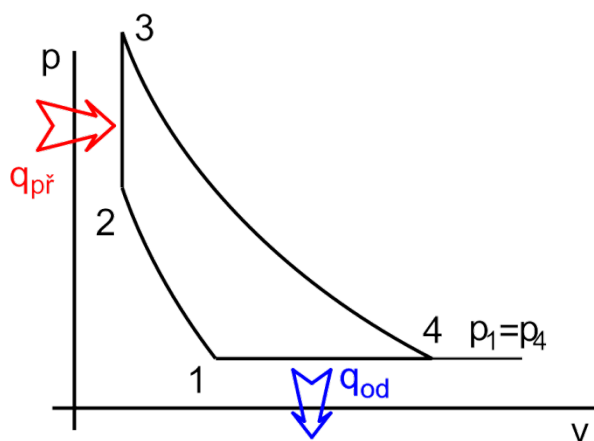
Cyklus se skládá ze dvou adiabat, jedné isobary a jedné isochory. Podle tohoto oběhu pracují tryskové motory se spalováním za stálého objemu. Pochod tohoto zařízení je přerušovaný, proto se motor nazývá pulzační.

1-2 isoentropická komprese pracovní látky v kompresoru

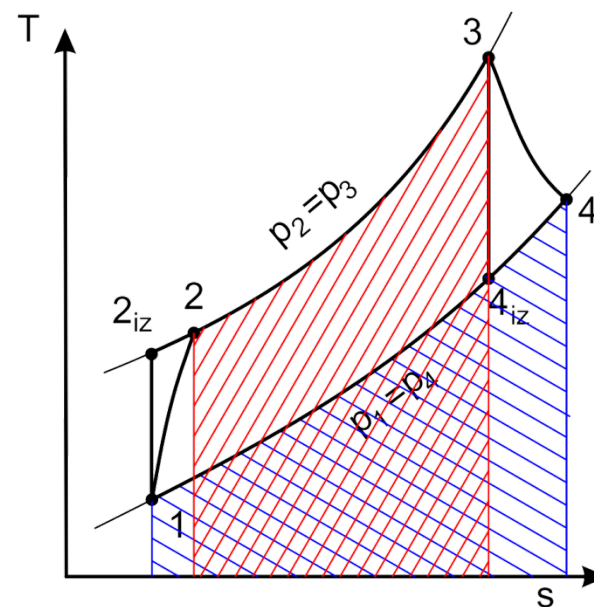
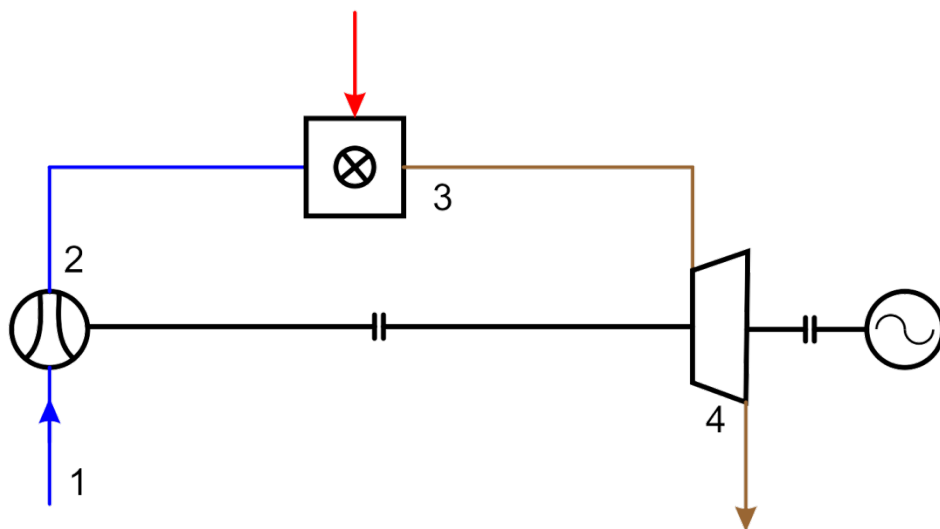
2-3 isochorické přivedení tepla do oběhu

3-4 isoentropická expanze pracovní látky v plynové turbině

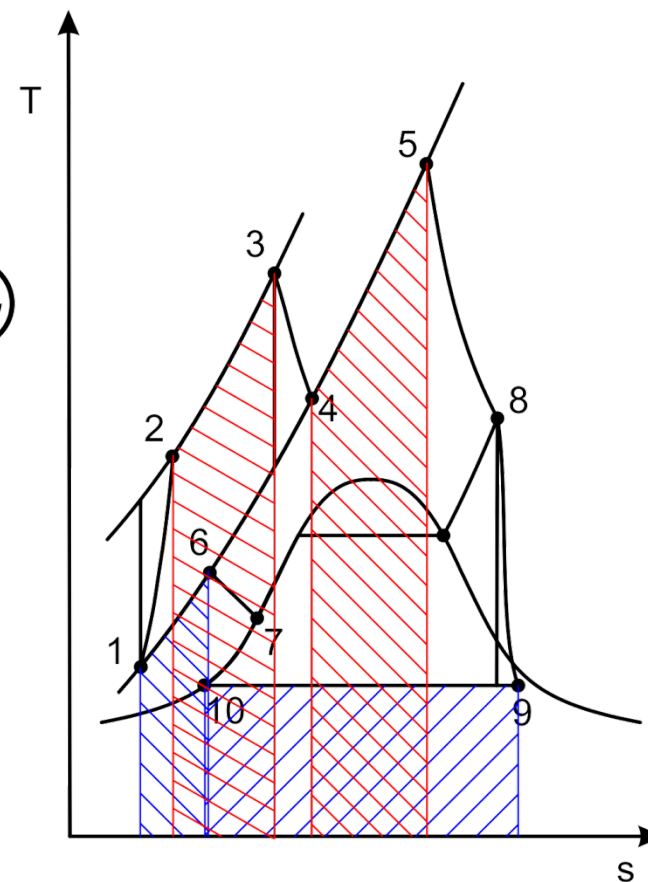
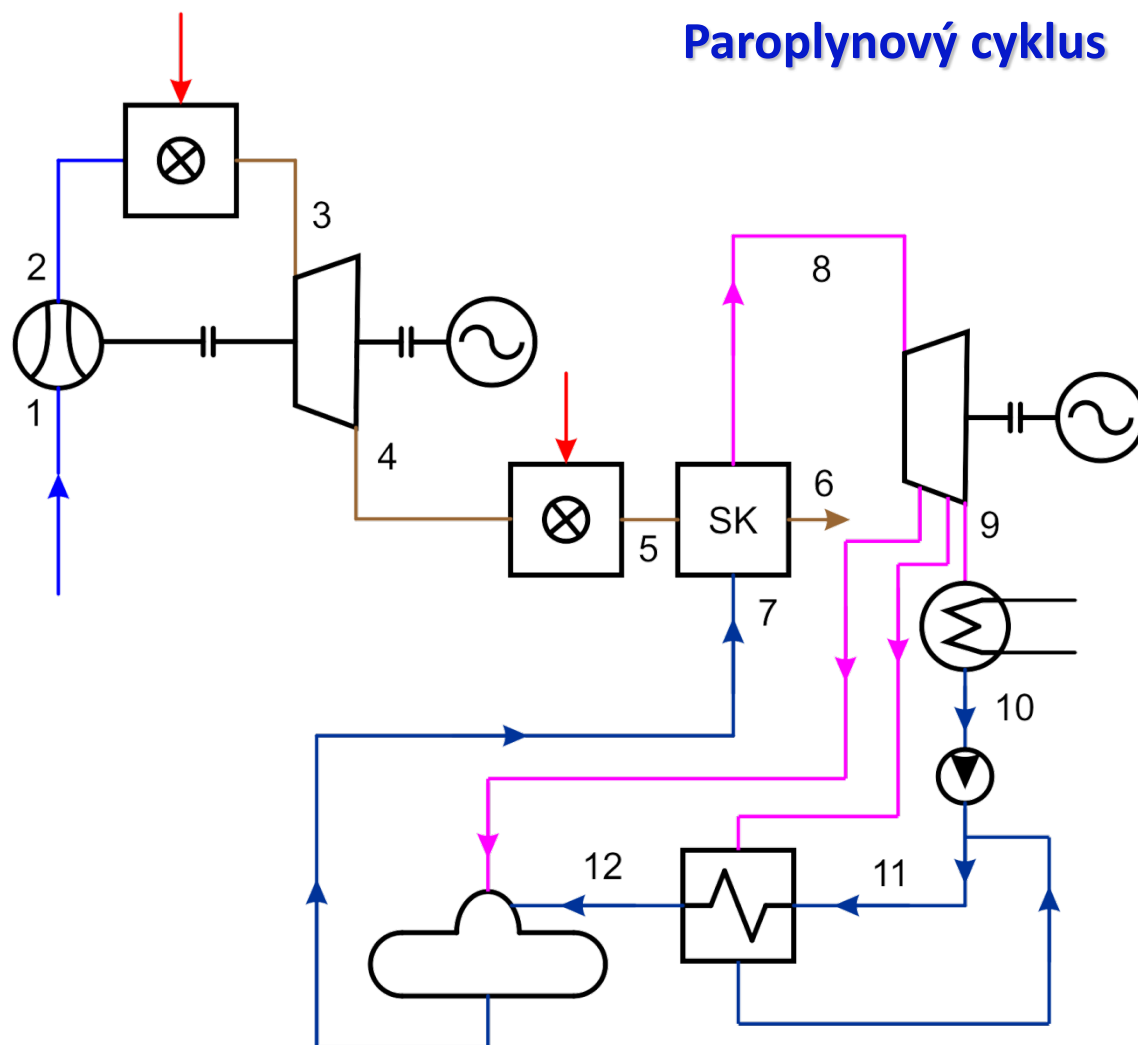
4-1 isobarický odvod nevyužitého tepla



Otevřený cyklus



Paroplynový cyklus



Paroplynová elektrárna Vřesová

Hlavním palivem paroplynového cyklu je energoplyn vyráběný zplyňováním hnědého uhlí. Pro rychlé změny výkonu je používán zemní plyn.

Elektrárna je tvořena dvěma identickými bloky, které se skládají z jedné plynové a jedné parní turbíny. Výkon každého bloku je 200 MW.

Teplota spalin vstupujících do plynové turbíny je 1100 °C, spaliny opouštějící plynovou turbínu mají teplotu 540 °C a jsou vedeny do dvoutlakého spalinového kotle bez přitápění. Vysokotlaká pára (cca 186 t/hod; 7,3 MPa; 505 °C) je vedena do parních turbín a nízkotlaká pára (cca 50,5 t/hod; 0,5 MPa; 210 °C) slouží k technologickým účelům elektrárny.

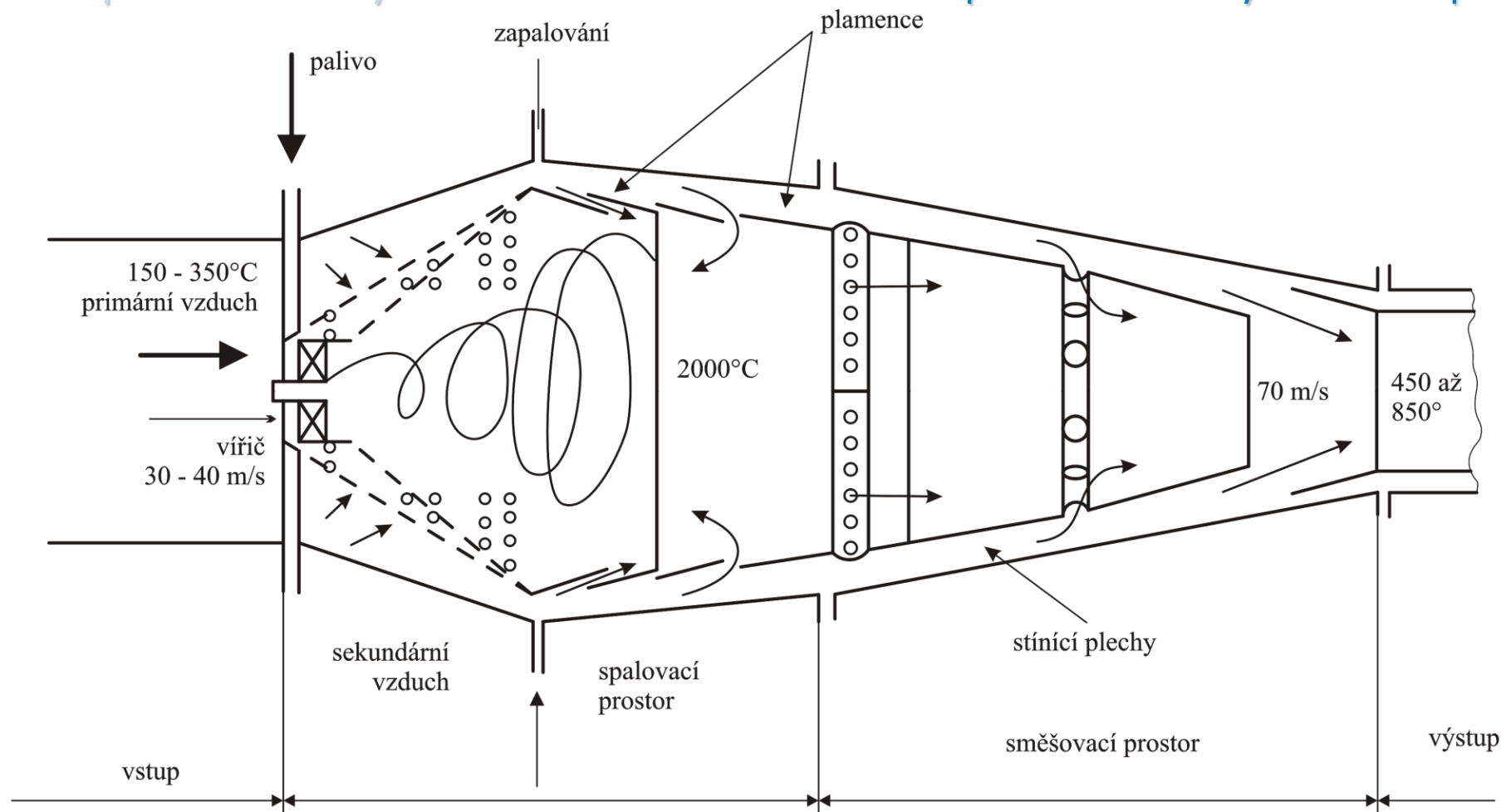
Díky možnosti rychlého najezení a rychlých změn výkonu je elektrárna používána také jako špičkový zdroj.

- difuzní spalování
- kinetické spalování



ZSES – spalovací turbíny

spalovací komory – difuzní spalování

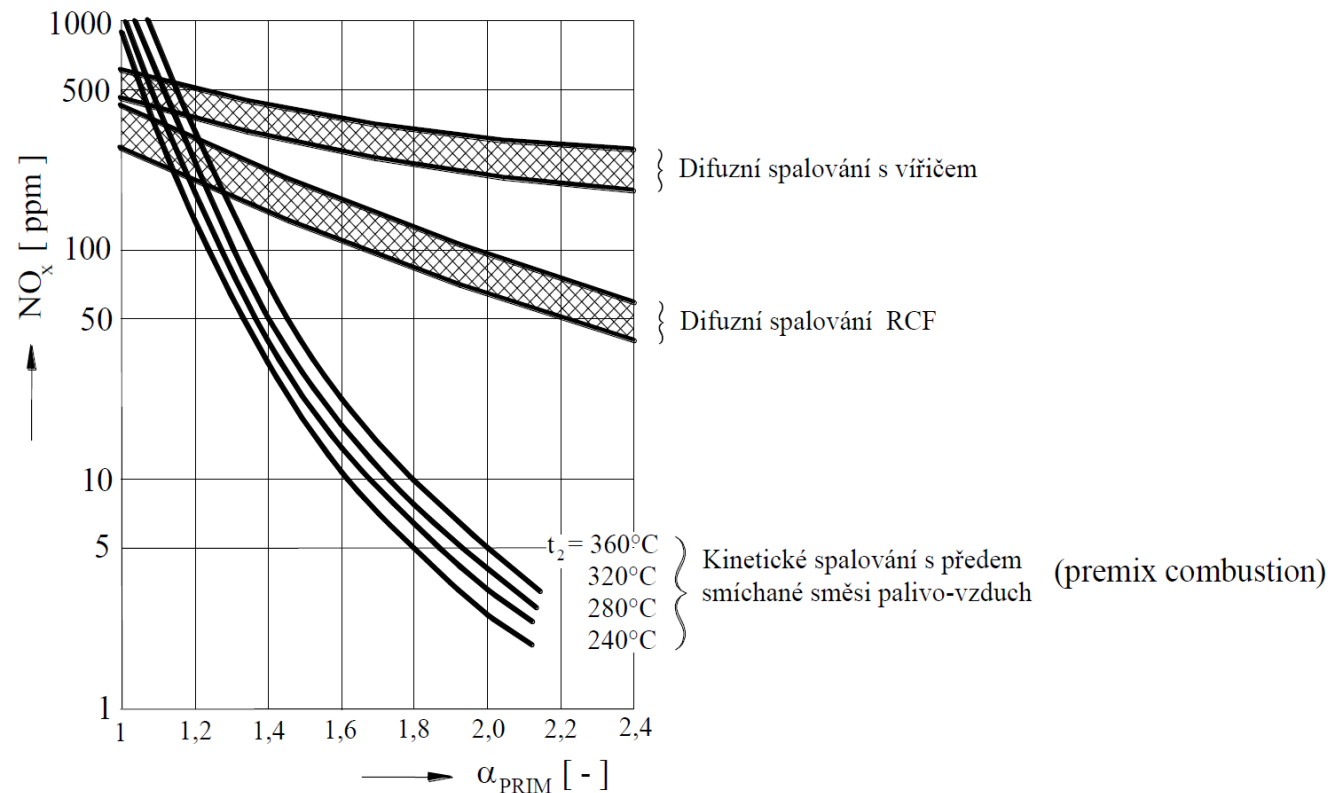


limity emisí: $\text{NO}_x \geq 150 \text{ mg/m}^3$
 $\text{CO} \geq 100 \text{ mg/m}^3$

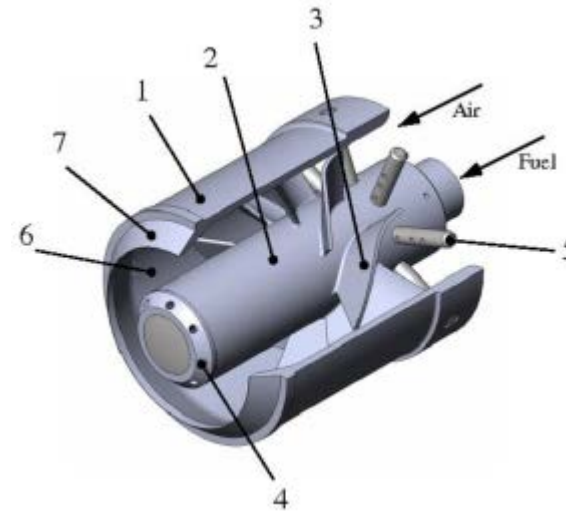
kinetické spalování: $\text{NO}_x \leq 150 \text{ mg/m}^3$
 $\text{CO} \leq 100 \text{ mg/m}^3$

+ teplota plamene lze udržovat v rozmezí 1450 – 1500 °C

- horní hranice stability je pouze 2,1 – 2,3



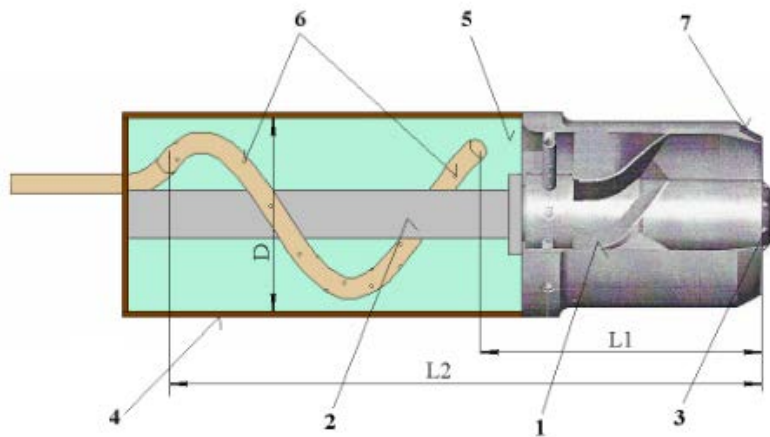
- vznik tlakových pulzů



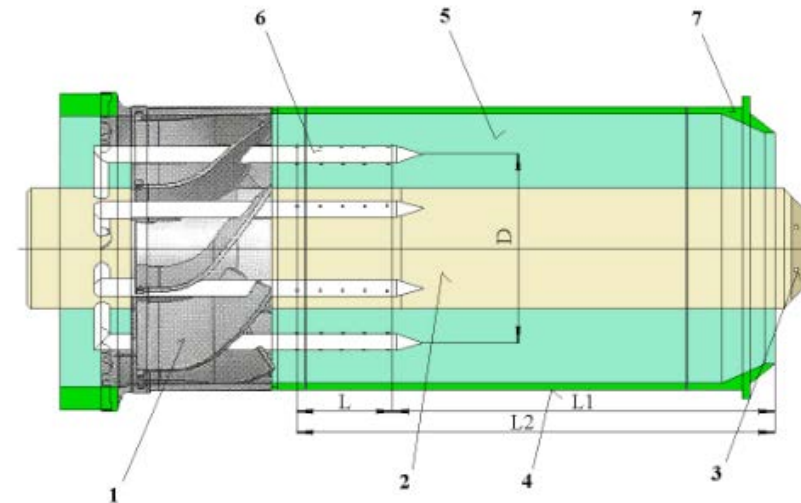
legenda:

1. vnější plášť
2. vnitřní trubka
3. víříč
4. přívod paliva difúzního spalování
5. přívod paliva kinetického spalování
6. směšovací komora
7. výstupní tryska

ZSES – spalovací turbíny

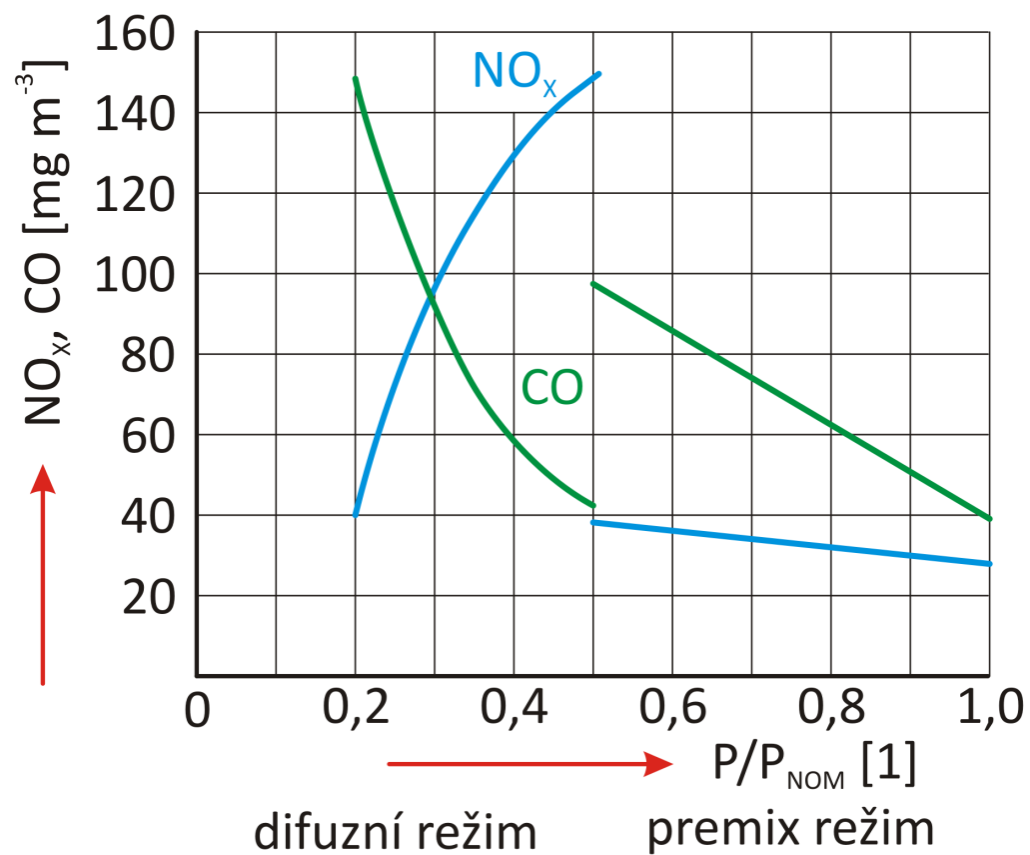


spalovací komory – hybridní hořáky

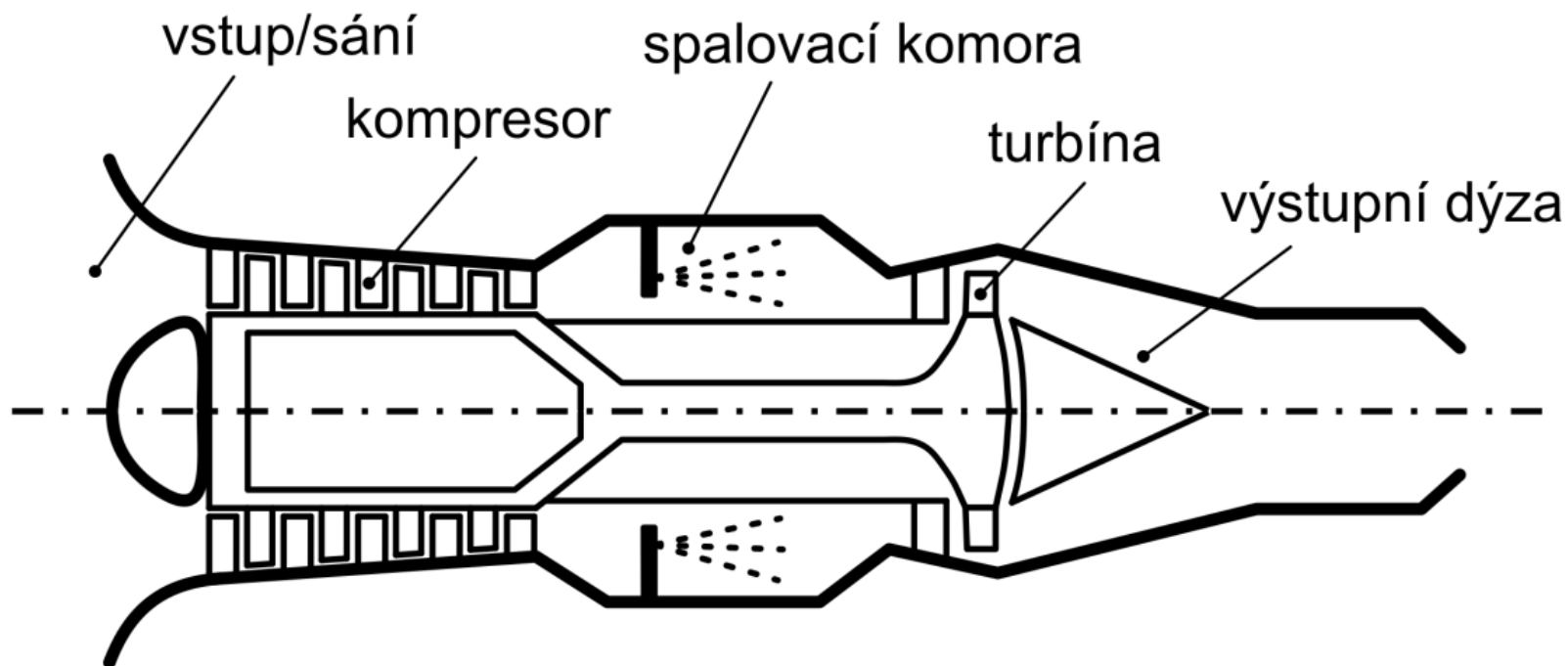


legenda:

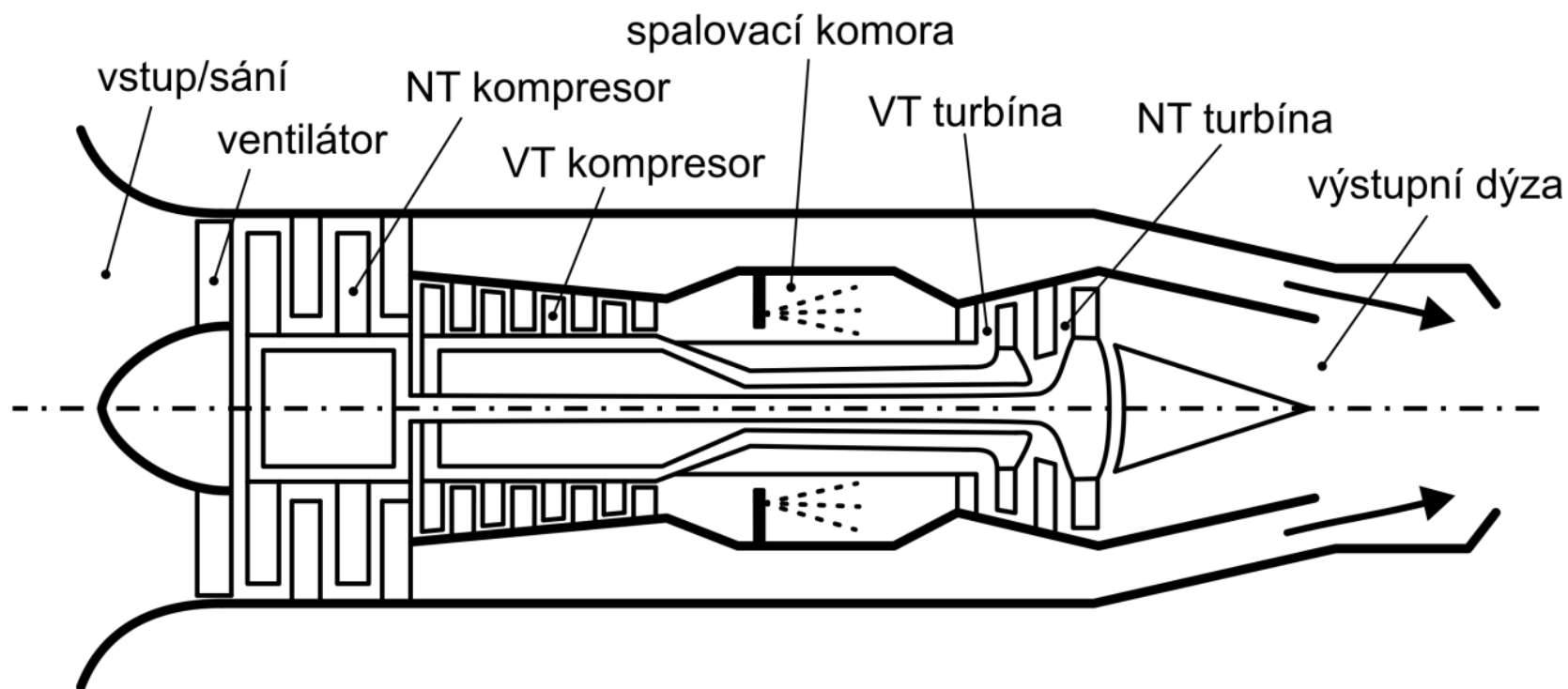
1. lopatkový vířič
2. vnitřní trubka
3. přívod paliva difúzního spalování
4. vnější plášť
5. směšovací komora
6. přívod paliva kinetického spalování
7. výstupní tryska



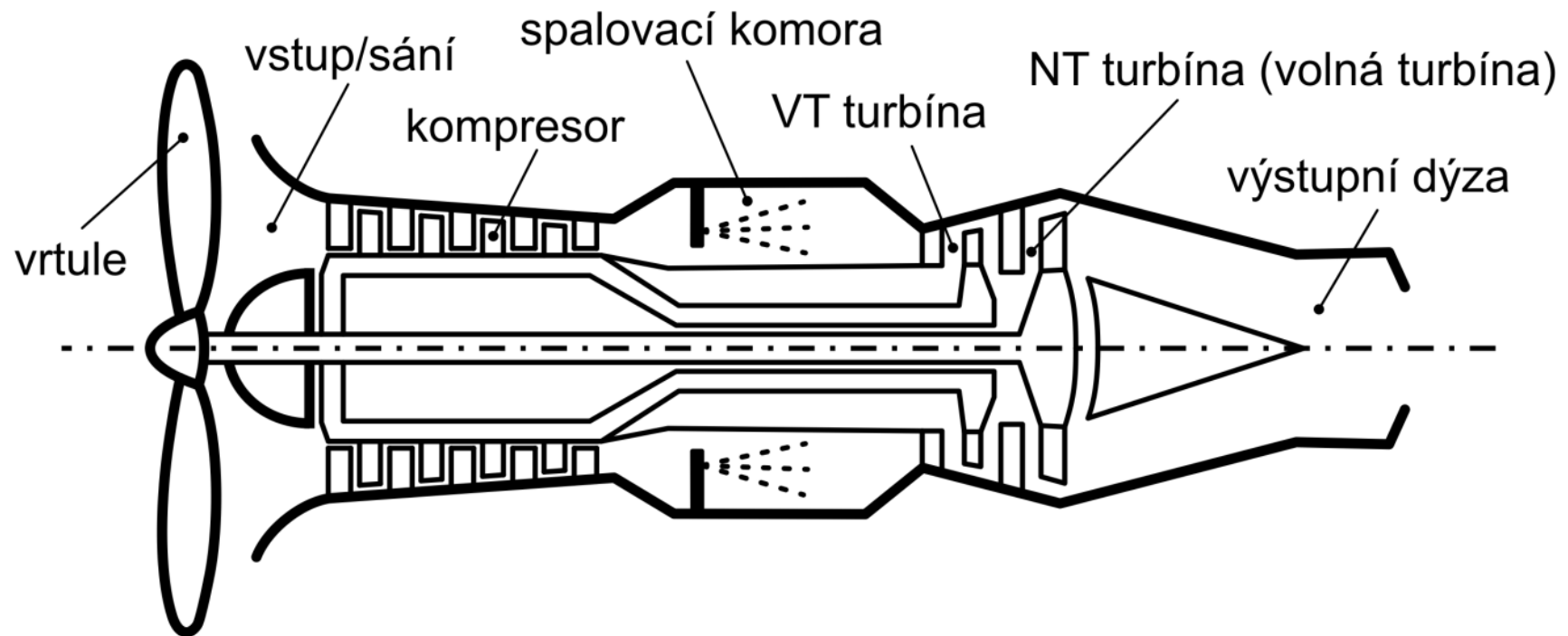
Proudový motor



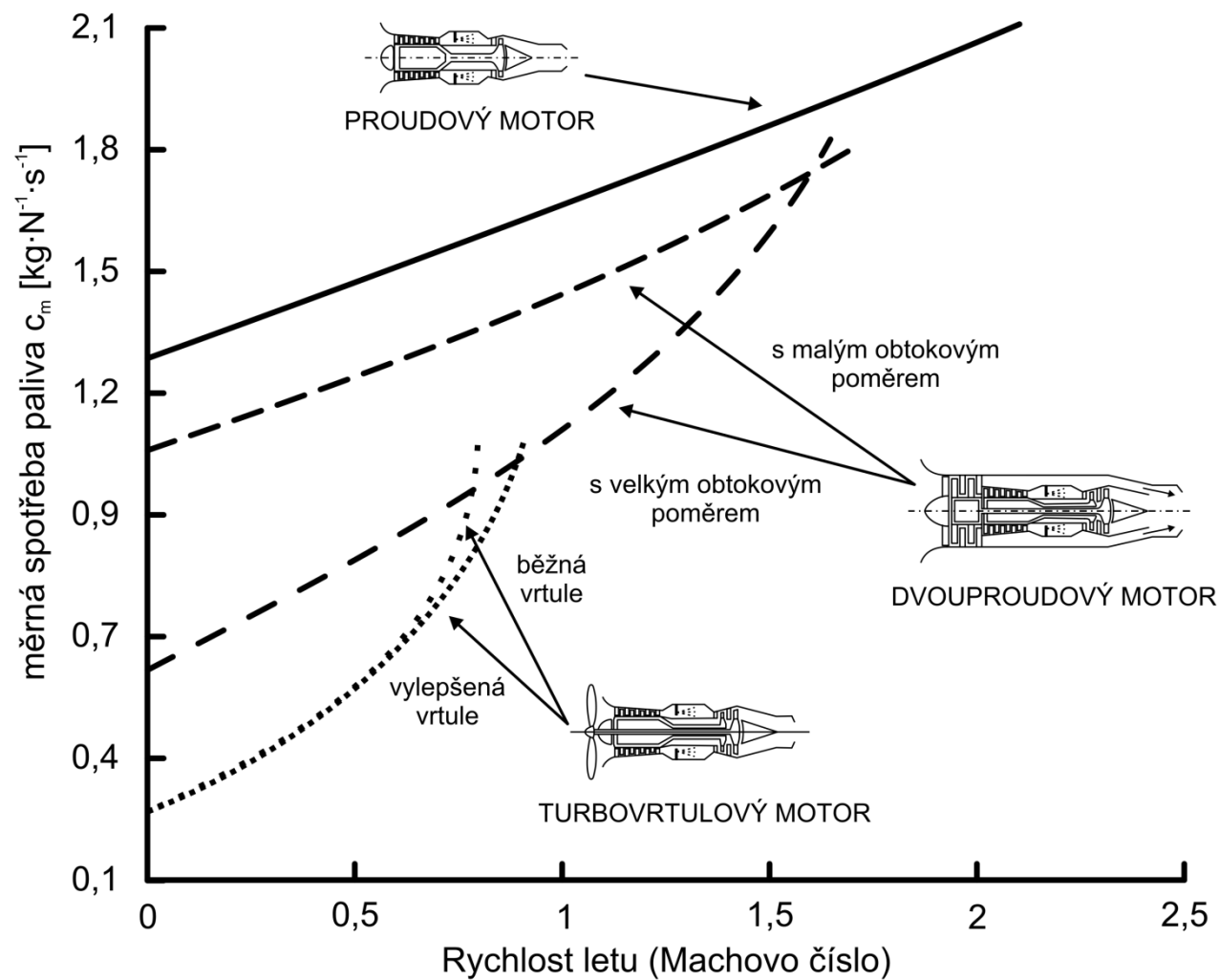
Dvouproudový motor



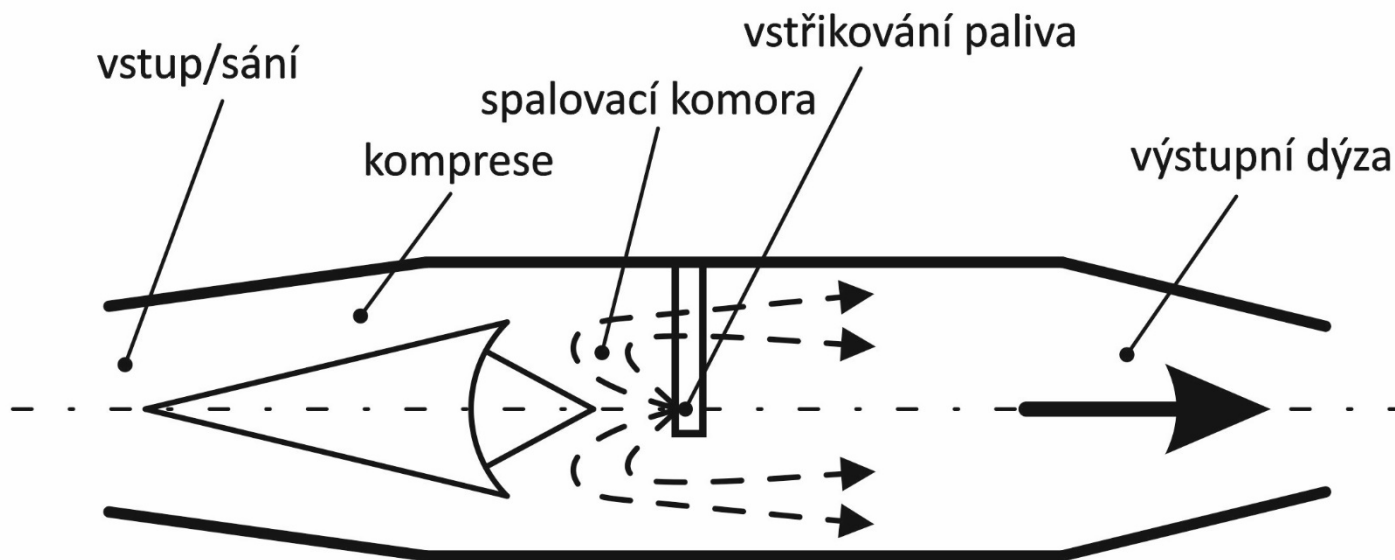
Turbovrtulový motor



Oblast použití reaktivních motorů s kompresorem

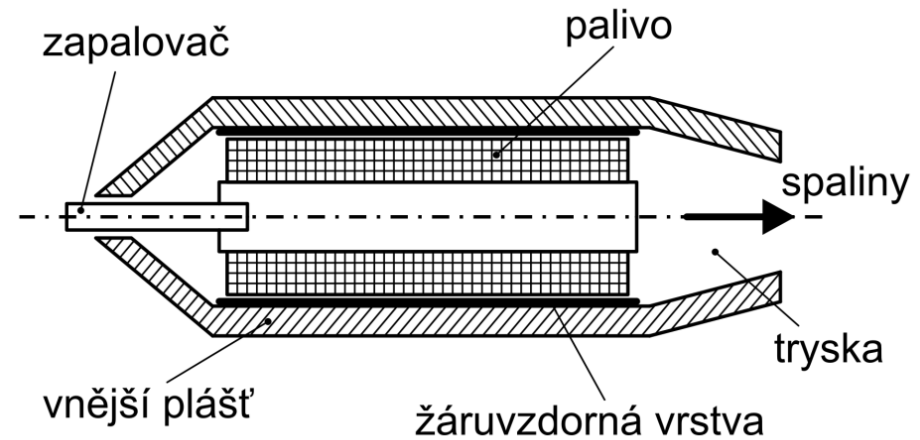


Náporový motor, pulzační motor

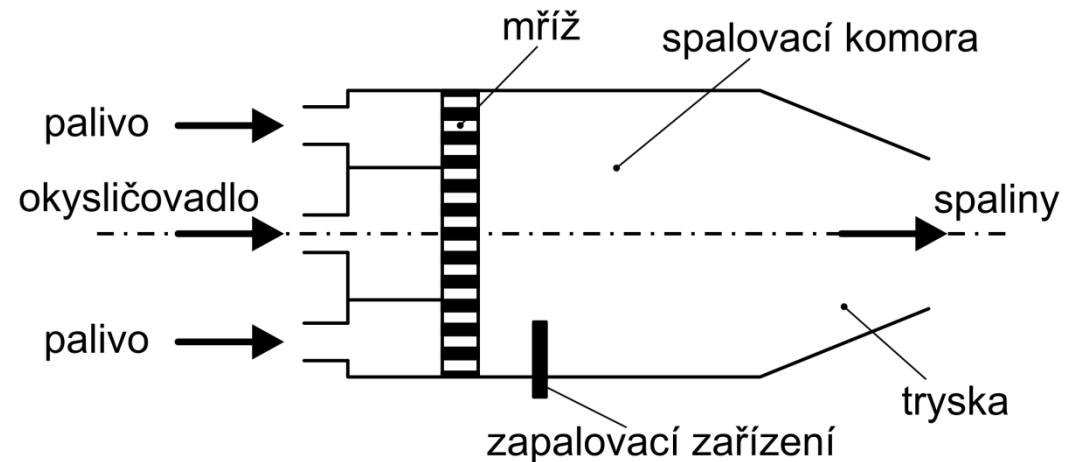


Raketový motor

Motor poháněný tuhými palivy



Motory na kapalné palivo



Otázky pro studenty

- Porovnejte cyklus spalovací a parní turbíny.
- Nakreslete $p - v$ a $T - s$ diagram Ericsson – Braytonova cyklu?
- Jaký je rozdíl mezi difúzním a kinetickým spalováním?
- Jak funguje proudový a jak dvouproudový motor.
- Vysvětlete princip náporového motoru.

LITERATURA

HANUS D.: Pohon letadel, Praha 2006, ISBN 80-01-02706-6

KEMKA V., BARTÁK J., MILČÁK P., ŽITEK P.: Stavba a provoz strojů – stroje a zařízení, Informatorium Praha, 2009, ISBN 978-80-7333-075-0

VESELÝ S.: Jaké jsou hlavní problémy při vývoji nízko-toxických spalovacích komor pro spalovací turbíny? Turbostroje 2015



Děkuji za pozornost



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání