

ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚTNANOST

Spalování paliv – Spalovací turbíny

Ing. Jan Andreovský Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Spalovací turbíny – Základní informace

- **Historie a vývoj**

- Spalovací turbína – je motor s vnitřním spalováním. Spalování probíhá ve spalovací komoře. Pracovní látka je přímo produkt spalování. Využívá kinetické energie spalin.
 - **Spalovací turbína**
 - 1905 – Francie, rovnotlaká spalovací turbína plněná dmychadlem (3% účinnost), petrolej.
 - 1905 – Holzwarth, turbína při konst. objemu (jako spal motor) (14% účinnost), technické obtíže, minimální využití.
 - 1918 – 1920 – Francie, turbína s turbokompresorem – letectví
 - 30 léta 20st. – Švédsko, Švýcarsko (Sulzer) – 2T Diesel – pohon kompresoru a spaliny z motoru poháněly turbínu s lodním šroubem
 - 1933 – Brown Boveri – turbína na spalování kychtového plynu, následně výstavba parního generátoru
 - 1939 - Brown Boveri – špičková elektrárna ve Švýcarsku 4MW
 - Vysoká četnost pokusů a pokroku díky letectví – 30 léta, II.sv válka a poválečná léta, letadla s reaktivním pohonem.
- **Vývoj z hlediska energetiky**
 - U turbín se využívá především jejich vysoká pohotovost a akceschopnost. Vývojové trendy se logicky ubírají k vyšším účinnostem (vyšší teploty a tlaky – problematika materiálů). Další vývojové tendence jsou směřovány na možnosti spalování nestandardních plynných paliv z technologií (obsah nečistot, heterogenní spalování, agresivní chem. látky, produkty spalování). Četné neúspěšné pokusy byly uskutečněny se spalování uhlénohedralního prášku

Spalovací turbíny – Základní informace

- **Historie a vývoj**
 - **Vývoj z hlediska energetiky**
 - Z hlediska celého výrobního cyklu je jednoznačný vývoj k co nejvyššímu využití tepelného potenciálu odchozích spalin, tzn. řazení přehříváků, řazení parních generátorů a řazení spalovacích turbín do kombinovaného cyklu výroby tepla a elektřiny.
 - Vývoj spalovacích turbín je dále zaměřen na vývoj tzv. vlhkých oběhů HAT, kdy je odpadní teplo využíváno pro odpaření vody a nasycení stlačeného vzduchu. Dochází ke snížení kompresní práce a zvýšení relativního výkonu turbíny vůči kompresoru. Řešení má několik variant provedení sycení vzduchu kompresorem.
 - Perspektivní technologií je využívání spalovacích turbín v procesech se zplyňováním uhlí, v uvedeném případě jsou vývojové aktivity spalovacích turbín zaměřeny na materiálovou a provozní jednoduchost a spolehlivost.
- **Základní dělení**
 - S uzavřeným okruhem – tzn. plyn neopouští oběh, koluje v uzavřeném okruhu. Prakticky se nevyužívá.
 - S otevřeným okruhem . Tzn. po vykonání práce se vypouští do okolí.
 - Dle spalovacího prostoru – rovnotlaká (kontinuální spalování, používaná)/ v uzavřeném prostoru s výbuchem (nepoužívá se , viz historie).

Spalovací turbíny – Základní informace

• Obvyklé parametry

- Výkon řádově od 100kW do cca 310 MW (mikroturbíny od 30kW)
- Účinnost v rozsahu 25% až 40% (v kogeneraci od 85%).
- Obvyklé teploty 950°C , při chlazení a žárovevném nástřiku cca 1430°C
- Výstup spalin cca 430°C až 630°C
- Přebytky vzduchu cca 2.5 – 3.5
- Najížděcí časy na nominální výkon v řádu minut (10 – 60°C)
- Emisní úroveň (referenční O₂ 15%). Emise SO₂ a TZL jsou v podstatě závislé na typu paliva, v případě spalování plynu z distribučních sítí, nebo lehkého topného oleje, je jejich úroveň minimální. V případě sirnatých podílů ve spalinách a prachových podílů je nutná dočišťovací technologie dle příslušného obsahu. Kontrola je také navázána na kontrolu tmavosti kouře.

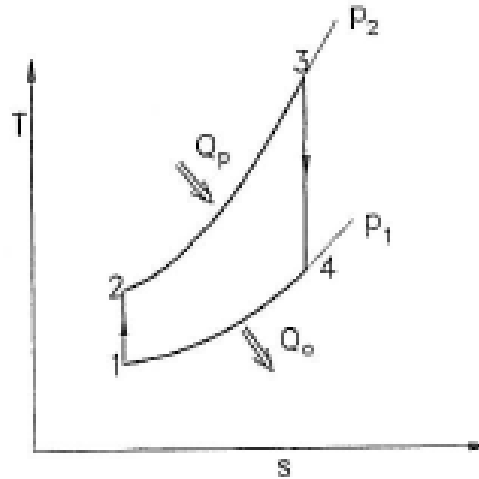
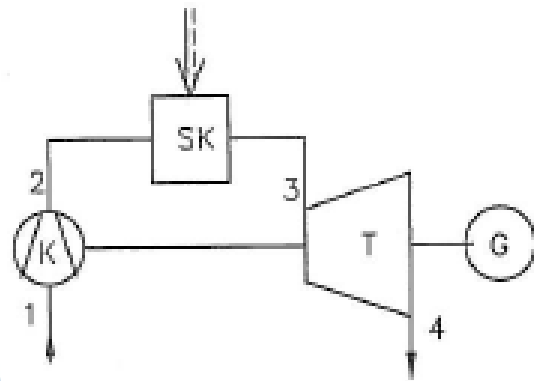
		NOx	CO
		mg/Nm ³	mg/Nm ³
Spalovací turbíny	stávající	300-350	100
Spalovací turbíny	stávající s tech. snížen	50 - 90	30 - 100
Spalovací turbíny	nové	20-50	5 - 100

• Využití

- Špičkové a rychlostartovací zdroje výroby elektřiny, zdroje výroby elektřiny v rámci technologie (zpracování technologických plynů), kogenerační výroba elektřiny a tepla, paroplynové cykly (zemní plyn, zplyňování uhlí). Zdroje energie na ropných plošinách.

Spalovací turbíny – Spalovací turbína z hlediska tepelného cyklu

- Základní termodynamické pochody, definice tepelného cyklu



K – je kompresor

SK – spalovací komora

T – turbína

G – generátor

1 – 2 adiabatická komprese

2 – 3 izobarický přívod tepla

3 – 4 adiabatická expanze

4 – 1 izobarický odvod tepla

Princip

Pracovní médium, většinou vzduch je kompresorem stlačen na vysoký tlak. Postupuje do spalovací komory, kde se vpravuje palivo, které se spaluje izobaricky tzn. přívod tepla. Horké a stlačené spaliny expandují na turbíně (část práce se spotřebuje na kompresi) a zbylá část se využívá. Po průchodu turbínou se odvádí teplo (spalin).

Definice účinnosti

Tlakový poměr $\sigma = p_2/p_1$

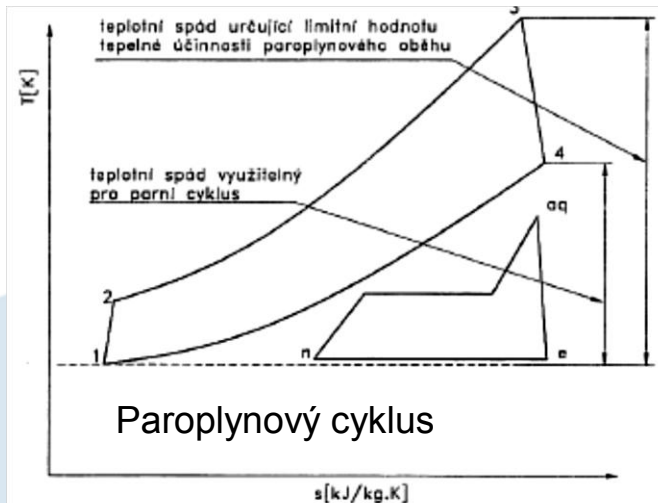
Termická účinnost je dána a úpravou vznikne

$$\eta_t = \frac{q_p - q_o}{q_p}$$

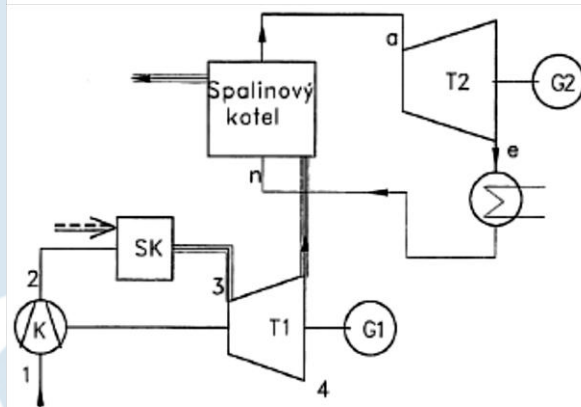
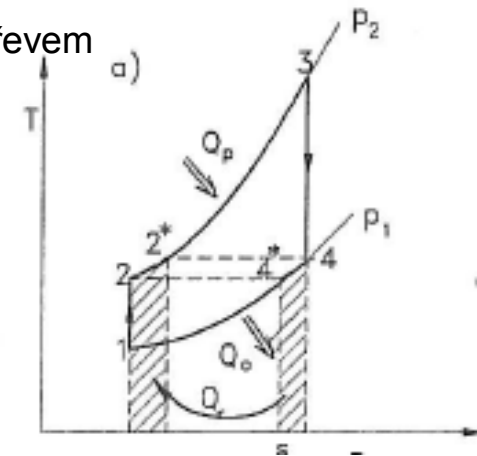
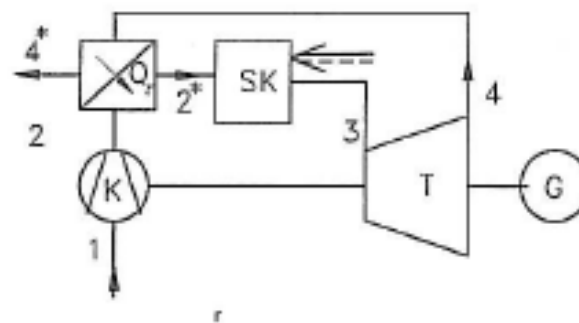
$$\eta_t = 1 - \sigma^{-\frac{\chi-1}{\chi}}$$

Spalovací turbíny – Spalovací turbína z hlediska tepelného cyklu

- **Zařazení do oběhu zdroje, součinnost s kotlem nebo výměníkem**
 - Vysoká teplota odchozích spalin v podstatě vybízí ke kombinovaným cyklům, které významně mohou zvýšit účinnost cyklu. Nejznámější se využívají v tzv. paroplynovém cyklu nebo v teplárenském provozu (teplárna Červený mlýn).



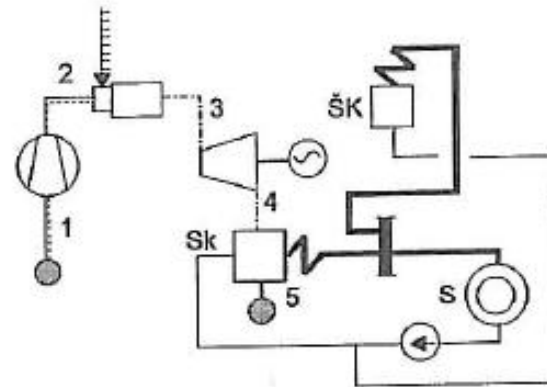
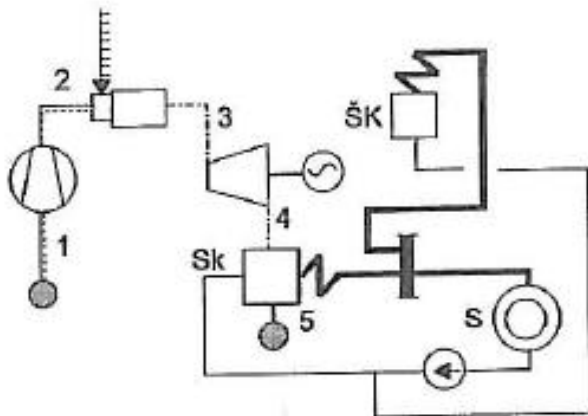
Spalovací turbína s regeneračním ohřevem



Spalovací turbíny – Spalovací turbína z hlediska tepelného cyklu

- Zařazení do oběhu zdroje, součinnost s kotlem nebo výměníkem

Příklady zařazení do teplárenského provozu



- **Palivová základna**

- Zemní plyn (cca 50%), lehké frakce nafty.
- Nafta, těžký topný olej,
- Vysokopeční plyn
- Energoplyn (vzniká např. zplyňováním uhlí)
- Plyn ze zplyňování biomasy
- Skládkový plyn

Spalovací turbíny – Spalovací turbína z hlediska tepelného cyklu

- Zařazení do oběhu zdroje, součinnost s kotlem nebo výměníkem

Příklady sestavy a výkonových parametrů spalovací turbíny

Performance

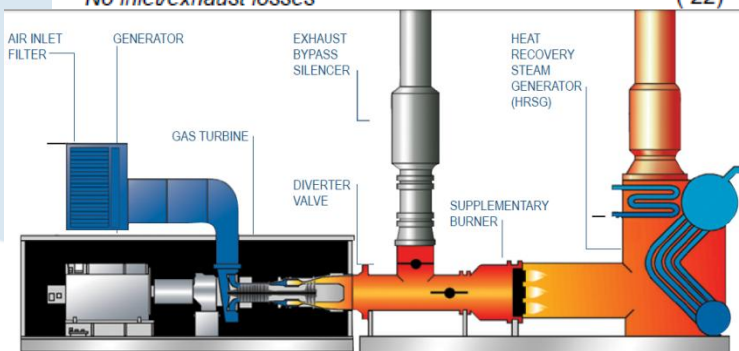
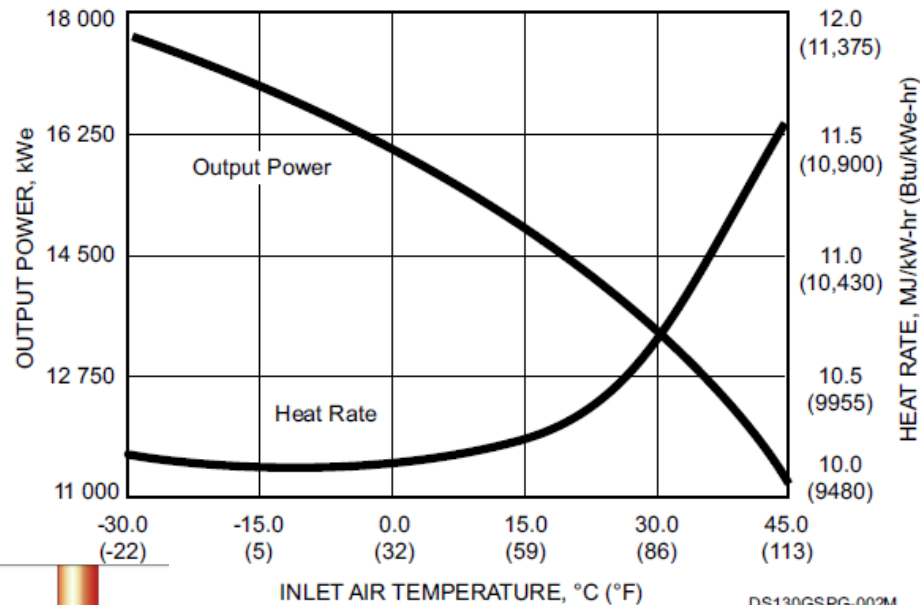
Output Power	15,000 kW
Heat Rate	10 230 kJ/kWe-hr (9695 Btu/kWe-hr)
Exhaust Flow	179 250 kg/hr (395,180 lbs/hr)
Exhaust Temperature	495°C (925°F)

Application Performance

Steam (Unfired)	29.3 tonnes/hr (64,500 lb/hr)
Steam (Fired)	135.3 tonnes/hr (298,200 lb/hr)
Chilling (Absorption)	6,600 Refrigeration Tons

Nominal rating – per ISO
At 15°C (59°F), sea level
No inlet/exhaust losses

Available Power



Spalovací turbíny – Konstrukční řešení

- **Způsoby konstrukčního řešení**

- Konvenční řešení – obdobné klasickým turbínám, robustní
- Aeroderiváty – soustrojí se sériově vyráběnými leteckými motory předřazené před užitnou turbínou, nebo soustrojí s turbínovými leteckými motory pohánějíci přes převodovku hnaný agregát.
- Hybridní – použité konstrukční prvky leteckých motorů a technologií při zachování klasické koncepce.
- Koncepce dle hřídelí – jednohřídelové a dvouhřídelové uspořádání (hřídel dělena)

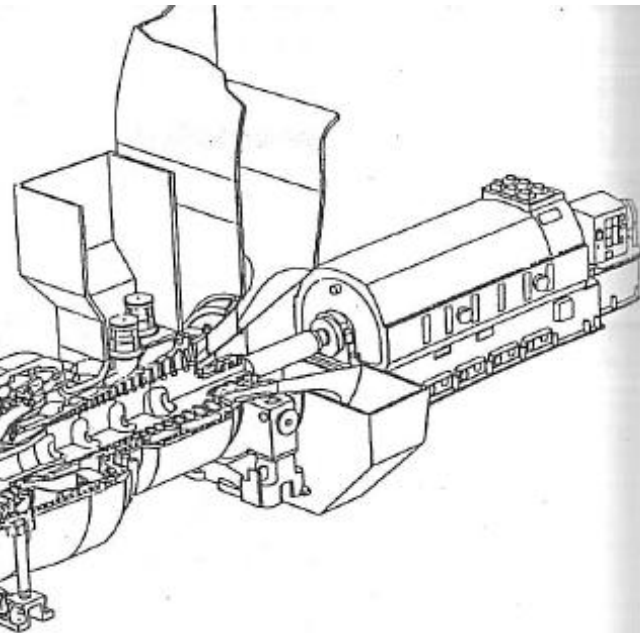
Plynová turbína
ABB – 164MW

1100°C/525°C

515kg/s

Stlačení 15

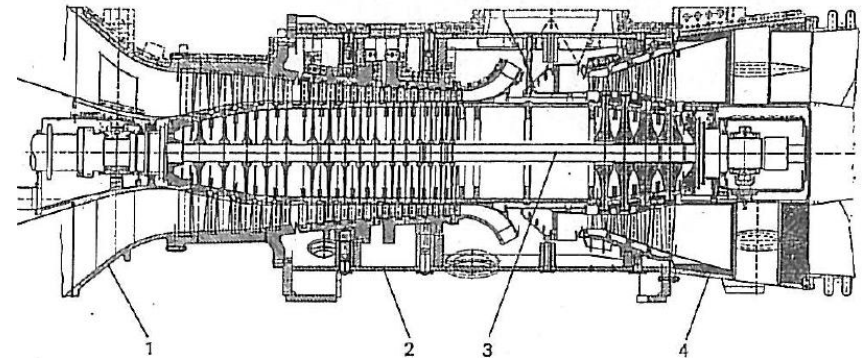
Prstencová SK



Plynová turbína SIEMENS – 222MW

550°C

624 kg/s



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Spalovací turbíny – Konstrukční řešení

- **Způsoby konstrukčního řešení – snížení NO_x**
 - Injektáž vodní páry
 - Použití nízkoemisních hořáků
 - Dvou etapové hořáky
 - Nízkoteplotní a vysokoteplotní SCR
 - SNCR
 - SCONO_x – katalytická redukce (oxidace a absorpce) pro plynové turbíny. Redukuje se CO a NO_x
- **Legislativní emisní zátěž – specifické limity**

Tabulka 3.1 - Specifické emisní limity platné od 1. ledna 2018

Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m ⁻³]					
	> 0,3-1 MW		> 1-5 MW		> 5-50 MW	
	NO _x	CO	NO _x	CO	NO _x	CO
Kapalné palivo	300	100	300	100	300	100
Plynné palivo a zkapalněný plyn	250	100	50	100	50	100

Tabulka 3.2 - Specifické emisní limity platné do 31. prosince 2017

Celkový jmenovitý tepelný příkon	Specifické emisní limity [mg.m ⁻³]	
	NO _x	CO
> 0,3-5 MW	350	100
> 5 MW	300	100

Spalovací turbíny – Obecné výhody a nevýhody spalovacích turbín

- **Výhody**

- Kompaktnost uspořádání stroje
- Malá spotřeba materiálu předpoklad pro relativně nízké měrné investiční náklady
- Malá spotřeba vody
- Provozní spolehlivost (jako např. u turbokompresorů)
- Výkonová a časová pružnost

- **Nevýhody**

- Většinou nutnost použití drahých paliv pro podmínky ČR
- V případě jednoduchých (neregeneračních) variant vysoký nárok kompresní práce
- Náročná výroba (přesnost a materiály)
- V případě nevyužití odchozích plynů snížená termická účinnost.

- **Souhrn**

- Princip a termodynamický pohled
- Parametry a emise
- Konstrukční provedení a možnosti zařazení v rámci zdroje
- Výhody a nevýhody