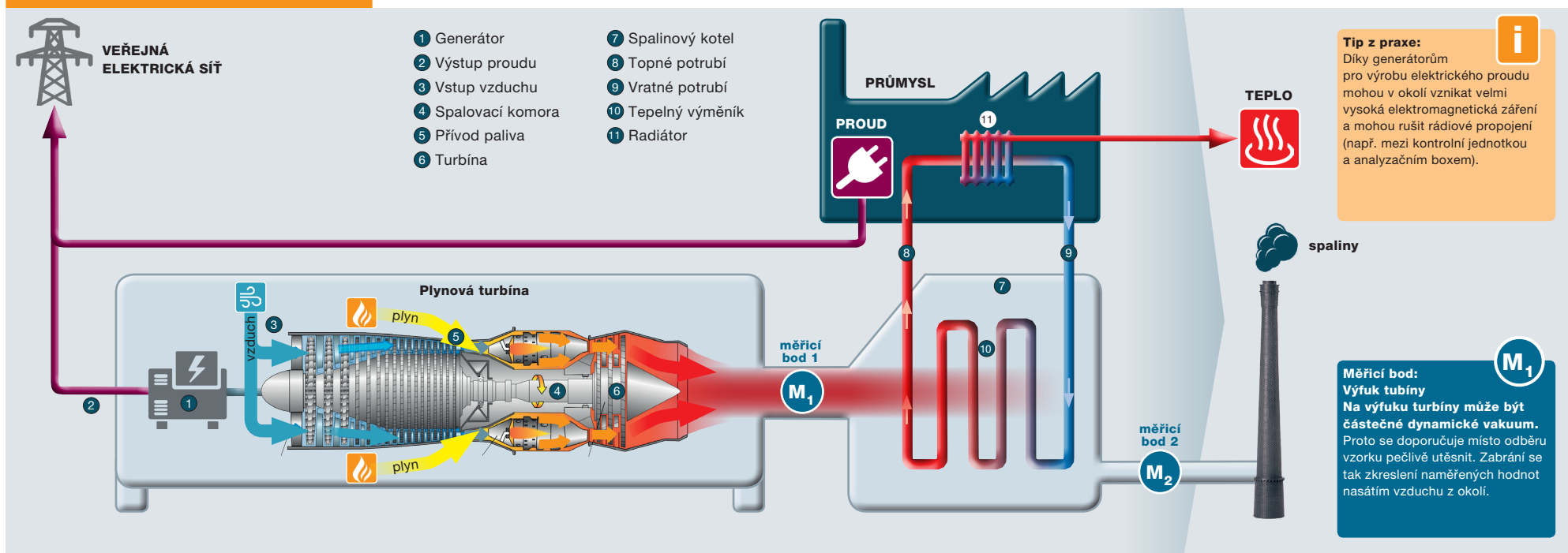


## Popis aplikace plynové turbíny

### Nákres & funkce



### Typický spalovací proces plynové turbíny:

#### I. Kompresor

Kompresor nasává vzduch a stlačuje jej. Přitom teplota vzduchu stoupá. Dnes jsou běžné hodnoty koncového tlaku kompresoru pro plynové turbíny <10 MW pod 20 bar. Startér plynové turbíny se při začátku procesu nabíhání stará o pohon kompresoru. Kompresor je pro regulaci nasávaného množství vzduchu vybaven systémem lopatek, přes který dochází k ladění z vodících lopatek a tím se mění nasávaný objemový průtok vzduchu.

#### II. Spalovací komora

Z kompresoru proudí vzduch do spalovací komory. Tam je přimíšeno palivo, které je spalováno při téměř konstantním tlaku. Přitom se spaliny ohřívají na teploty nad +1000 °C. Přívodem energie do spalovací komory se zvyšuje rychlost spalin.

#### III. Turbína a generátor

V připojené turbíně expandují horké spaliny bohaté na energii zhruba na okolní tlak a snižují přitom svoji rychlost. Během procesu expanze předávají spaliny výkon turbíně. Cca  $\frac{2}{3}$  tohoto výkonu je potřeba pro pohon kompresoru (nasávání vzduchu), přímo propojený generátor mění mechanickou energii na elektrickou. Na nízkotlaké straně je ještě k dispozici  $\frac{1}{3}$  efektivního výkonu pro druhou vlnu, např. pro pohon generátoru, pohon kompresoru nebo čerpadla, než jsou horké spaliny odvedeny do kotle na odpadní teplo.

#### IV. Kotel na odpadní teplo

**Protože mají spaliny ještě vysokou teplotu** (+450 ... +600 °C), je možné je dále využít pro výrobu páry nebo pro různé kogenerační procesy ke zvýšení využití paliva. Po uvolnění v turbíně na okolní tlak jsou spaliny vypouštěny do okolí.

#### V. Spaliny

Ochlazené spaliny nakonec opouštějí kogenerační proces komínem, při současné teplotě pouhých cca. +70°C.

## Popis aplikace plynové turbíny

### Měření

#### M<sub>1</sub> Měřicí bod 1: kontrola spalovacího procesu

##### Kde se měří?

- Za turbínou

##### Proč se měří?

- Určení emisí turbíny
- Optimalizace účinnosti spalování turbíny
- Seřízení při různých bodech zatížení
- Optimalizace na nejvyšší efektivitu
- Snížení spotřeby paliva

##### Co se měří?

- O<sub>2</sub> - NO
- CO - NO<sub>2</sub>

##### Typické vlastnosti spalin:

- Teplota spalin: +450 ... +600 °C
- Tlak ve spalinovém kanálu: až 25 mbar

##### Upozornění:

Na tomto odběrovém místě se vyskytuje dynamický podtlak → toto místo je třeba bezpodmínečně utěsnit, protože jinak je nasáván a měřen okolní vzduch.



#### M<sub>2</sub> Měřicí bod 2: kontrola dodržení regionálních hraničních hodnot pro emise

##### Kde se měří?

- Za kotlem na odpadní teplo

##### Proč se měří?

- Kontrola dodržování hraničních hodnot ve spalinách
- Měření spalin při hledání závady/diagnostice
- Měření spalin při pravidelných inspekcích a údržbě

##### Co se měří?

- O<sub>2</sub> - NO
- CO - NO<sub>2</sub>

##### Typické vlastnosti spalin:

- Teplota spalin: +70 ... +90 °C
- Tlak ve spalinovém kanálu: ±2 mbar

### Typické měřené hodnoty

#### Typické hodnoty a hraniční hodnoty zařízení s plynovými turbínami:

Měřená veličina	Typické hodnoty	Hraniční hodnoty
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	15 ... 18 %	15 % (referenční hodnota)
NO <sub>x</sub>	25 ... 60 ppm	300 ... 350 mg/m <sup>3</sup>
CO	0 ... 30 ppm	100 mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>		
Prach		
Teplota plynu	+300 ... +400 °C	+70 ... +90 °C
Proudění plynu		
Vlhkost		

#### Výhody senzorů testo a systému ředění:

- Vysoká přesnost měření při nízkých koncentracích díky přesným senzorům CO<sub>low</sub> a NO<sub>low</sub>
- Velmi široký měřicí rozsah díky rozšíření měřicího rozsahu až o faktor 40 (2x, 5x, 10x, 20x, 40x)
- Automatické zapnutí funkce ředění chrání před přetížením, aniž by bylo měření přerušeno
- Automatická ochrana senzorů brání poškození senzoru při vysokých koncentracích
- Není potřeba žádný další „high-senzor“ (např. senzor NO a CO) → úspora nákladů
- Měřicí rozsah senzorů:
  - senzor O<sub>2</sub>, 25 obj. %
  - senzor NO<sub>low</sub>, 300 ppm, 12.000 ppm\*
  - senzor CO<sub>low</sub>, 500 ppm, 20.000 ppm\*
  - senzor NO<sub>2</sub>, 500 ppm

\* Rozšíření měřicího rozsahu pro jednotlivé sloty faktorem ředění 40

### Měřicí otvor



##### Upozornění:

Při výběru sondy je třeba zohlednit, že spalínové kanály mohou mít velký průměr (>1 m).



#### Výhody analyzátoru spalin testo 350:

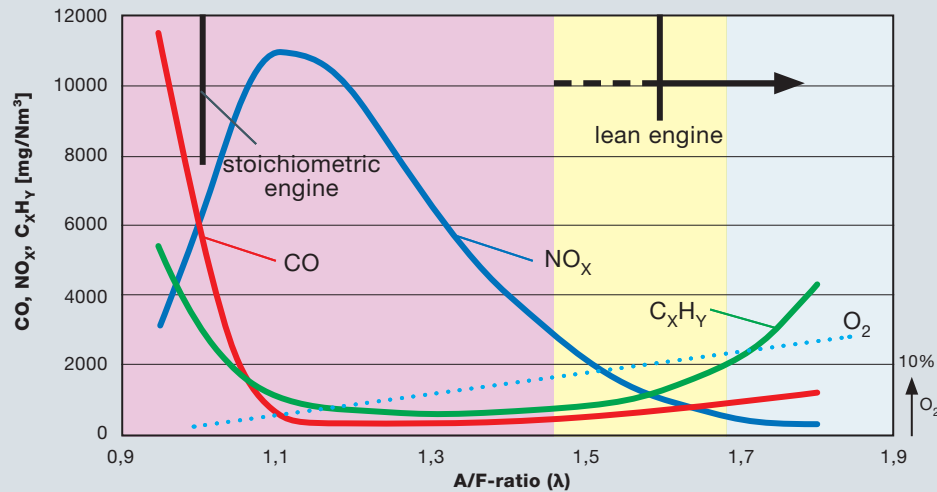
- Připravenost k měření během 30-ti sekund
- Obsluha vedená uživatelem s užitečnými přednastaveními přístroje
- Možnost jednoduché, precizní kalibrace provedené uživatelem i na místě měření
- Uzavřený, robustní pouzdro, odolné proti nárazům a nečistotám
- Předem zkalibrované senzory je možné vyměnit v terénu a jsou tak redukovány výpadky
- Analyzační box s průmyslovými konektory a lehce přístupnými servisními otvory
- Integrovaná úprava plynu chrání před ředěním měřených hodnot vlhkostí a před vymýváním např. NO<sub>2</sub> kondenzátem ve spalinách



# Popis aplikace plynové turbíny

## Teoretické znalosti 1

### Chování spalín u plynových turbín

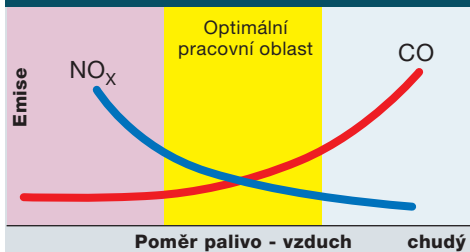


#### Obecně platí:

Podle poměru vzduchu ku podílu paliva se posunuje provozní bod na křivce spalování.

- NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>**
- Skládá se z NO<sub>x</sub> paliva a termického NO<sub>x</sub>
  - Podíl NO<sub>2</sub> mohou být velmi nízké → nebezpečí vymytí je velmi vysoké (→ doporučen chladič plynu)
  - Také NO ve velmi nízkém rozsahu → senzor NO<sub>low</sub>
- NO<sub>x</sub> oddělené měření = senzory NO + NO<sub>2</sub>

### Optimální pracovní oblast



#### Emise NO<sub>x</sub> u plynových turbín

- Plynové turbíny pracují s velkým množstvím přebytku vzduchu.
- Termická produkce NO<sub>x</sub> velmi rychle stoupá, poté co bylo dosaženo stechiometrické teploty plamene.
- Zvýšením poměru palivo/vzduchu ve směru „chudý“ (více O<sub>2</sub>) se sníží termická tvorba NO<sub>x</sub>, avšak zvýší se emise CO.

#### Vycházejí z poměru „bohatý“

##### Vlastnosti:

##### NO<sub>x</sub> (oxidy dusíku):

Zvýšený přívod vzduchu vede ke snížení teploty ve spalovací komoře. Produkce NO<sub>x</sub> se zmenší, protože vzniká méně termického NO<sub>x</sub>.

**C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> nebo HC (uhlovlodík např. metan):**  
Dobré smíchování paliva se vzduchem může při dobrém stavu vést k velmi nízkým hodnotám C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>.

##### CO (kyslíčnick uhelnatý):

Přebytek kyslíku vede ve spalovacím procesu k tomu, že molekuly CO mohou reagovat s O<sub>2</sub> na CO<sub>2</sub> a tím jsou produkována jen malá množství CO.

#### Optimální pracovní oblast

#### Vycházejí z poměru „chudý“

##### Vlastnosti:

##### NO<sub>x</sub> (oxidy dusíku):

Dalším snížením spalovací teploty se z největší části vylučuje produkce termického NO<sub>x</sub>.

**C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> nebo HC (uhlovlodík např. metan):**  
Při příliš vysokém přebytku kyslíku se sníží spalovací teplota tak dalece, že již teplota plamene není dostačující k tomu, aby veškeré palivo (HC) spálila → vzestup hodnoty C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> ve spalínách.

##### CO (kyslíčnick uhelnatý):

Příliš nízká spalovací teplota vede k neúplné oxidaci CO a tím k obnovenému vzestupu CO.

### Tip z praxe:

#### Při nabíhání plynových turbín:

Při nabíhání mohou vzniknout vysoké koncentrace CO. V kombinaci s funkcí ředění (rozšíření měřicího rozsahu) je možné vedle vysokých přesností měřit také vysoké koncentrace pomocí senzorů CO<sub>low</sub> a NO<sub>low</sub>.

#### Optimálně seřízené plynové turbíny:

U optimálně seřízené turbíny mohou být hodnoty CO / NO velmi nízké (hodnoty NO<sub>x</sub> < 10 ppm). Systémy s úpravnou plynu zabraňují ředění měřených hodnot vlhkostí a také absorpci NO<sub>2</sub> způsobenou kondenzátem ve spalínách. Tím mohou být výkonnostní úroveň a přesnost měření zachovány jako konstantní.

## Popis aplikace plynové turbíny

### Teoretické znalosti 2

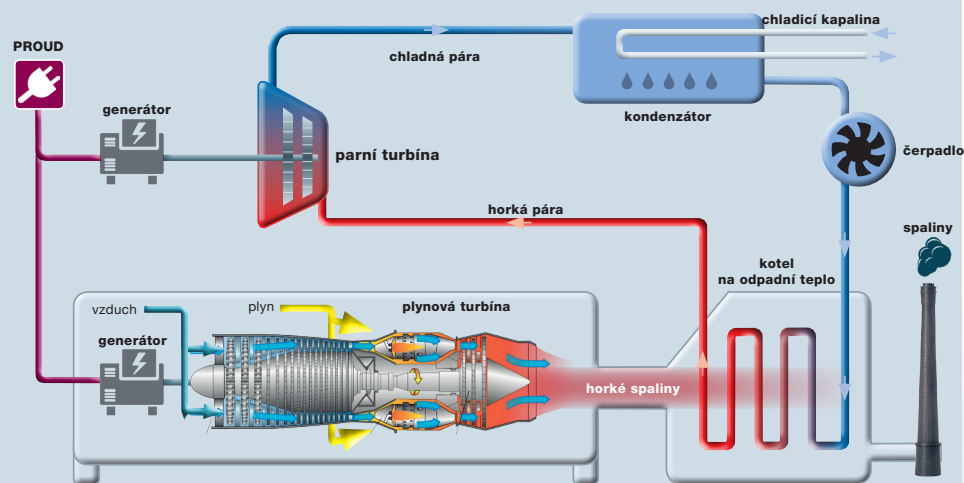
#### Rozdíl plynová a parní turbína

Turbína	Palivo	Rozsah teplot
<b>Plynová turbína</b>	Plynná a kapalná paliva (např. zemní plyn, benzín, propan, motorová nafta a kerosin).	Vysoký teplotní rozsah až +1.000 °C během spalování.
<b>Parní turbína</b>	Horká pára (většinou vodní pára), může se využít teplo např. z jaderných reaktorů, topenišť uhelných hořáků nebo plynových turbin. → <b>Důležité:</b> parní turbíny přicházejí do kontaktu pouze s produkovanou vodní párou, nikoliv s použitým palivem .	Nižší teplotní rozsah cca +450 ... +600 °C (teplota spalin primárního spalovacího procesu vyrábí potřebnou vodní páru).

#### Zvýšení efektivity energie kombinací plynové a parní turbíny:

→ Docílení vysoké elektrické efektivity energie kombinací plynové turbíny s parní turbínou. U takové kombinované plynové a parní elektrárny se využívají horké spaliny elektrárny s plynovou turbínou k ohřívání parního kotle. Tím se značně zvýší účinnost, protože připojená parní turbína zpravidla dosáhne znovu polovinu výkonu plynové turbíny.

#### Princip kombinované elektrárny s plynovou a parní turbínou



#### Kombinace rozšíření měřicího rozsahu a senzorů low

##### Nastavení přístroje:

Funkce ředění (faktory 2, 5, 10, 20, 40) u senzorů se aktivuje v závislosti na aplikaci → testo 350 kontroluje automaticky, zda jsou rozhodující senzory osazeny ve stanoveném slotu pro ředění (slot 6).



##### Způsob fungování:

1. Definování prahu odpojení senzorů
2. Pro slot 6: aktivování rozšíření měřicího rozsahu → volba faktoru ředění 2, 5, 10, 20, 40
3. Jakmile je dosaženo prahové hodnoty pro odpojení, je měřený plyn pro senzor ve slotu 6 automaticky, kontrolovaně ředěn okolním vzduchem (jiná možnost: dusíkem). → Ředící plyn je přiváděn přes čerpadlo a ventil na bázi pulzní šířkové modulace přes samostatný vstup pro ředící vzduch.  
→ Pro ochranu cest plynu před prachem je předřazen ochranný filtr.
4. Pokud je i přes ředění znovu dosaženo prahu pro odpojení, zapne se automaticky ochrana senzoru, aby byly senzory ochráněny před zničením.

##### Příklad výpočtu: x40

Porovnání expozice senzoru a zobrazení přístroje	Měřicí rozsah senzoru CO <sub>low</sub>	Měřicí rozsah senzoru CO <sub>low</sub> s faktorem ředění 40*	Ochrana senzoru: měřicí rozsah senzoru CO <sub>low</sub> s ředěním 40**
<b>Zobrazení přístroje</b>	500 ppm	10 000 ppm	20 000 ppm
<b>Senzor CO<sub>low</sub></b>	500 ppm	250 ppm	500 ppm → Ochrana senzoru proplachem čistým vzduchem při překročení 20 000 ppm

\*Dodatečná nejistota měření při použití ředění jednotlivých slotů 2 % z nam. hodn.

\*\*Měřicí rozsah senzoru CO<sub>low</sub>: 20 000 ppm

#### Tip z praxe:

- Při výskytu rušivých plynů v okolním vzduchu zasunout hadici na vstupu pro ředění a přenést do čistého ovzduší\*.
- Při použití plynu z plynové lahve (např. dusík) je třeba respektovat max. tlak 30 hPa.
- Ředěním se změní také rozlišení zobrazení měřených hodnot.  
Příklad: bez ředění je rozlišení 1 ppm, s faktorem 10 je rozlišení 10 ppm.

\* Pozor na omezení ohledně průměru a délky.