

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



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

# Spalování paliv - Kotle

## Ing. Jan Andreovský Ph.D.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

# Kotle – Provoz kotle

- **Základní přístup k provozu kotle** – Základní přístup provozu kotle je možné shrnout do obecných pravidel. Provoz by měl být bezpečný, ve vymezených konstrukčních, provozních a legislativních hranicích, účinný a zároveň ohleduplný k životnosti zařízení a životnímu prostředí. Z hlediska využití je možné provoz kotle dělit pro trvalý provoz, sezónní provoz, záskokový provoz a špičkový provoz. Provoz kotle podléhá dle legislativy zejména kontrolám z hlediska stavu tlakových celků a z hlediska emisní zátěže. Kotel je vyhrazené tlakové zařízení Vyhláška č. 18/1979 Sb se všemi platnými změnami (kotle ve 4. třídách). Provoz kotle podléhá všeobecným provozním předpisům, provozním předpisům výrobce a především místnímu provoznímu předpisu.
- **Základní požadavky na obsluhu kotle** – obsluha kotle v častých případech významně ovlivňuje hospodárnost, bezpečnost a spolehlivost provozu kotle. Jejich činnost je kontrolního (operátor kotle) a správcovského (provozní technik, správce zařízení) charakteru a proto musí být jejich zásahy uvážené a správné. Obsluha kotle musí být plnoletá a musí:
  - vykazovat duševní a tělesnou způsobilost
  - být pro provoz kotle připravena jak teoreticky a prakticky pod odborným dozorem (platí u větších zdrojů).
  - být schopna prokázat teoretické a praktické znalosti přezkoušením.
  - prokazatelně obsluhovat kotel (po 5 letech pozbývá platnost)

Při splnění uvedených kritérií je držitelem tzv. topičského průkazu.

Pro kotle tř.4 (nízké výkony - pára do 0,5 t/h, plně automatizovaný provoz do 350kW, konstrukční přetlak do 0,3MPa a objem do 100l, průtočný do 100l) – postačuje prokazatelné poučení a zacvičení.

Obsluha kotle by měla dokonale znát obsluhované zařízení. Při montáži nového zařízení je vhodná účast budoucích obsluh. Dostatečně znát provozní předpisy obsluhovaného zařízení. Zároveň znát rizika provozovaného zařízení a umět poskytnout první pomoc.

# Kotle – Provoz kotle

- **Najíždění kotle** – najíždění kotle je při uvádění do provozu tzn. po realizaci nového kotle, po rekonstrukci, po montáži nových zařízení, po dlouhodobé odstávce (revizích) a nebo pouze po krátkodobém odstavení (teplá a studená záloha). Každý kotel může mít své specifické znaky najíždění, přesto některé úkony při najíždění se typově shodují. Najíždění (a odstavování kotle) trvá podstatně kratší dobu než provoz kotle, zároveň se však rychleji mění významné parametry kotle a je tedy kladen vyšší důraz na správnost a přesnost úkonů operátora. Nedodržením požadavků správné najížděčky se může výrazně snížit životnost kotle a případně ohrozit i bezpečnost provozu výroby. Pro minimalizaci chyb operátora se využívá automatická programová najížděčka. Při najíždění je možné využít vznikající páru o nižších parametrech v dalších provozních rozvodech. Najížděčka je většinou započítávána jako ztráta kotelny.
- V průběhu najíždění je nutné:
  - Chránit tlustostěnné části tlakového systému kotle před vznikem přídavných pnutí vlivem místních rozdílů teplot (vnitřní a vnější stěna). Izolace, termočlánky a trend najížděčky.
  - Kontrolovat podmínky pro vznik rosného bodu a tyto podmínky účinně omezovat – např. ohřívák vzduchu (obtok, nebo recirkulace spalin)
  - Zajistit plynulé napájení a odpouštění vody u ohříváků. Skokové napájení je nepříznivé neboť způsobuje kolísání výroby páry.
  - Ochránit při najíždění přehříváky – tzn. dokud ve výparníku nedosahuje voda teploty varu, neproudí přehřívákem pára a teplota spalin nesmí překročit 550°C. Po splnění podmínek se začíná generováním malého množství páry do 10%. Dále se může použít pára z cizího zdroje.
  - Před najížděním a během celého najíždění je nutné splnit tzv. blokace, které pomáhají ohlídat správnost postupu operátora a zároveň ochraňují zařízení před abnormálními stavů.
  - Speciálním případem najížděčky je pak najížděčka z horkého stavu.
  - První najíždění vykazuje další specifika - např., čištění

# Kotle – Provoz kotle

- **Odstavení kotle** – odstavení kotle může být plánované/nouzové a krátkodobé/dlouhodobé. Plánované odstavení se provádí po postupném snižování výkonu na minimální hodnotu a následným postupným vychlazováním příslušné technologie (hořáky, trysky, mlýny, lože). Při delší odstávce je nutné mít zlikvidovanou i zásobu paliva (uhlí, biomasa) v zásobníku (samovznícení, zápal atd.). Nouzové odstavení je při poruše a zde záleží na zkušenosti a rychlosti operátora (minimalizace ztrát). Krátkodobá odstávka cca 10h – je tzv. teplá záloha a některé operace najížd'ky jsou díky vyhřátí zrychleny. Odstávka v řádu dní je tzv. studená záloha. Při delší odstávce se kotle plní vodou a chrání proti korozi.
- **Obecné zásady odstavení:**
  - Chránit tlustostěnné části tlakového systému kotle před vznikem přídavných pnutí vlivem místních rozdílů teplot (vnitřní a vnější stěna). Izolace, termočlánky a trend ochlazování.
  - Zastavení přívodu tepla do kotle (vyjetí paliva)
  - Vyjede se a odstaví další cirkulující a přivádění tuhé hmoty (recirkulace popílků a aditiv)
  - Provede se čištění teplosměnných ploch (ofuky)
  - Odstavení vzduchových ventilátorů
  - Odstavení kouřových ventilátorů – přitom se kotel napájí
  - Odpojení od parní sítě
  - Chlazení kotle – vzduchem
  - Cca po 6h se může okruh odkalit
  - Při teplotě cca 70 až 120°C je možné kotle vypustit.
  - Kotel s vyhaslým ohništěm se po vychlazení a odstavení zajistí

# Kotle – Provoz kotle

- **Zálohování kotle** – Zálohování kotle je možné zejména ve výrobnách se sběrníkovým uspořádáním. Dle plánovaného provozu a dostatečné dostupnosti z hlediska počtu kotlů se určují kotle které budou provozovány, dále kotle (v přesném pořadí) které budou najety v případě havárie nebo poruchy, která způsobí odstavení kotle. Rozhodnutí o najetí kotle je záležitost která se rozhoduje variabilně podle situace. Zálohováním kotle je možné rozumět i např. špičkový zdroj nebo v případě dodávky tepla snížení dodávek kondenzační elektřiny na úkor spotřeby páry na redukčních stanicích.
- **Nálepy kotlů a opotřebení** – Nálepy kotlů jsou tuhé úsady na stěnách kotle a teplosměnných ploch, které výrazně zhoršují efektivitu přeměny tepla (ekonomii), spolehlivost provozu a životnost kotle. Nálepy a nánosy zhoršují přenos tepla tzn. do kotle je nutné dodávat více paliva v krajních případech není kotel schopen dosáhnout maximálního výkonu. Dále zvyšují zatížení ventilátorů (zhoršení aerodynamiky kotle) vlivem snížení průtočných průřezů a vlivem většího množství produkovaných spalin. Se zvýšeným průtokem spalin a sníženými průtočnými profily se zvyšuje abraze. Tvrdé nánosy jsou dále významné pro tvorbu korozního prostředí na teplosměnných plochách. Dochází k reakci např., oxidů síry s kondenzující vodní párou (oxidů vanadu – kapalná paliva), které intenzivně, někdy v řádu měsíců, snižují tloušťku teplosměnných ploch. Tvorbu nánosů ovlivňuje typ použitého spalovacího zařízení, složení popelovin v palivu a samotné palivo, průběh spalovacího procesu a aerodynamika kotle. Na tvorbu nálepů pak má vliv prvkové složení popelovin např. obsah Na, K, oxidy Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S, Ca atd., granulometrie paliva, významné teploty popelovin atd. Prvkové složení popelovin a jejich vzájemný poměr jsou dále určujícími faktory pro rheologické vlastnosti popelovin. Nálepy se tvoří s tuhou stmelěnou vrstevnatou strukturou nebo sypké. Významné postavení z hlediska nálepů a paliva má spalování vybraných druhů biomasy a odpadů (vysoký obsah chlóru ve spalinách)



# Kotle – Provoz kotle

- Nálepy kotlů



# Kotle – Provoz kotle

- **Účinnost kotle a provozní účinnost**
- Účinnost vyjadřuje poměr mezi získanou energií z kotle a přivedenou do kotle tzn. poměr mezi výkonem a příkonem. Příkon je vždy energie obsažená v palivu a výkon je energie vyvedená ve vodě nebo páře.

$$\eta_k = \frac{P_v}{P_p}$$

- **Přímá metoda** – využitelná především u kapalných a plyných paliv s nízkým přebytkem vzduchu.

$$P_p = \dot{m}_p \cdot Q_i^r \text{ [kW]}$$

kde  $\dot{m}_p$  [kg/s] je množství paliva

$Q_i^r$  [kJ/kg] je výhřevnost paliva

a

$$P_v = \dot{m}_v \cdot \Delta i \text{ [kW]}$$

kde  $\dot{m}_v$  [kg/s] je množství výstupní látky (voda, pára)

$\Delta i$  [kJ/kg] je rozdíl entalpie na výstupu a kondenzátu

Zanedbává se citelné teplo paliva a spalovacího vzduchu

# Kotle – Provoz kotle

- **Účinnost kotle a provozní účinnost**
- Účinnost vyjadřuje poměr mezi získanou energií z kotle a přivedenou do kotle tzn. poměr mezi výkonem a příkonem. Příkon je vždy energie obsažená v palivu a výkon je energie vyvedená ve vodě nebo páře.

$$\eta_k = \frac{P_v}{P_p}$$

- **Nepřímá metoda** – využitelná především velkých spalovacích zařízení

kde  $\sum_1^i Z_i [\text{kW}]$  je celková ztráta kotle  $P_v = P_p - \sum_1^i Z_i [\text{kW}]$

Nebo obvykleji vyjádřeno poměrným způsobem

kde  $\sum_1^i \xi_i$  je celková poměrná ztráta kotle  $\eta_k = 1 - \sum_1^i \xi_i$

- Poměrná ztráta (resp. ztráta) kotle je složena z několika ztrát kotle. Jedná se o ztráty:
  - Ztráta komínová (ztráta citelným teplem spalin) – teplo které odchází výduchem – největší ztráta většinou
  - Ztráta chemickým nedopalem – ztráta hořlavou složkou ve spalinách
  - Ztráta mechanickým nedopalem – ztráta hořlavou složkou v tuhém zbytku
  - Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků – teplo které odchází v tuhých zbytcích
  - Ztráta sdílením tepla do okolí – předáno povrchem

spal. zařízení do okolí



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)



# Kotle – Provoz kotle

- **Účinnost kotle a provozní účinnost**
- Stanovení účinnosti kotle je určeno příslušnou normou. Významným požadavkem normy je měření účinnosti ve stabilním (kvazistacionárním) stavu, který v reálném provozu nemá dominantní zastoupení.
- **Provozní účinnost** – je v podstatě stanovení účinnosti stejným fyzikálním přístupem jako předepisuje norma tzn. určení jednotlivých ztrát (v případě nepřímé metody), ale hodnoty jsou vyhodnoceny v dalším časovém období tzv. bilanční období (většinou jeden měsíc). V průběhu bilančního období je kotel provozován dle potřeb a hodnoty nezbytné pro stanovení jednotlivých ztrát mají svůj jasný plán odečtu (denně, týdně, kontinuálně s historizací) případně jsou určeny z referenčního měření. Provozní účinnost je tedy hodnota (veličina), při které není dodržen kvazistacionární stav kotle, přesto má uvedená provozní účinnost vypovídající hodnotu, neboť zohledňuje skutečný provoz včetně vlivu operátora.
- **Provozní evidence** – jedná se o evidenci hmotových toků výroby (kotle) a vstupních a výstupních kvalit přijímaných a dodávaných produktů. Provozní evidence mají nastaven jasný mechanismus pravidelného (případně výjimečného) plnění jako je např.:
  - Interval vzorkování paliv, aditiv a popelovin
  - Evidence příjmu a časových změn paliva, aditiv, náplní.
  - Evidence a monitoring emisí a produkováných popelovin, odpadů.
  - Evidence provozních časů
  - Evidence a monitoring kvality a kvantity vyráběných produktů

# Kotle – Provoz kotle

## Provozní stavy kotle (kotelny) – Emise a základní nepřímá indikace možných zhoršení emisních ukazatelů

- V rámci provozních stavů kotle může dojít ke zhoršujícím změnám v produkci emisí. Některé provozní stavy jsou nutné z technologického hlediska a nelze je odstranit. Stejně tak existují provozní stavy zdroje, které jsou krátkodobého charakteru a jejich minimalizaci lze ovlivnit na zdroji jen minimálně. Základní přístup pro hodnocení a indikaci zhoršení emisních ukazatelů je v porovnání emisních ukazatelů dvou obdobných provozních stavů. Přehledový souhrn provozních stavů které mohou souviset se změnou emisí.
  - Najíždění kotle (najížděcí palivo, vlastní nastavení spalovacího procesu), odstavení kotle, rychlé odstavení kotle, porucha.
  - Provozní stavy vyžádané regulací zdroje (více modul č.2) – regulace výkonu kotelny, regulace výkonu celého zdroje.
  - Provozní stavy způsobené zhoršenou kvalitou paliva – např. vysoký obsah vlhkosti.
  - Poruchy – výpadek nebo porucha významné technologie. Částečný charakter poruchy může být i tvorba nálepů

### Základní přímá indikace na zdroji

- Porovnání emisí dvou obdobných stacionárních stavů – příčiny mohou být vysoce variabilní např. změna nastavení spalovacího procesu, změna paliva apod.
- Standardizované měření účinnosti kotle

# Kotle – Provoz kotle

## Provozní stavy kotle (kotelny) – Emise a základní nepřímá indikace možných zhoršení emisních ukazatelů

- Základní nepřímá indikace na zdroji
  - Porovnání významných provozních parametrů spalin kotle – např. teploty po spalovací komoře (nesouměrnost teplotních profilů, jiné rozložení po výšce), obsah úrovně kyslíku, zatížení dávkování paliva. Indikace – změna nastavení spalovacího procesu palivo/vzduch, nezjištěnou poruchu na kotli, změna operátora (pravidelný cyklus).
  - Porovnání významných provozních parametrů kotle na výstupu – např. nedosažení, kolísání nebo přesáhnutí teplot na výstupu, výstupního nebo vstupního tlaku, výkonu kotle, zatížení dávkování paliva. Indikace – změna nastavení spalovacího procesu palivo/vzduch, nezjištěnou poruchu na kotli, zhoršení předání tepla a chlazení spalovací komory, nevhodné nebo nadlimitní zatížení od spotřebiče nebo zdroje, změna operátora (pravidelný cyklus).
  - Porovnání četnosti poruch – časté a opakované výpadky významné (pomocné) technologie. Provoz pomocných technologií na úrovni limitních hodnot. Zvýšené počty regenerativních zásahů. Zápisy provozních deníků. Indikace - možné překročení limitů, změna paliva nebo jeho nedostatečná příprava nestabilní provoz spalovacího procesu.
  - Porovnání provozních účinností – změna ukazatelů ve vyhodnocení účinnosti kotle. Indikace – změna nastavení spalovacího procesu palivo/vzduch, změna paliva nebo jeho nedostatečná příprava, nezjištěná dlouhodobá porucha na kotli, nevhodné nebo nadlimitní zatížení od spotřebiče nebo zdroje, jiná chyba.

# Kotle – Kategorizace vybraných zdrojů znečišťování

- **Základní dělení zdrojů dle legislativy** – dle zákona 201/2012.
- Zdroje stacionární/mobilní
  - Mobilní zdroje - Samohybná, pohyblivá přenosná zařízení se spalovacími motory
    - Silniční vozidla, plavidla, dopravní prostředky, drážní vozidla a stroje.
    - Nesilniční mobilní stroje - přemístitelné (kompresory, dozery atd.)
    - Přenosná nářadí (Sekačky atd.)
  - Stacionární zdroj – zařízení spalovacího nebo jiného procesu, které znečišťuje může znečistit ovzduší (lom, šachta, skládka, atd.)
    - Podle technologie – spalovací s oxidací paliva/spalovny/ostatní stacionární zdroje
    - Spalovací zdroje se dělí podle celkového jmenovitého tepelného příkonu
      - Zdroj nad 300 MW(t)
      - Zdroj v rozsahu 100 MW(t) až 300 MW(t)
      - Zdroj v rozsahu 50 MW(t) až 100 MW(t)
      - Zdroj v rozsahu 5 MW(t) až 50 MW(t)
      - Zdroj v rozsahu 1MW(t) až 5 MW(t)
      - Zdroj v rozsahu 0,3MW(t) až 1 MW(t)
      - Zdroj v rozsahu pod 0,3MW(t)

# Kotle – Kategorizace vybraných zdrojů znečišťování

- **Základní dělení zdrojů dle legislativy** – dle zákona 201/2012
- Z platné legislativy plynou požadavky na provozovatele stacionárních zdrojů např.:
  - Provozovat a uvádět do provozu v souladu s podmínkami pro provoz, dle zákona 201/2012 a v souladu s podmínkami výrobce.
  - Dodržovat emisní limity, stropy, tmavost kouře, obtěžování zápachem, zjišťovat množství vypouštěných znečišťujících látek atd.
  - Plnit pokyny pro zjednání nápravy
  - Zpracovat, vést, uchovat a předat provozní evidenci
  - Bezodkladné odstranění nebezpečných stavů ohrožující kvalitu ovzduší, podat zprávu, odstavit zdroj.
  - Plnit povinnosti regulace
  - Zajistit a řádně provozovat kontinuální měření emisí
  - Umožnit inspekční kontroly
  - Zdroje 10 – 300kW – provádět revize stavu a provozu 1x 2 roky, na vyžádání předložit úřadu s rozšířenou působností doklad.
  - Atd.
- **Emisní monitoring** – dle zákona 201/2012 a předpis č. 415/2012
  - Požadavky legislativní:
    - Měření se zjišťují emise znečišťujících látek nebo jejich stanovených skupin, pro něž má daný zdroj stanoveny specifické emisní limity.

# Kotle – Kategorizace vybraných zdrojů znečišťování

- **Emisní monitoring** – dle zákona 201/2012 a předpis č. 415/2012
  - Požadavky legislativní:
    - Měření emisí znečišťujících látek se provádí v místě za kterým již nedochází ke změně složení odpadních a je přesně definováno obsahem srovnávací složky, nejčastěji kyslíku tak, aby výsledky měření byly porovnatelné s hodnotami emisních limitů. Hodnota znečištění se zjišťuje na každému výduchu zdroje pokud není stanoveno jinak.
    - Od měření emisí znečišťujících látek lze upustit a emise zjišťovat výpočtem v případech (měření neodráží správný tech. stav nebo špičkový zdroj)
    - Další výjimky - kapalná paliva (bez TZL, garance síry)
    - Jednorázová měření – ručně, každého zdroje, záměna paliva, uvedení do provozu, po trvalém zásahu do zdroje které může vést ke změně emisí. Stacionární zdroj nad 50MW(t) (těžké kovy, dioxiny, furany, polychlorované bifenyly PCB, PAH)
    - Předpis kontinuálního měření – výčet podmínek např. emisní úroveň dosahována úpravou technologie řízení nebo zařízením k čištění plynu atd.
    - Předpis kontinuálního měření – stacionární zdroj nad 50MW(t) (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, TZL), výjimka u zemního plynu (bez TZL a SO<sub>2</sub>).



# Kotle – Kategorizace vybraných zdrojů znečišťování

- **Emisní monitoring** – dle zákona 201/2012 a předpis č. 415/2012
  - Provozní požadavky evidence:
    - Online monitoring – aktuální hodnoty operátor, správce a odpovědné osoby.
    - Denní hodnocení, Měsíční vyhodnocení a roční vyhodnocení.
    - K dispozici v místě zdroje pro kontrolní orgány. Roční evidence do integ. systému plnění ohlašovacích povinností v oboru ŽP.
    - Zálohování dat a měřicího a vyhodnocovacího systému. Historizace. (Při překročení tisk)
    - Systém automatického vyhodnocení + služba trvalého pravidelného servisu
    - Autorizovaná měřicí skupina provádí pravidelné ověření správnosti konti měřených dat.
    - Autorizovaná měřicí skupina provádí zákonem stanovené jednorázové měření - 1x/rok, 1x/3roky (do 50MWt), 2x/rok (nad 50MWt), nebo při zásahu do systému.