

## Ovlivňující faktory a měřené veličiny u hořáků a kotlů a jejich význam pro optimalizaci účinnosti a emisí.



# Výroba tepla v hořákových a kotlových systémech

Při výrobě proudu, při vytápění budov, při výrobě cementu a skla a u mnoha dalších průmyslových aplikací dávají kotlové systémy k dispozici potřebnou tepelnou energii. S palivy jako je uhlí, olej nebo plyn jsou schopny vyrobit velké množství energie s dobrou celkovou účinností. Poněvadž při výrobě tepla je používáno velké množství paliva a spalováním vzniká velké množství spalin, záleží při seřizování kotlů na vysokém stupni účinnosti při co možná nejnižším množství škodlivin - zvláště proto, že se hraniční hodnoty ze zákona pro kontaminanty jako jsou  $\text{NO}_x$ , CO a  $\text{CO}_2$  stále zpřísňují.

Z toho důvodu se zjišťují hodnoty emisí při uvádění kotlů a hořáků do provozu a při jejich údržbě a také při oficiálních měřeních. Pomocí těchto dat lze kompletně posoudit hospodárnost zařízení a seřízení hořáku. Aby bylo možné efektivitu kotlového systému optimalizovat a přizpůsobit emise zákonným požadavkům, je důležité znát základní principy spalovacího procesu a porozumět vlivu jednotlivých měřených a regulovaných veličin na výkon a emise znečišťujících látek.



Obr. 1: Kotlové systémy dodávají nezbytnou tepelnou energii pro četné procesy ve výrobě energie, v klimatizaci budov a v chemickém průmyslu.

## Spalovací proces v hořákových a kotlových systémech

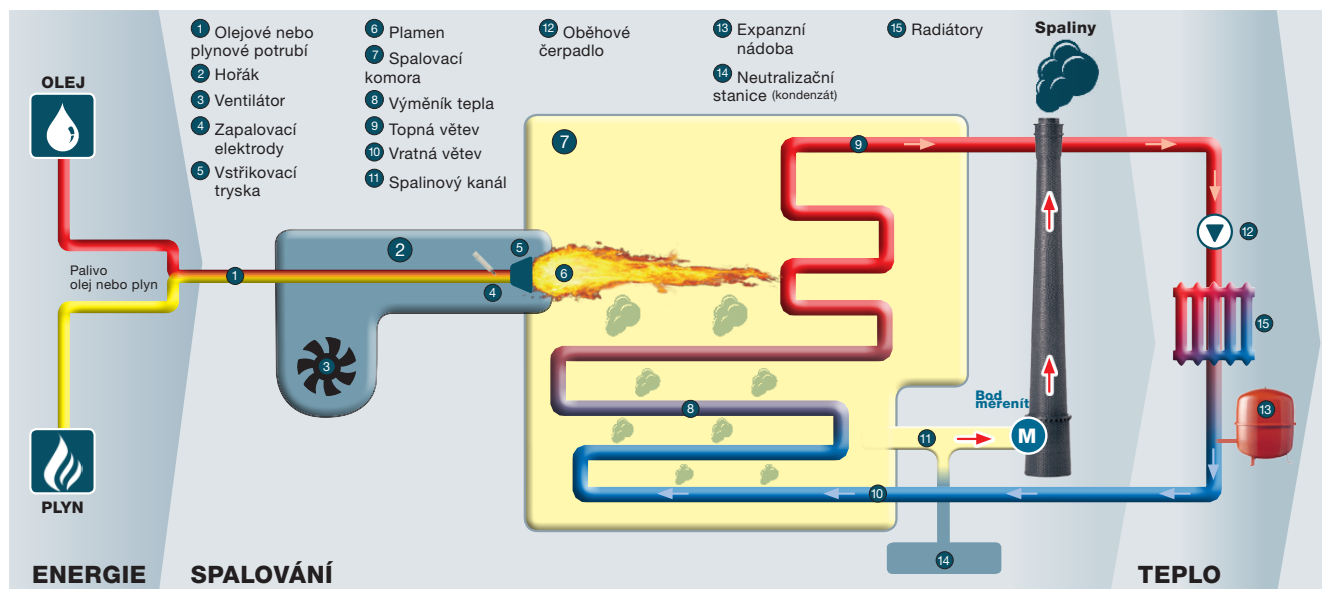
K výrobě tepla v systémech kotlů na vytápění se uhlík nebo uhlovodíkové sloučeniny spalují spolu s kyslíkem obsaženým ve vzduchu. Spalování se odehrává v uzavřené spalovací komoře. Prostřednictvím výměníku tepla se přenáší vzniklá tepelná energie na teplotně nosné médium a je vedena na své místo určení. Pevná paliva jsou spalo-

vána v pevném loži, fluidním loži nebo v prašném mraku, kapalná paliva se přes hořák rozprašují do spalovací komory v podobě mlhy a plynná paliva se již v hořáku směšují se spalovaným vzduchem.

Ostatní komponenty zařízení zajišťují přívod a distribuci paliva, přenos a odvod tepla a také odvod spalin a zbytků paliva jako je popel a škvára.

Při spalování vznikají četné látky, které jsou ze spalovací komory odváděny jako spaliny. Největší část spalin tvoří vodní pára a kysličník uhličitý (CO<sub>2</sub>), které vznikají jako produkty reakce paliva a spalovaného vzduchu. Kromě toho obsahují spaliny - podle přívodu vzduchu - oxidy dusíku

(NO<sub>x</sub>) nebo kysličník uhelnatý (CO) a nedokonale spálené složky paliva. Díky znečištění mohou paliva obsahovat také sirovodík, oxidy síry, kyselinu fluorovodíkovou a kyselinu chlorovodíkovou, navíc lze často najít saze, těžké kovy a prach.

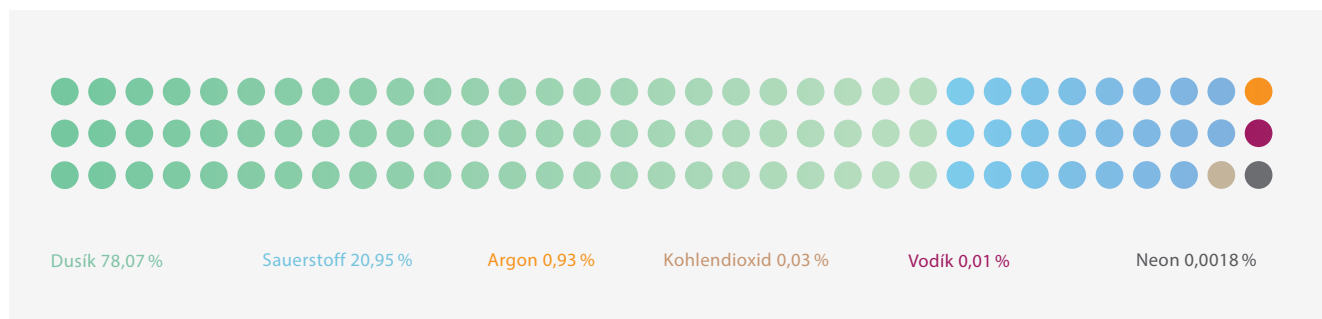


Obr. 2: Typický proces spalování v kotlovém systému.

### Chemické reakce při spalovacím procesu

Již spalovaný vzduch se skládá z mnoha substancí. Obsahuje především dusík (N<sub>2</sub>) a kyslík (O<sub>2</sub>), proměnný podíl vodní páry a také spoby kysličníku uhličitého (CO<sub>2</sub>), vodíku

(H<sub>2</sub>) a inertních plynů. S výjimkou kyslíku a nepatrného podílu dusíku se tyto složky opět nacházejí také ve spalinách.



Obr. 3: Složení čistého, suchého vzduchu na zemském povrchu.

Kolik kyslíku je zapotřebí, aby se určitý nositel energie spálil se dá přesně vypočítat podle stechiometrické rovnice.

Příklad:

Pro úplnou reakci s jednou molekulou metanu (CH<sub>4</sub>) jsou zapotřebí dvě molekuly kyslíku; z nich vzniknou dvě molekuly vody a jedno molekula kysličníku uhličitého



V praxi ovšem toto ideální a současně minimální množství kyslíku pro dokonalé spalování nestačí. Poněvadž jsou paliva vždy do určitého stupně znečištěná a palivo a kyslík je možné pouze nedokonalé smísit, musí se spalovacímu procesu v průmyslových kotlech přivádět více kyslíku a tím více spalovaného vzduchu, než by bylo potřebné podle stechiometrické rovnice. Toto dodatečné množství vzduchu se nazývá přebytek vzduchu.

Zvláště důležité pro posouzení spalovacích procesů je poměr vzduchu, příp. poměr spalovacího vzduchu λ (lambda). Ten popisuje skutečně potřebné množství vzduchu ku stechiometricky vypočítanému množství vzduchu. Poměr spalovacího vzduchu pro určitý spalovací proces se dá za pomoci komponentů spalin kysličníku uhelnatého (CO), kysličníku uhličitého (CO<sub>2</sub>) a kyslíku (O<sub>2</sub>) určit následujícími vzorci.

$$\lambda = 1 + \frac{\text{O}_2}{21 - \text{O}_2}$$

Výpočet poměru spalovacího vzduchu pomocí podílu O<sub>2</sub> ve spalinách.

Protože u moderních otopných zařízení je provoz běžný s přebytkem vzduchu, upřednostňuje se dnes zpravidla jednoznačný výpočet poměru vzduchu přes obsah O<sub>2</sub>.

Určení λ pomocí měření CO<sub>2</sub> má tu výhodu, že se dají podíly kysličníku uhličitého ve spalinách stanovit za všech spalovacích podmínek. Obsah CO<sub>2</sub> však není jednoznačný a sám o sobě nestací ke stanovení, zda spalovací proces probíhá za nedostatku vzduchu nebo za přebytku vzduchu.

K tomu se musí navíc měřit, zda spaliny obsahují CO nebo O<sub>2</sub>. Hodnota CO<sub>2</sub>max vložená do vzorce je závislá na použitém palivu.

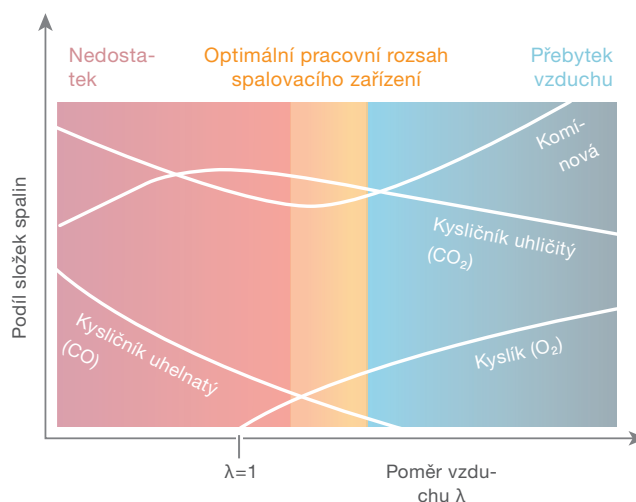
$$\lambda = \frac{\text{CO}_2\text{max}}{\text{CO}_2}$$

Palivo	CO <sub>2</sub> max
Topný olej	15,4
Zemní plyn	11,9
Kapalný plyn	13,9
Koks a dřevo	20,0
Brikety	19,3
Hnědé uhlí	19,2
Černé uhlí	18,5
Svítiplyn	11,6
Zkušební plyn	13,0
Rašelina	15–30

Výpočet poměru spalovacího vzduchu pomocí podílu CO<sub>2</sub> ve spalinách. Hodnota CO<sub>2</sub>max je jako konstanta materiálu závislá na palivu.

### Vliv poměru spalovacího vzduchu na spalovací proces

Zkušený servisní technici vědí: pro široký rozsah regulace, stabilní spalování, optimální využití paliva a co možná nejnižší hodnoty emisí je optimální zásobování vzduchu rozhodující. Proč tomu tak je, ukazuje následující graf:



Obr. 4: Podíly složek spalin při spalovacím procesu v kotlovém systému v závislosti na poměru vzduchu.

Je-li zařízení provozováno při nedostatku vzduchu, není k dispozici dostatek kyslíku, aby se palivo dokonale spalovalo. Tím jsou ve spalinách obsaženy kysličník uhelnatý, saze a zbytky paliva, které se dostávají přes komín do okolí. Kromě toho je sníženo využití energie, protože se spalováním neuvolní veškerá energie uložená v palivu.

Běží-li naproti tomu kotel za přebytku vzduchu, spálí se palivo úplně. Avšak přebytečný vzduch také vede ke zvýšené tvorbě oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>), kromě toho snižuje účinnost, protože se snižuje ředěním se studeným venkovním vzduchem teplota spalování. Jako základní pravidlo

vede zvýšení množství vzduchu o 10 procent ke zvýšení spotřeby paliva o 1 procento.

Pro každý spalovací proces tedy existuje optimální poměr paliva a přiváděného vzduchu. V této oblasti pracuje spalovací zařízení se stabilním plamenem, nejlepší účinností a nejnižšími emisemi. Požadavek na servisní technika spočívá v tom, aby určil optimální poměr vzduchu a zařízení na něj seřídil.

	Nedostatek vzduchu		Přebytek vzduchu
Výhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bez emisí oxidů dusíku</li> </ul>	Optimální pracovní rozsah spalovacího zařízení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokonalé spalování paliva</li> <li>• Žádné saze a žádné zbytky paliva ve spalinách</li> <li>• Bezpečný provoz</li> </ul>
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nedokonalé spalování paliva a tím snížené využití energie</li> <li>• Kysličník uhelnatý, saze a zbytky paliva ve spalinách</li> <li>• Nebezpečný provoz až po zhasnutí plamene hořáku</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nižší účinnost díky tepelným ztrátám</li> <li>• Vzestup emisí oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>)</li> </ul>
Kysličník uhelnatý (CO)	Vzniká kysličník uhelnatý (CO), poněvadž není k dispozici dostatek kyslíku pro úplnou oxidaci na CO <sub>2</sub> .		Poněvadž je k dispozici dostatek kyslíku, oxiduje vznikající CO úplně na CO <sub>2</sub> .
Kysličník uhličitý (CO <sub>2</sub> )	S přibývajícím podílem kyslíku se oxidací na CO <sub>2</sub> snižuje obsah CO. Ve stejném měřítku stoupá koncentrace CO <sub>2</sub> . Tento proces je ukončen kolem λ = 1 a podíl CO <sub>2</sub> dosahuje svého maxima.		Obsah CO <sub>2</sub> při hodnotách nad λ = 1 opět ubývá, avšak nejenom chemickou reakcí, ale jako efekt ředění přibývajícím množstvím spalovacího vzduchu, který prakticky nepřivádí žádný CO <sub>2</sub> .
Kyslík (O <sub>2</sub> )	Kyslík (O <sub>2</sub> ) je spalování zcela spotřebován a ve spalinách není téměř nebo vůbec prokazatelný.		Při zvyšujícím se přísunu vzduchu stoupá podíl kyslíku ve spalinách. Přebývajícím vzduchem se spalovací proces ochlazuje a energetická efektivita zařízení klesá.

Výhody a nevýhody při nestechimickém spalování.

# Požadavky při seřizování kotlů

## Uvádění kotlových systémů do provozu

Kotlové systémy v průmyslových aplikacích zpravidla pracují v konstantním nepřetržitém provozu a kritická fáze najíždění kotlů se přiměřeně tomu vyskytuje zřídka. Proces rozběhu kotle se těžko reguluje, protože zapálení směsi vzduchu a paliva vede k náhlému zvětšení objemu plynu a tím k prudkému zvýšení tlaku ve spalovací komoře. Toto zvýšení tlaku nezpůsobuje jenom přesuvy objemu v plynovém a spalivém kanálu, ale vede také ke snížení tlaku ventilátoru a tím dopravovanému množství vzduchu.

Během rozběhu kotle jsou proto ve spalinách obsaženy větší množství kyslíčnicku uhelnatého, sazí a nespáleného paliva.

Zvláště kritickým se stává proces rozběhu kotle, když přesáhne rozběhový tlak maximální dosažitelný tlak ventilátoru. Při zesíleném poklesu spotřeby vzduchu se redukuje vyhořívání paliva a tím také tlak ve spalovací komoře. Při plném plném přísunu vzduchu, který poté opět nastane, zvýší se znovu spalování paliva a tlak v kotli - hořák pulzuje. Pro dosažení uspokojivého průběhu spuštění kotle jsou zpravidla zapotřebí úpravy na hořáku. Ty sahají od výměny trysky přes snížení výkonu hořáku až pro změnu dmyhadla.

Při dobře nastaveném průběhu spuštění nadměrné emise škodlivých látek zpravidla však rychle odezní, když spalovací zařízení přejde z fáze náběhu do normálního provozu.

## Optimalizace spalovacího procesu

### pomocí poměru vzduchu

Z úvah o spalovacím procesu ve všeobecné rovině a o poměru vzduchu ve speciální rovině se odvozují bezprostřední zadání měření a regulace pro servisního technika:

- Optimální poměr vzduchu a tím optimální poměr přívodu paliva a vzduchu jsou rozhodující pro zajištění velkého provozního rozsahu, stabilního plamene a nejlepší účinnosti při nejnižších emisích.
- Pro dosažení optimálního přísunu vzduchu musí být navzájem sladěn výkon ventilátoru, dmyhadla a vzduchové kanály a musí být pravidelně kontrolována jejich funkce.

Jak je možné poměr paliva a vzduchu do detailu optimálně nastavit, je různé v závislosti na výrobci kotle, typu paliva a schématu seřízení. Některé hořáky řídí množství vzduchu, které je do kotle přiváděno, jiné řídí množství paliva a další připouštějí nastavení obou parametrů. V každém případě je pro bezpečný a hospodárny provoz důležité znát přesné množství kyslíku v procesu.

# Efektivní seřízení hořáků a kotlů

## Analýza spalin s testo 340 a testo 350

Analyzátory spalin testo 340 a testo 350 měří pomocí svých senzorů všechny složky spalin, které jsou pro kompletní analýzu spalovacího procesu a pro optimální nastavení zařízení nezbytné. Díky integrovaným tlakovým senzorům

je možné měřit i další hodnoty, jako je spotřeba vzduchu, komínový tah nebo diferenční tlak mezi kotlem a místností. Oba modely se liší konstrukcí, vybavením a účelem použití:

**testo 340** je ruční přístroj pro efektivní servis při uvádění kotlů do provozu a jejich údržbě. Se 4 senzory - jedním senzorem  $O_2$  a třemi dalšími, libovolně volitelnými senzory pro  $CO$ ,  $CO_{low}$ ,  $NO$ ,  $NO_{low}$ ,  $NO_2$  a  $SO_2$  - se dají spolehlivě analyzovat všechny relevantní složky spalin a seřizovat spalovací proces tak, aby se dosáhlo co možná nejlepšího poměru přívodu paliva a vzduchu. Pomocí prodloužení hadice až na 7,8 m je možné komfortně zaregulovat všechny parametry i tehdy, je-li místo měření více vzdáleno od hořáku a přívodu vzduchu.

**testo 350** se skládá z kontrolní jednotky a z analyzačního boxu a s úpravnou plynou je prvotřídní volbou pro velmi přesná a trvalá měření spalin. Díky chladiči plynu, jímce kondenzátu a ředění splňuje systém analýzy spalin testo 350 v mnoha zemích předpoklady pro oficiální testování spalin. Je možné použít celkem 6 senzorů, které nabízejí další možnosti měření pro sirovodík ( $H_2S$ ), uhlovodíky ( $C_xH_y$ ) a kysličník uhličitý ( $CO_2$ ) pomocí nedispersní infračervené sensoriky (NDIR). Kontrolní jednotka a analyzační box jsou propojeny přes Bluetooth. Díky velkému dosahu může servisní technik sledovat všechny hodnoty analýzy nezávisle na místě měření. Okamžitě tak vidí, jaké dopad má jeho seřízení přívodu vzduchu nebo jak působí seřízení hořáku na emise spalovacího zařízení.

Analyzátor spalin  
testo 340 pro efektivní  
servisní měření



Systém analýzy spalin  
testo 350 pro velmi přesná  
měření emisí

### Skutečná měření $NO_x$

#### - zásadní pro správné seřízení hořáku

Emise oxidu dusíku jsou zásadní pro správné seřízení hořáku, kromě toho jsou zákonem přísně regulovány. Systém analýzy spalin testo 350 lze vybavit senzory  $NO$ ,  $NO_{low}$  a  $NO_2$  a navíc se o optimální úpravu plynu a vysokou přesnost měření postará integrovaná Peltierova úpravna plynu pro vysoušení, automatické čerpadlo kondenzátu a odběrové hadice s teflonovou vystělkou. Tím splňuje testo 350 předpoklady, které jsou kladeny při mnoha zákonem předepsaných měřeních.

### Měření NDIR- $CO_2$ - perfektní pro výrobu betonu, sklářskou výrobu, skleníkové plyny a mnoho dalšího

Při výrobě betonu, vápna, oceli nebo skla nepodává obsah  $CO_2$  pouze informaci o spalovacím procesu kotle, ale také o výrobním procesu a s ním spojené kvalitě produktu. Senzor  $CO_2$  u přístroje testo 350 určuje obsah kyslíčnicku uhličitýho pomocí nedispersní infračervené sensoriky (NDIR) a splňuje tím přísné požadavky, které musí měřicí přístroje při výrobě těchto materiálů splňovat. Díky vysoké přesnosti měření může být testo 350 nakonfigurované senzorem  $O_2$  a  $CO_2$  použit jako referenční měřicí přístroj NDIR.

### Vyhřívané nebo nevyhřívané hadice měřeného plynu a sondy?

Pro oba analyzátoře spalin jsou k dispozici hadice měřeného plynu a sondy ve vyhřívané a nevyhřívané variantě:

Nevyhřívané hadice měřeného plynu a sondy jsou díky kompaktní konstrukci, nízké hmotnosti a provozu bez externího napájení zvláště vhodné tehdy, mají-li se provádět krátkodobá měření na mnoha různých místech měření. Díky nepatrnému mrtvému objemu navíc analyzátoře spalin rychle reagují na změny měřených veličin.

Vyhřívané varianty jsou potom vždy volbou tehdy, když jsou vyžadovány zvláště vysoké přesnosti nebo když se mají

provádět dlouhodobá měření v délce mezi jedním dnem a několika měsíci. Protože je hadice měřeného plynu a sonda zahřívána na teplotu nad rosným bodem spalin, ukládají se prachové částice a kondenzát v cestách plynu ve zřetelně menším množství. Tím jsou i při dlouhodobých měřeních dosahovány vysoké přesnosti měření u  $\text{NO}_2$  a  $\text{SO}_2$ .

## Shrnutí

Při spalovacích procesech v kotlích je správný poměr paliva a vzduchu rozhodující pro hospodárny provoz ve shodě s normou. Pro dosažení co možná nejvyšší efektivity zařízení a pro zachování zákonem stanovených hraničních hodnot emisí pro oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), kysličník uhelnatý (CO) a kysličník uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) musí servisní technik pomocí seřizovacích možností zaregulovat na přívodu vzduchu, hořáku a odtahu spalin optimální poměr vzduchu.

Analyzátoře spalin testo 340 a testo 350 snímají všechny rozhodující složky spalin a dávají tím technikovi okamžitou zpětnou vazku na všechna jeho nastavení. Tím se dají provést rychle a spolehlivě všechna měření a zaregulování.



### Další informace na [testo.cz](http://testo.cz)

Další informace k analyzátořům spalin testo 340 a testo 350 a rovněž odpovědi na všechny Vaše dotazy k měření emisí na průmyslových hořácích získáte o našich odborníků a na [www.testo.cz](http://www.testo.cz)