



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA ENERGETICKÝCH
STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

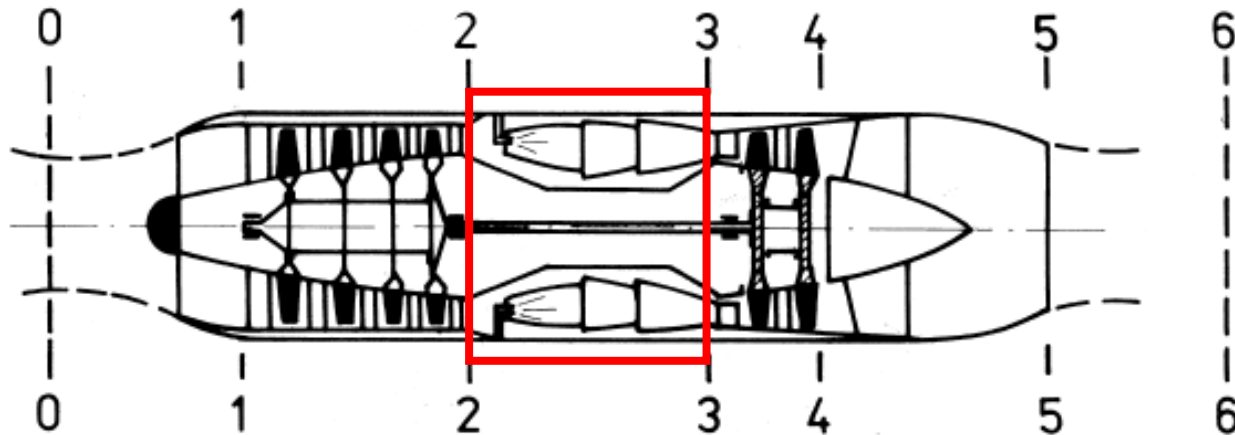
PLYNOVÉ TURBÍNY A TURBOKOMPRESORY

Ing. Marek Klimko, Ph.D.

Datum:

Spalovací komory (úvod)

- Zabezpečuje vytvoření palivo-vzduchové směsi a její kontinuální spalování během všech režimů motoru
- Je to místo přívodu energie do motoru



Spalovací komory (úvod)

- **Požadavky kladené na SK:**
 - Stabilní hoření ve všech letových podmínkách a při různých režimech motoru
 - Minimální rozměry a minimální hmotnost
 - Vysoká dokonalost spalování a malé tepelné ztráty
 - Požadované rozložení teplot na výstupu
 - Minimální hydraulické ztráty
 - Jednoduché a bezpečné spouštění na zemi za letu

- **Palivo:**

- Jet A-1 – letecký petrolej pro civilní letectvo
- PL-7 – letecký petrolej pro vojenské letectvo
- Výhřevnost leteckého petroleje:

$$H_u = 42,9 \div 43,3 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

- Spalovací proces je exotermická reakce leteckého petroleje a vzdušného kyslíku
- Teoretická rovnice spalování:
petrolej (14 g) + kyslík(48 g) → oxid uhličitý(44 g) + voda(18 g) + tepelná e.
- Na 1 kg petroleje se spotřebuje 3,4 kg kyslíku

- Teoretické množství vzduchu l_0

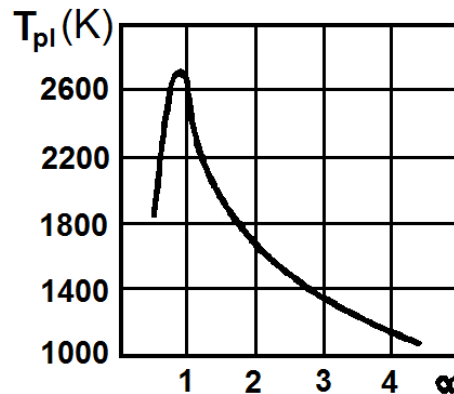
Složení paliva	C 80 % H ₂ 20 %	C 85 % H ₂ 15 %	C 90 % H ₂ 10 %	C 95 % H ₂ 5 %	C 100 % H ₂ 0 %
Teoretické množství vzduchu l_0	16,1	14,91	13,80	12,63	11,5

- Spalování probíhá při teplotě 2000 až 2200°C, která závisí na:
 - Druhu paliva
 - Tlaku a teplotě palivo-vzduchové směsi
 - Tepelných ztrátách
 - Složení paliva a vzduchu
 - Součiniteli přebytku vzduchu α

- **Základní podmínka hoření ve SK**

rychlost hoření > rychlost proudění

- Rychlost hoření je přibližně $15 \div 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Součinitel přebytku vzduchu α :
 - Poměr skutečně přivedeného množství vzduchu do SK k teoretickému množství, které je nutné pro ideální spalování



- Součinitel zachování celkového tlaku v SK je:

$$\sigma_{SK} = \frac{p_{2c}}{p_{1c}} = 0,92 \div 0,96$$

Spalovací komory

- **Spalovací účinnost**

- Poměr skutečného uvolněného tepla v SK k teoreticky uvolněnému teple obsaženého v palivu

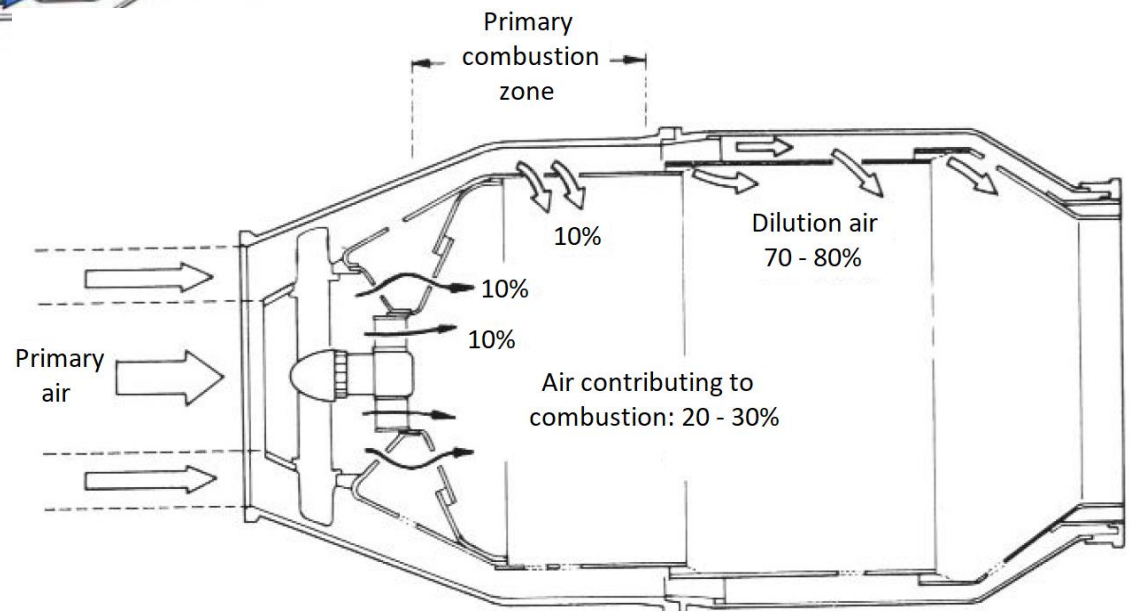
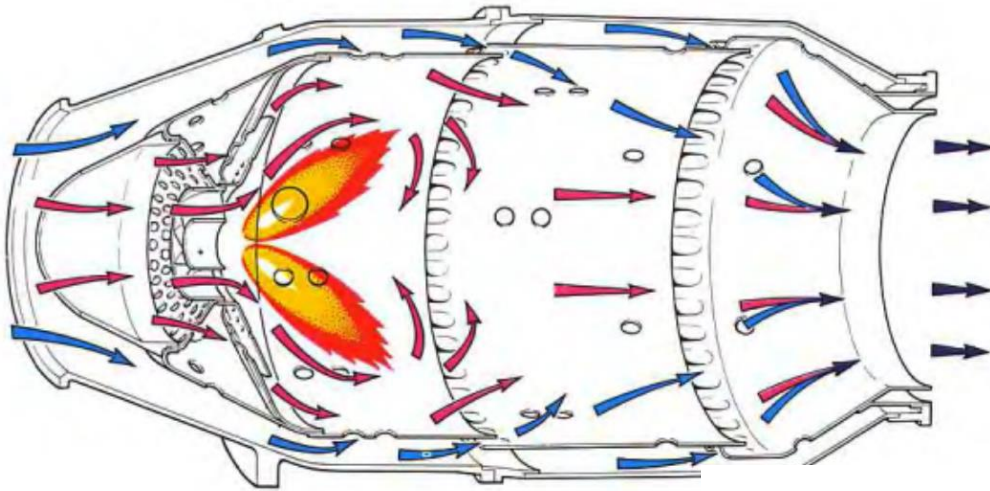
$$\eta_{sp} = \frac{Q}{Q_0} = \frac{\alpha \cdot l_0 \cdot c_p (T_{3c} - T_{2c})}{H_u} = 0,97 \div 0,995$$

- **Tepelné zatížení SK**

- Efektivnost využití SK

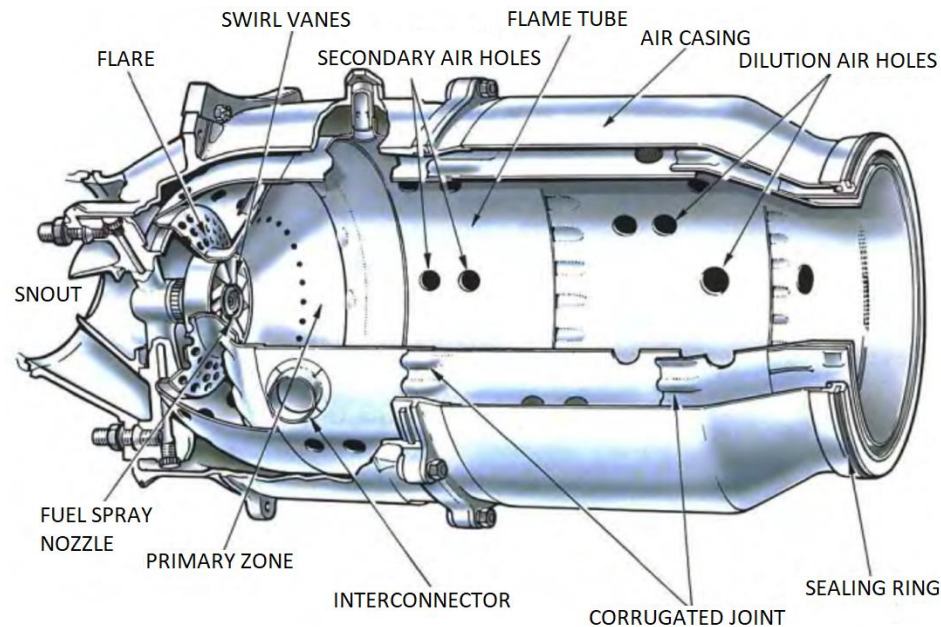
$$Q_{SK} = \frac{3600 H_u \cdot \dot{m}_p \cdot \eta_{sp}}{V_{sk} \cdot p_{2c}} = (3,5 \div 6,5) \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$$

Spalovací komory (princip činnosti)



Spalovací komory (princip činnosti)

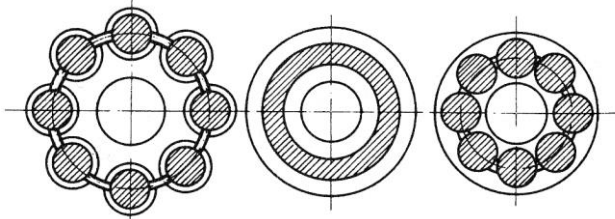
- Stlačený proud vzduchu vstupuje do SK vysokou rychlostí
 - Snížení rychlosti (dodržení podmínky hoření)
 - Vstupní část SK je tvořena difuzorem (*snout*)
 - Perforovaný vstupní disk (*flare*)
 - Lopatkový vířič (*swirl vanes*)



Spalovací komory (rozdělení)

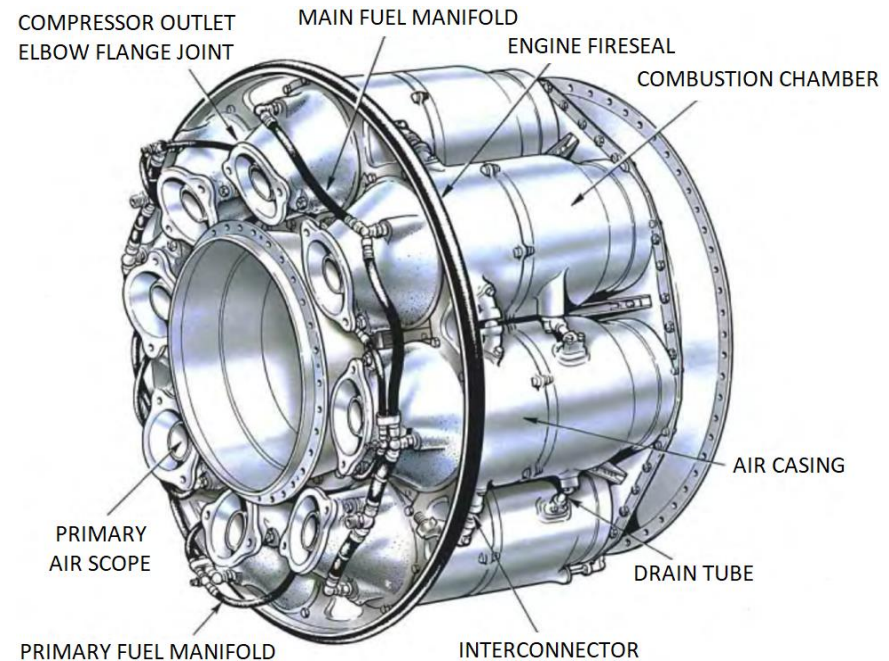
- Základní konstrukční typy SK jsou:

- Trubková
- Prstencová
- Smíšená

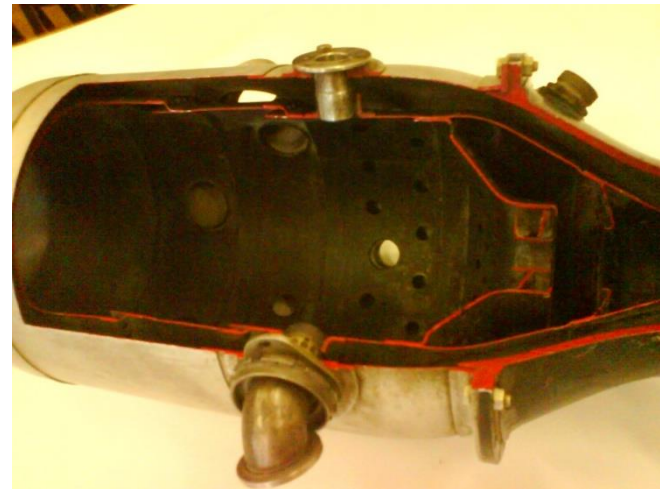
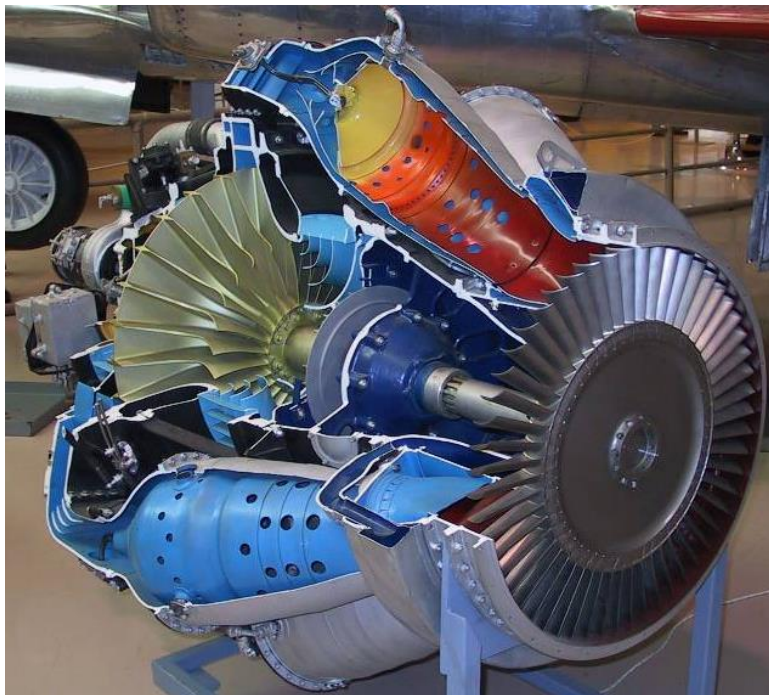


- **Trubková konstrukce SK**

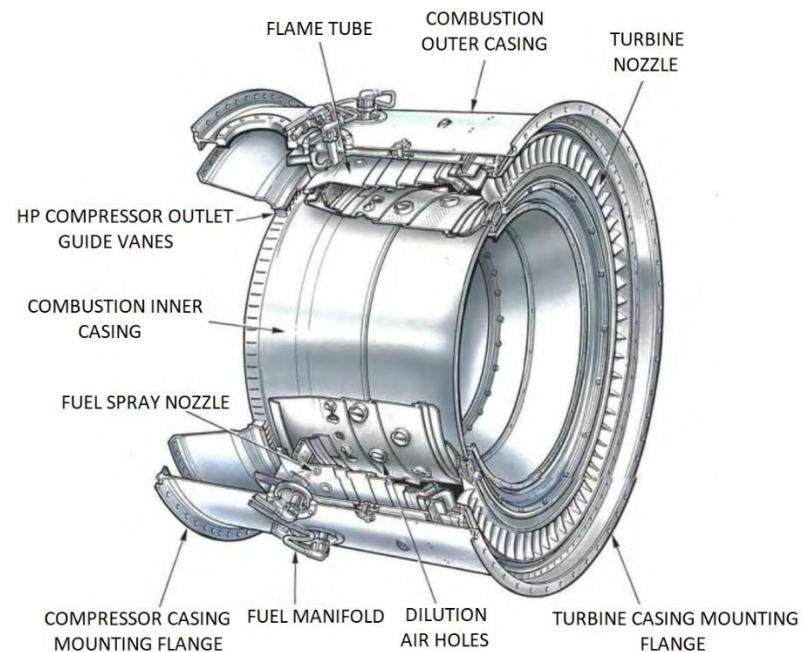
- Několik jednotlivých SK umístěných po obvodu PM
- Zapalovací mechanismus je umístěn pouze ve dvou SK (průšleh)



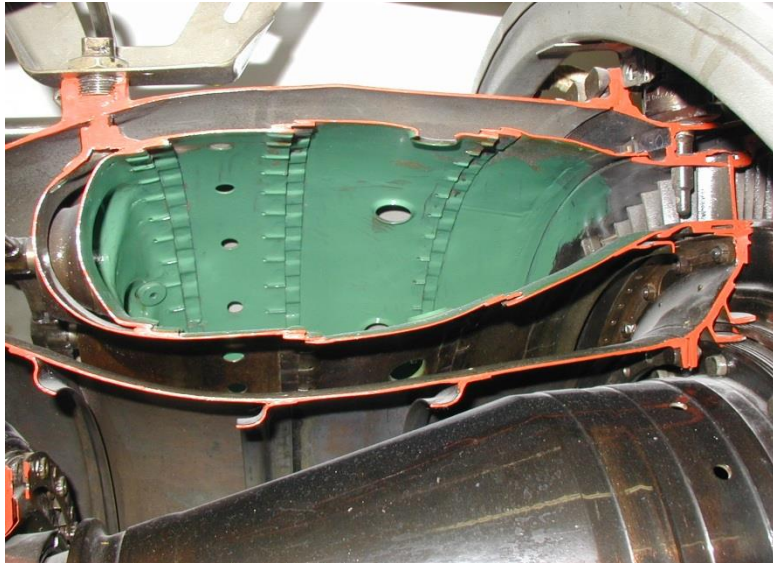
Spalovací komory (rozdělení)



- **Prstencová SK**
 - Nejefektivnější prostorové využití
 - Jeden koncentrický plamenec
 - Snížení hmotnosti o 25% ve srovnání s trubkovou konstrukcí
 - Zlepšuje obvodové vyrovnání tlaků a proces spalování je rovnoměrnější

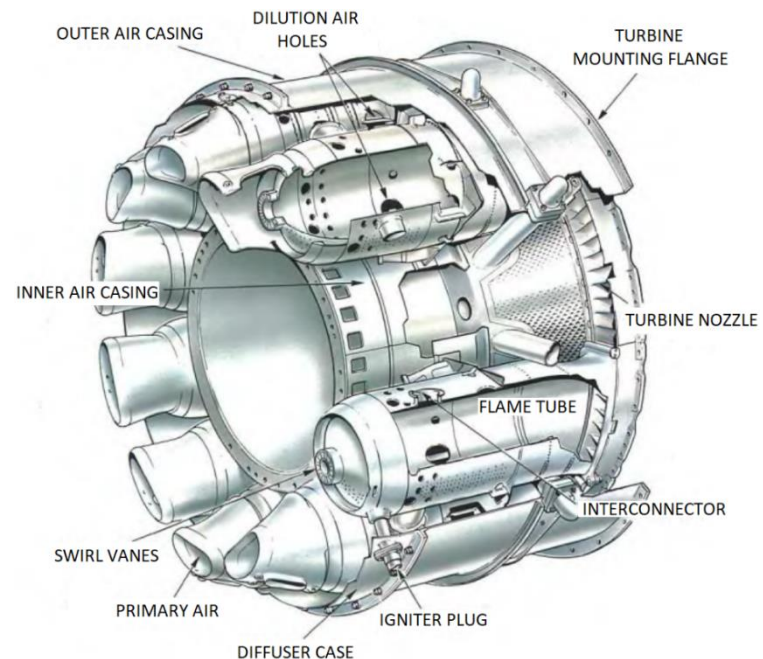


Spalovací komory (rozdělení)



Spalovací komory (rozdělení)

- **Smíšená (prstencově-trubková) SK**
 - Mezistupeň vývoje, který vedl k SK prstencového typu
 - Přívod sekundárního vzduchu pro chlazení SK je vyřešen společným vzduchovým kanálem
 - Primární vzduch se přivádí do trubkových SK

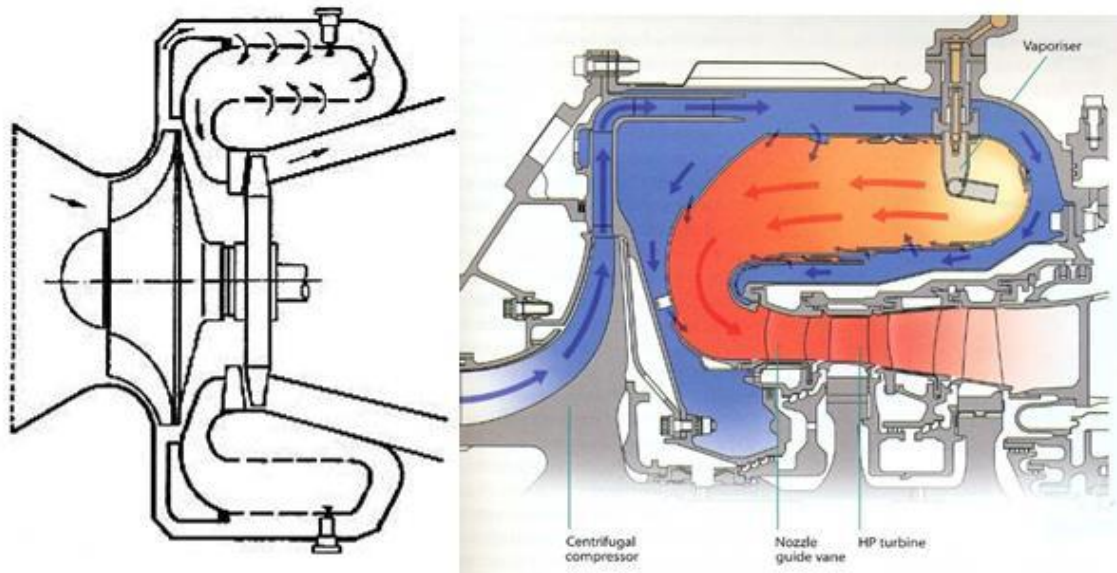


Spalovací komory (rozdělení)



Spalovací komory (rozdělení)

- **Speciální konstrukce**
 - Reverzní (protiproudá) konstrukce SK
 - Vhodná pro konstrukci motoru s radiálním kompresorem
 - Zkrácení délky motoru / výrazné navýšení tlakových ztrát

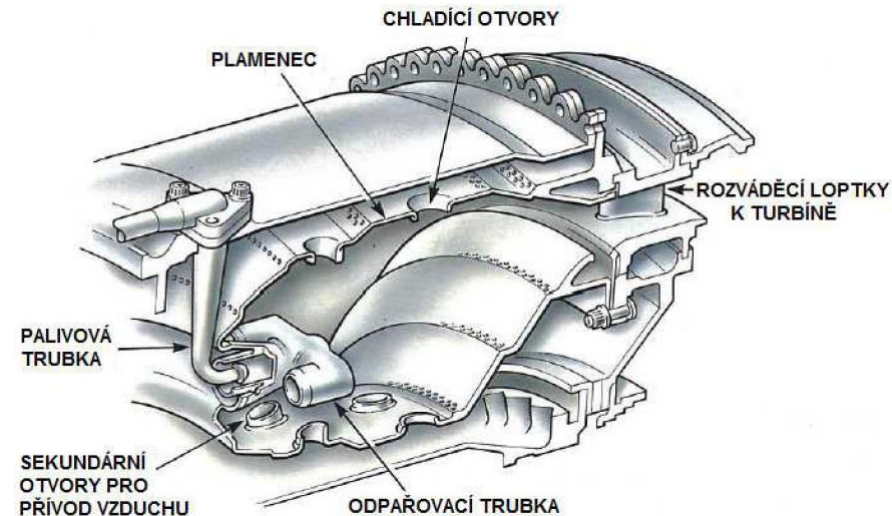


Spalovací komory (dodávka paliva)

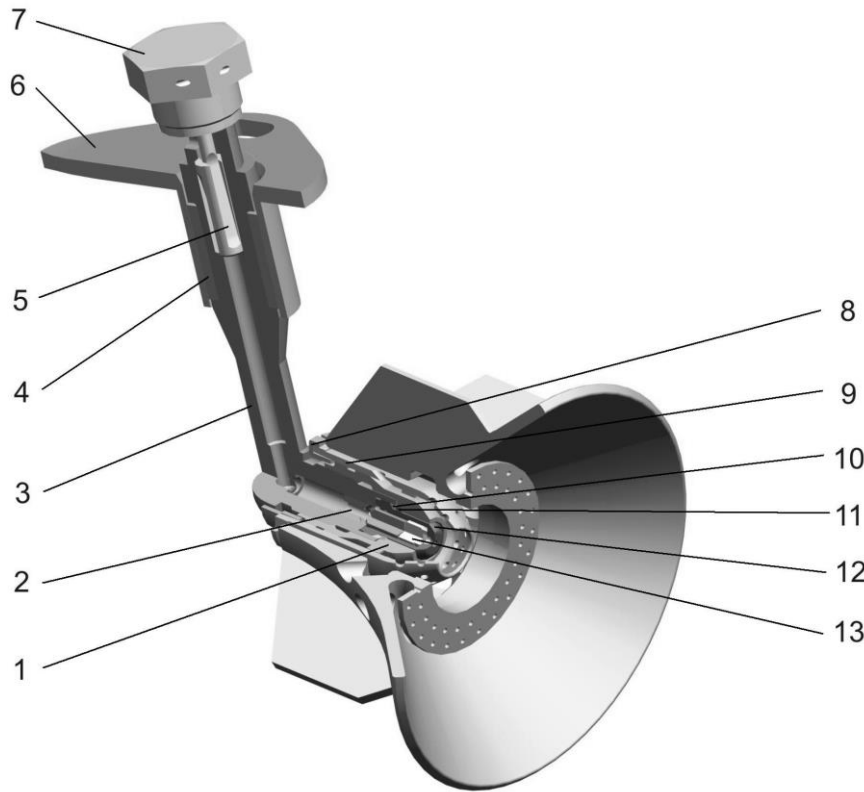
- Palivové trysky zabezpečují dodávku regulovaného množství paliva a jeho rozprášení/odpaření v SK
- Existuje několik mechanismů mísení paliva se vzduchem
 - Tlaková trysková atomizace (přímé vstřikování paliva pod tlakem do proudu stlačeného vzduchu s nízkou rychlostí)
 - Rozprášení paliva ve formě jemné mlhy s následným odpařením a shořením v primární zóně
 - Rozprášené palivo proudí z trysky v podobě kuželu
 - Tvar rozstříku paliva je měřítkem stupně atomizace

Spalovací komory (dodávka paliva)

- Odpařování paliva v proudu vzduchu
 - Palivo je vstřikováno do vypařovacích trubic, které jsou zahnuty proti proudu vzduchu
 - Teplem v SK je palivo odpařováno
 - Není nutno použít lopatkový víříč
 - Vyšší účinnost
 - Při rozběhu je nutno použít spouštěcí trysky pro dosažení dostatečné teploty v SK



- **Jednoduchá palivová tryská**

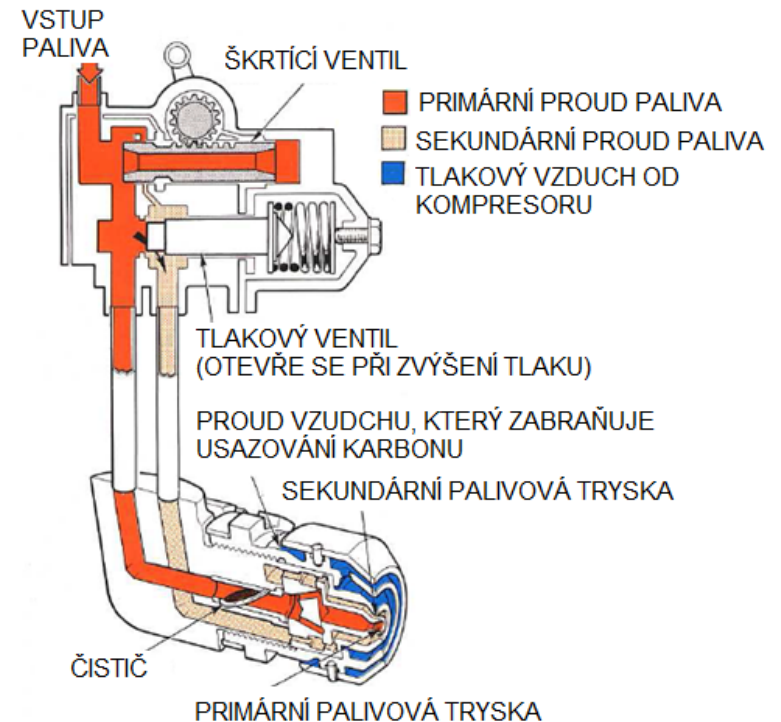
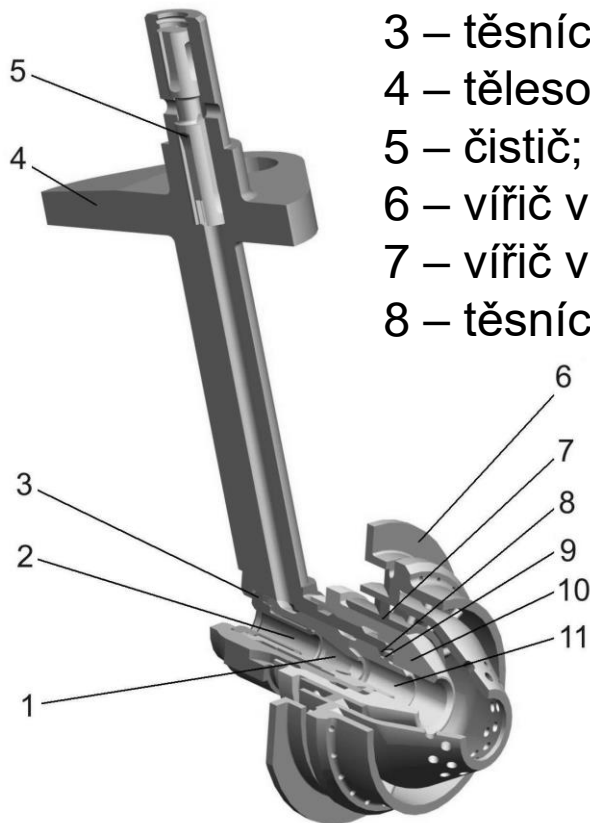


- 1 – plášť;
- 2 – vložka;
- 3 – těleso;
- 4 – kroužek;
- 5 – čistič;
- 6 – příruba;
- 7 – uzavírací matice;
- 8 – zámek;
- 9 – kryt;
- 10 – těsnící kroužek;
- 11 – podložka;
- 12 – vířič;
- 13 – rozprašovač;
- 14 – stabilizátor.

Spalovací komory (palivové trysky)

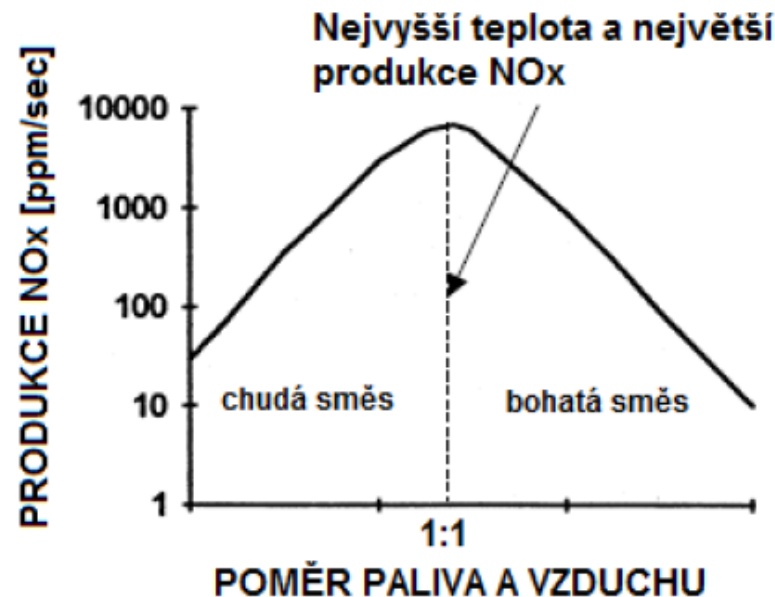
- Duplexní palivová tryská

- 1 – vložka;
- 2 – ochranný plášť;
- 3 – těsnící kroužek;
- 4 – těleso palivové dýzy;
- 5 – čistič;
- 6 – víříč vnější;
- 7 – víříč vnitřní;
- 8 – těsnící kroužek.



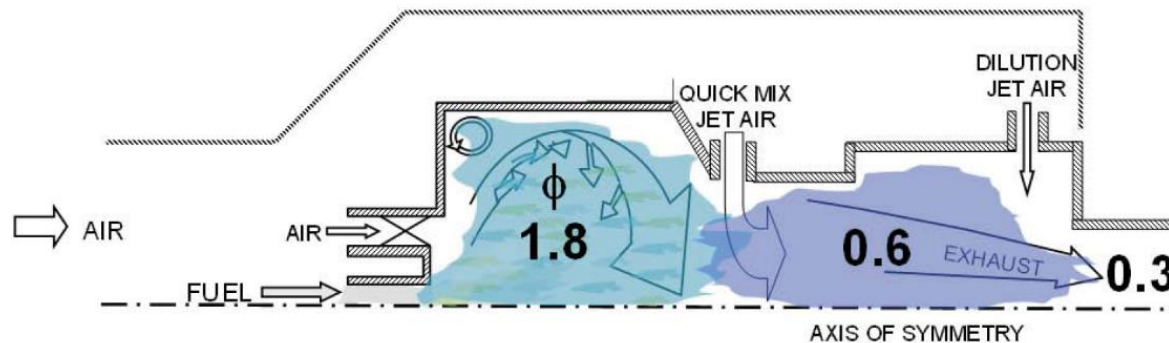
Spalovací komory (kvalita spalování)

- Kvalita spalování a množství vedlejších produktů spalování závisí na teplotě hoření směsi paliva a vzduchu
- Teplota závisí na stechiometrickém poměru (množství složek směsi přiváděných do primární zóny spalování)
- Nejvyšší teploty spalování je dosaženo při poměru 1:1



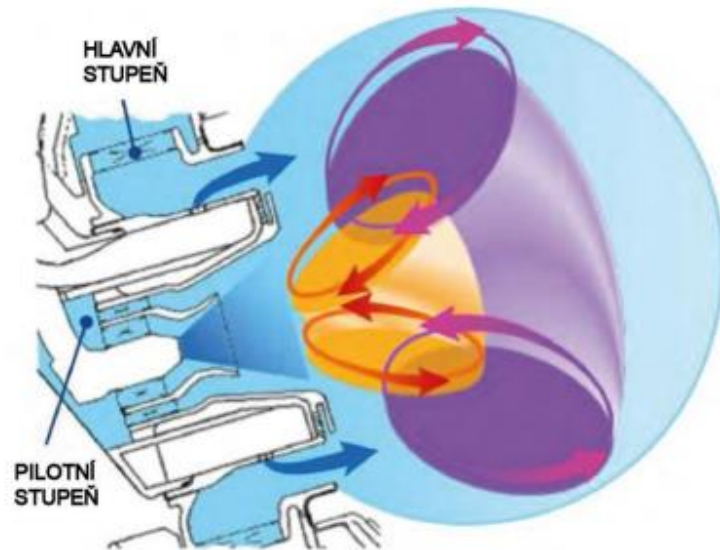
Spalovací komory (metody spalování)

- **RQL spalování** (Rich burn, Quick-mix, Lean burn)
 - Významné snížení produkce NO_x
 - 1. fáze: Hoření bohaté směsi (tvorba C a CO)
 - 2. fáze: Rychlé promíchání se vzduchem
 - 3. fáze: Hoření chudé směsi (spálení nezoxidovaného C a CO na CO_2)



Spalovací komory (metody spalování)

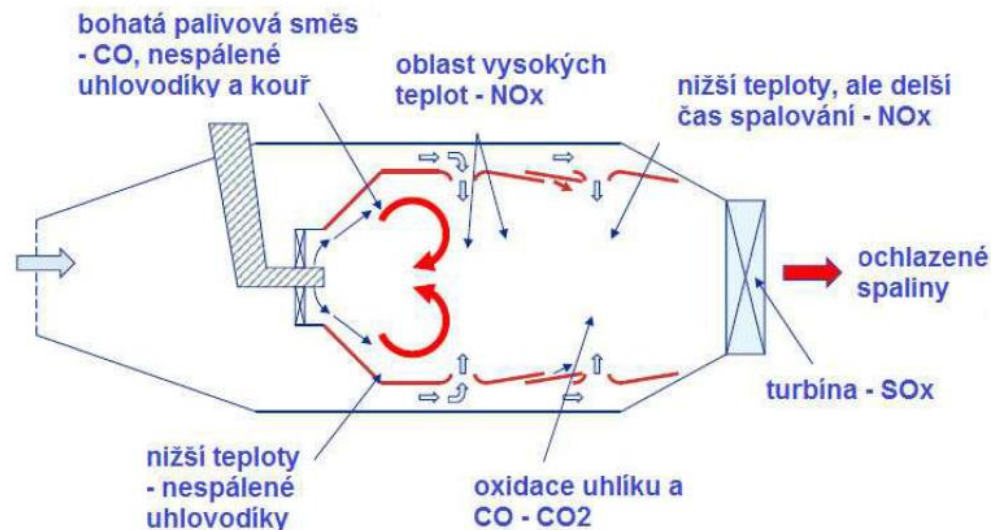
- **LBC spalování (Lean Burn Combustion)**
 - Pilotní stupeň a hlavní stupeň
 - Při nízkých výkonech je v provozu pouze pilotní oblast hoření
 - Pro vysoké výkony jsou v provozu oba stupně



Spalovací komory (emise)

• Produkty spalování

- CO_2 (v případě nedokonalé oxidace – CO)
- Vodní pára
- Oxidy dusíku a síry NO_x , SO_x
- Nespálené uhlovodíky CH
- *kouř*





**FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI**

**KATEDRA ENERGETICKÝCH
STROJŮ A ZAŘÍZENÍ**

Děkuji za pozornost