

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



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

# Spalování paliv - Kotle

## Ing. Jan Andreovský Ph.D.



evropský  
sociální  
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

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

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Obecné informace k BAT (BREF) –** ve smyslu „Integrovaná prevence a omezování znečištění o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení (Referenční dokument)“.
  - Dokument je především specifikovaný pro konvenční paliva (dostupná na trhu). Obecně BAT technologie spalování jsou v podstatě všechny významné technologie tzn. práškové, fluidní roštové spalování a spalování kapalných, plyných paliv v kotlích, spalovacích turbínách a motorech.
  - **„Výběr systému kterého se u zařízení použije se zakládá na ekonomických, technických, místních a životní prostředí zohledňujících podmínkách, stejně jako na dostupnosti paliv, požadavcích provozu, okolnostech trhu a potřebách sítě.“** - Což je jedno z nejvýznamnějších a rozumných ustanovení dokumentu.
  - **„Je však třeba zdůraznit, že dokument nenavrhuje hodnoty emisních limitů. Stanovení přiměřených podmínek pro povolení musí zohlednit místní, pro dané místo specifické faktory jako jsou technické charakteristiky dotyčného zařízení, jeho geografická poloha a místní podmínky životního prostředí. V případě stávajících zařízení je při jejich modernizaci třeba vzít v úvahu rovněž ekonomickou a technickou realizovatelnost. Dokonce i samotný cíl zajištění vysoké úrovně ochrany životního prostředí jako celku bude často při posuzování různého typu dopadů na životní prostředí kompromisem a takové posudky budou často ovlivňovat i místní okolnosti.“**
  - Dokument uvádí i míru shody – pro dokument je obecně velká podpora přesto uvedená data a hranice (limity) především emisí a účinností spalování jsou rozporovány průmyslem a některými členskými státy.

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Obecné informace k BAT (BREF) –** ve smyslu Integrovaná prevence a omezování znečištění o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení (Referenční dokument).
  - BAT se ve vztahu k provozu spalovacího zdroje poskytuje cenné informace o řešení příprav, úprav, manipulace paliva pro stabilní spalovací proces – nutno správně chápat svázanost procesu.
  - Obdobné souhrnné dokumenty jsou vydávány na území států severní Ameriky (USA a Kanada)
  - Dle směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích budou vytvořeny tzv. „závěry o BAT“ jejichž cílem je minimalizovat nerovnováhu a stanovit nejlepší dostupné techniky. Závěry budou vypracovány na základě informací zúčastněných subjektů, jejich přezkoumání a vyhodnocení komisí. Aktualizované závěry by měli opět sloužit jako základní referenční podklad pro stanovení podmínek.
  - Aktuální dokument BREF pro velké spalovací zařízení je z roku 2006. V roce 2011 byla zahájena jeho revize.
- **Výběr významných základních způsobů metod snížení emisí na kotli (ve smyslu BAT)**
  - Primární opatření – modifikace spalování a změna paliva
  - TZL – Elektrostatický odlučovač (mokrý, suchý), tkaninový filtr, odstředivý odlučovač, mokrý absorbér
  - SO<sub>2</sub> – Primární metody, sekundární opatření,
  - NO<sub>x</sub> – Primární metody, sekundární opatření.
  - CO – Primární metody (zlepšení procesu spalování)
  - Dále jsou uvedeny a známy techniky pro snížení, těžkých kovů, CO<sub>2</sub>, hluku apod.

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Výběr významných základních způsobů metod snížení emisí na kotli (ve smyslu BAT)**
  - **Primární opatření** – modifikace spalování, je vždy v přímé souvislosti s produkcí SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a CO
    - Snížení výkonu
    - Modifikace hořáků
    - Modifikace spalování uvnitř topeniště
    - Modifikace vzduchu a paliva (recirkulace, jiný způsob směšování, aditiva, promísení paliv, sušení, mletí paliva, apod.)
  - **Primární opatření** – snížení SO<sub>2</sub>
    - Změna paliva – nízkosirné
    - Využití adsorbentu ve spalovacím procesu – injekce do ohniště
  - **Primární opatření** – snížení NO<sub>x</sub>
    - Nízký přebytek vzduchu
    - Odstupňování vzduchu
    - Recirkulace spalin
    - Omezený ohřev vzduchu
    - Odstupňování paliva

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Výběr významných základních způsobů metod snížení emisí na kotli (ve smyslu BAT)**
  - **Sekundární opatření – snížení SO<sub>2</sub>**
    - mokré pračky,
    - rozprašovací sušárna,
    - injektáž sorbentu,
    - suché reaktory
    - regenerativní proces,
    - kombinované metody (kombinace odstranění dvou emisních zátěží)
    - atd.
  - **Sekundární opatření – snížení NO<sub>x</sub>**
    - SNCR
    - SCR
    - kombinované metody

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Základní přehled provozních úrovně emisní koncentrace pro současné technologie spalování – bez cílené aplikace BAT**
  - Uvedeny jsou hodnoty, které je možné běžným provozem dosahovat a jejich charakter je informativní. Hodnoty budou silně závislé na reálných provozních, konstrukčních a technologických podmínkách jednotlivých zdrojů. Současné limity emisních koncentrací ČR stanovené pro jednotlivé typy zařízení jsou vhodným ukazatelem hodnot emisních koncentrací dosažitelných v současném stavu technologického vybavení.

| Velké a zvlášť velké zdroje | Technika spalování  |  | Hladina koncentrace emisí      |                            |                    |                    |
|-----------------------------|---------------------|--|--------------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
|                             |                     |  | SO <sub>2</sub> <sup>***</sup> | NO <sub>x</sub>            | TZL                | CO                 |
|                             |                     |  | mg/Nm <sup>3</sup>             | mg/Nm <sup>3</sup>         | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> |
|                             | Plynová ohniště     |  | 25 - 900                       | 240 - 1400 <sup>****</sup> | 5 - 50             | 50 - 100           |
|                             | Kapalná ohniště     |  | 850 - 1500                     | 500 - 1700                 | 10 - 50            | 50 - 175           |
|                             | Rošťová             |  | 1500                           | 500 - 1700                 | 50 - 150           | 50 - 300           |
|                             | Granulační          |  | 500 - 1500 <sup>***</sup>      | 500 - 1700 <sup>**</sup>   | 50 - 150           | 50 - 175           |
|                             | Výtavná             |  | 500 - 1500 <sup>***</sup>      | 1600 - 2000 <sup>*</sup>   | 30 - 100           | 50 - 175           |
|                             | Stacionární fluidní |  | 500 - 1500                     | 200 - 500                  | 30 - 100           | 30 - 200           |
|                             | Cirkofluidní        |  | 400 - 500                      | 50 - 400                   | 10 - 100           | 30 - 150           |

\* limit ČR 1100 mg/Nm<sup>3</sup>

\*\* limit ČR 650 mg/Nm<sup>3</sup>

\*\*\* v případě že není aplikováno odsíření, známy jsou i případy cca 2500 - 3000 mg/Nm<sup>3</sup>

\*\*\*\* limit ČR je 300 NO<sub>2</sub>

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- BAT snížení emisí SO<sub>2</sub>

| výkon (MW <sub>tep</sub> ) | technika spalování | hladina emisí SO <sub>2</sub> spojená s BAT (mg/Nm <sup>3</sup> ) |                       | možnosti volby BAT k dosažení těchto hladin  | použitelnost              | monitoring  |
|----------------------------|--------------------|---|-----------------------|--|---------------------------|-------------|
|                            |                    | nová zařízení   | stávající zařízení    |  |                           |             |
| 50-100                     | GF                 | 200-400   | 200-400               | nízkosírné palivo nebo FGD (sds)   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                            | PC                 | 200-400 <sup>1</sup>  | 200-400 <sup>2</sup>  | nízkosírné palivo FGD (dsi) nebo FGD (sds)   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                            | CFBC a PFBC        | 150-400 <sup>3</sup>  | 150-400 <sup>4</sup>  | nízkosírné palivo injektáž vápence   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                            | BFBC               | 150-400 <sup>5</sup>  | 150-400 <sup>6</sup>  | nízkosírné palivo, FGD (dsi) a FGD (sds)   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
| 100-300                    | PC                 | 100-200   | 100-250 <sup>7</sup>  | nízkosírné palivo FGD (wet), FGD (sds), FGD (dsi až asi do 200 MW <sub>tep</sub> ), vypírání mořskou vodou, kombi. techniky ke snížení NOx a SO <sub>2</sub> | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                            | CFBC a PFBC        | 100-200   | 100-250 <sup>8</sup>  | nízkosírné palivo injektáž vápence   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                            | BFBC               | 100-200   | 100-250 <sup>9</sup>  | nízkosírné palivo FGD (wet), FGD (sds)   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
| > 300                      | PC                 | 20-150 <sup>10</sup>  | 20-200 <sup>11</sup>  | nízkosírné palivo, FGD (wet), FGD (sds), vypírání mořskou vodou, kombinované techniky ke snížení NOx a SO <sub>2</sub>                                       | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                            | CFBC a PFBC        | 100-200   | 100-200 <sup>12</sup> | nízkosírné palivo injektáž vápence   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                            | BFBC               | 20-150  | 20-200 <sup>13</sup>  | nízkosírné palivo FGD (wet)  | nová i stávající zařízení | kontinuální |

Vždy s poznámkou, která navyšuje horní hranice nebo upozorňuje, že plnění (limit) musí být dáno rozumným kompromisem mezi technickým opatřením, ekonomikou investice a provozu a dosažitelností opatření (např. dosažitelnost nízkosírných paliv).

#### Vysvětlivky:

GF: spalování na roštu

PC: spalování prachového paliva

CFBC: spalování v cirkulujícím fluidním loži

FGD (wet): mokré odsiřování spalin

FGD (dsi): odsiřování spalin injektáží suchého sorbentu

BFBC: spalování ve stacionárním fluidním loži

PFBC: spalování v tlakovém fluidním loži

**FGD (sds): odsiřování spalin v rozprašovací sušárně**



# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- BAT snížení emisí NO<sub>x</sub>

| výkon (MW <sub>t</sub> ) | technika spalování | hladina emisí NO <sub>x</sub> spojená s BAT (mg/Nm <sup>3</sup> ) |                      | palivo             | možnosti volby BAT pro dosažení těchto hladin  | použitelnost              | monitoring  |
|--------------------------|--------------------|---|----------------------|--------------------|--|---------------------------|-------------|
|                          |                    | nová zařízení   | stávající zařízení   |                    |  |                           |             |
| 50-100                   | GF                 | 200-300   | 200-300 <sup>1</sup> | černé a hnědé uhlí | primární opatření a nebo SNCR  | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                          | PC                 | 90-300 <sup>2</sup>   | 90-300 <sup>3</sup>  | černé uhlí         | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva, nízkoemisní hořáky atd.); SNCR či SCR jako přidáv. opatření                       | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                          | BFBC, CFBC a PFBC  | 200-300   | 200-300              | černé a hnědé uhlí | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva)   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
| 100-300                  | PC                 | 90 <sup>4</sup> -200  | 90-200 <sup>5</sup>  | černé uhlí         | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva, nízkoemisní hořáky, dospalování atd); v kombinaci s SCR nebo kombinované techniky | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                          | PC                 | 100-200   | 100-200 <sup>6</sup> | hnědé uhlí         | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva, nízkoemisní hořáky, dospalování atd);   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|                          | BFBC, CFBC a PFBC  | 100-200   | 100-200 <sup>7</sup> | černé a hnědé uhlí | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva), příp. spol. s SNCR   | nová i stávající zařízení | kontinuální |

Vždy s poznámkou, která navyšuje horní hranice nebo upozorňuje, že plnění (limit) musí být dáno rozumným kompromisem mezi technickým opatřením, ekonomikou investice a provozu a dosažitelností opatření.

- BAT snížení emisí CO

Na hnědém uhlí prakticky pouze primárním způsobem – hodnoty do 200mg/m<sup>3</sup>.

Vysvětlivky: GF=spalování na roštu ; PC=spalování práškového paliva; Pm= primární opatření; BFBC= fluidní spalování ve stacionárním loži; CFBC=fluidní spalování v cirkulujícím loži; PFBC= tlakové fluidní spalování

SNCR= selektivní nekatalytická redukce; SCR= selektivní katalytická redukce;

Použití antracitového černého uhlí vede k vyšším emisím NO<sub>x</sub> kvůli vysokým teplotám spalování.



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



# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

## • BAT snížení emisí NO<sub>x</sub>

|      |                   |                     |                      |                    |  |                           |             |
|------|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--|---------------------------|-------------|
| >300 | PC                | 90-150              | 90-200 <sup>8</sup>  | černé uhlí         | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva, nízkoemisní hořáky dospalování atd); v kombi s SCR nebo kombi. techniky | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|      | PC                | 50-200 <sup>9</sup> | 50-200 <sup>10</sup> | hnědé uhlí         | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva, nízkoemisní hořáky, dospalování atd.)                                   | nová i stávající zařízení | kontinuální |
|      | BFBC, CFBC a PFBC | 50-150              | 50-200 <sup>11</sup> | černé a hnědé uhlí | kombinace Pm (např. odstupňování vzduchu a paliva)   | nová i stávající zařízení | Kontinuální |

Vysvětlivky: GF=spalování na roštu ; PC=spalování práškového paliva; Pm= primární opatření;  
 BFBC= fluidní spalování ve stacionárním loži; CFBC=fluidní spalování v cirkulujícím loži; PFBC= tlakové fluidní spalování  
 SNCR= selektivní nekatalytická redukce; SCR= selektivní katalytická redukce;  
 Použití antracitového černého uhlí vede k vyšším emisím NOx kvůli vysokým teplotám spalování.

Vždy s poznámkou, která navyšuje horní hranice nebo upozorňuje, že plnění (limit) musí být dáno rozumným kompromisem mezi technickým opatřením, ekonomikou investice a provozu a dosažitelností opatření.

## • BAT snížení emisí CO

Na hnědém uhlí prakticky pouze primárním způsobem – hodnoty do 200mg/m<sup>3</sup>.

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- BAT snížení emisí TZL

| výkon<br>MW <sub>tep.</sub> | hladina emisí<br>prachu<br><br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) |                       | BAT pro<br>dosažení těchto<br>hladin  | monitoring  | použitelnost<br>na zařízení | připomínky  |
|-----------------------------|--|-----------------------|---|-------------|-----------------------------|---|
|                             | nová<br>zařízení                                     | stávající<br>zařízení |   |             |                             |   |
| 50-100                      | 5-20 <sup>1</sup>                                    | 5-30 <sup>2</sup>     | ESP/TF  | kontinuální | nová i<br>stávající         | Snížení podílu<br>prachu vlivem<br>ESP je 99,5 %<br>nebo vyšší  |
| 100-300                     | 5-20 <sup>3</sup>                                    | 5-25 <sup>4</sup>     | ESP/TF u PC<br>v kombinaci<br>s odsiřováním<br>spalin (mokrou,<br>suchou nebo<br>polosuchou<br>metodou);<br>ESP nebo TF<br>pro CFBC | kontinuální | nová i<br>stávající         | Snížení podílu<br>prachu s TF je<br>99,95 % a vyšší   |
| >300                        | 5-10 <sup>5</sup>                                    | 5-20 <sup>6</sup>     | ESP/TF pro PC<br>v kombinaci<br>s mokřým<br>odsiřováním;  | kontinuální | nová i<br>stávající         | snížení podílu<br>prachu s ESP je<br>99,5 % nebo<br>vyšší;  |
|                             | 5-20 <sup>5</sup>                                    | 5-20 <sup>6</sup>     | ESP nebo TF<br>pro CFBC   |             |                             | snížení podílu<br>prachu s TF je<br>99,95 % nebo<br>vyšší;<br>mokrá pračka pro<br>odsiřování spalin<br>rovněž odlučuje<br>prach |

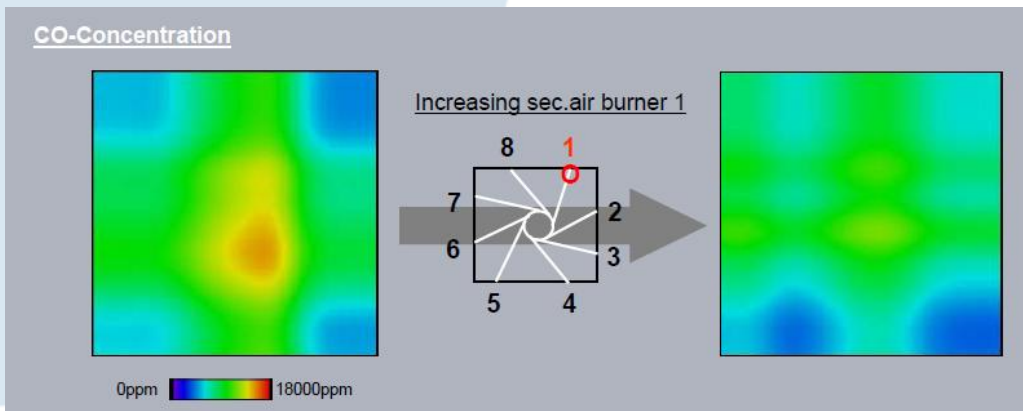
Vždy s poznámkou, která navyšuje horní hranice nebo upozorňuje, že plnění (limit) musí být dáno rozumným kompromisem mezi technickým opatřením, ekonomikou investice a provozu a dosažitelností opatření.

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Provozní zkušenosti**

- Implementací nadřazeného řídicího systému s výpočtovým online modelem na spalovací proces, který zajišťuje více kriteriální kontrolu a nastavení akčních členů spalovacího systému a zároveň vyrovnává průběh spalovacího procesu je možné dosáhnout snížení v  $\text{NO}_x$  cca od 8%. Snížení  $\text{NO}_x$  je především statistického charakteru tzn. nelze jednoznačně dodržet limit, ale celkový průběžný provoz poskytuje nižší dlouhodobé koncentrace.
- Nadřazené řídicí systémy, v případě rozumných investičních nároků, je možné spojovat s vhodným monitorovacím zařízením rozložení koncentrací vybraných emisí a kyslíku ve spalovacím procesu. Monitorovací zařízení je většinou bezkontaktního charakteru a mapuje rozložení ve vybraných významných rovinách kotle.

Příklad využití monitorování spalovacího procesu – koncentrace CO



# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Provozní zkušenosti**

- Implementace metody SNCR vykazuje využitelnost i v případě použití na stacionárních fluidních kotlích. Metoda obecně nevykazuje nutnost několika úroňového vstřikování, ale vhodné je dostatečné plošné, celoprůřezové vstřikování v jedné optimální úrovni. Poměrné čpavkové skluzy na 1mg snížení  $\text{NO}_x$  u dané metody bývají obecně vyšší než u práškových kotlů, naproti tomu výsledná absolutní hodnota čpavkového skluzu nemusí být nutně větší, neboť emisní koncentrace  $\text{NO}_x$  fluidních kotlů jsou zpravidla nižší. Vhodnější je použití redukčních činidel na bázi technické močoviny nesené vodním rozstříkem, mají delší reakci tzn. více v prostoru. Metody dávkování čpavku vykazují okamžitou reaktivnost u stěn tzn. nižší průraznost do prostoru.
- Sekundární dočištění spalin  $\text{SO}_2$  pomocí vysoce reaktivních hydrátů vápence je vhodné především pro zdroje, které nemají v současnosti aplikován žádný systém odsíření. Metoda je závislá na optimální teplotě, měrném povrchu sorbentu a především na době zdržení hydrátu ve spalinách. Vhodně se kombinuje dávkování do spalin od teplot cca 220°C do 110°C a případný záchyt na látkových filtrech. Při neodsířeném stavu spalin je možné dosáhnout účinnosti odsíření cca 30 – 40%. V případě již odsířených spalin je účinnost metody do 10% (při výrazně vyšším provozním nákladu).
- Metoda SCR vykazuje především problémy v nutnosti vestavby nebo dodatečné vestavbě s dohřevem spalin – nutnost dodržení optimálních teplot. Vývoj katalytických metod v současnosti nabízí řešení, které je možné funkčně instalovat jako poslední díl před komínem (tzv. tail end), přesto životnost řešení a investiční náklad se pohybuje pro obvyklého investora a provozovatele v nereálných číslech.

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Provozní zkušenosti – alternativní přístupy**

- Jedním z alternativních přístupů může být částečná náhrada paliva za biomasu tzv. směsné spalování. Dochází především ke snížení produkce SO<sub>2</sub> a produkce popelovin. V některých případech může dojít i k zlepšení jakosti spalované směsi. Spoluspalování především pelet je výhodné z hlediska minima investic do zauhlovacích technologií. Dílčí investice jsou nutné na zauhlovacích trasách pro dopravu štěrky. Práškové kotle mohou výhodně využít pouze drtě z agroproduktů. Pro poměr směsi a biomasy existuje optimum tzn. nelze bez zásahů do kotle a technologií neúměrně navyšovat podíl biomasy. Při zvyšujícím se podílu biomasy se mění charakter spalovacího procesu, jako prvotní indikace je možné registrovat navýšení právě NO<sub>x</sub> a CO spalovacího procesu oproti čistému spalování uhlí. Dále jsou známy případy, kdy složení biomasy nepříznivě ovlivňuje suchý odsiřovací proces a tedy předpokládaná úspora aditiva a povolenek vlivem nižší obsah vstupní síry v palivu nenastane.

# Kotle – Metody a možnosti snížení emisní zátěže

- **Přehled obvyklých parametrů a měrných investičních náročností technologií.**
  - Úrovně investičních nákladů a dosažitelností limitu jsou rámcové a jsou obecně závislé na mnoha parametrech. Uvedená data jsou platná zejména pro technologie, jejichž navazující zařízení bylo primárně přizpůsobeno pro uvedenou technologii.

| <b>Technologie</b>                           | <b>Účinnost [%]</b> | <b>Limit [mg/Nm<sup>3</sup>]</b> | <b>Investiční náklad [CZK/kWhe]</b> |
|--|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Primární metody denitrif. (NO <sub>x</sub> ) | 30 - 80             | 100 - 400                        | 200 – 1500                          |
| Reburning                                    | 30 - 60             | 100 - 300                        | 250 - 1000                          |
| Nízkoemisní hořáky                           | 40 - 80             | 100 - 300                        | 650 - 1500                          |
| Nízkoemisní hořáky +<br>odstupňování vzduchu | 50 - 80             | 100 - 300                        | 750 - 1800                          |