



Ochrana ovzduší

Emise z kotelen a ochrana ovzduší

*Doc. Ing. Jiří HEMERKA, CSc,
Doc. Ing. František HRDLIČKA, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní*

Recenzent Ing. Stanislav Toman

Vydala Společnost pro techniku prostředí
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

duben 2004

© Společnost pro techniku prostředí

Emise z kotlen a ochrana ovzduší

Článek podává obsáhlou, komplexní informaci o současné legislativě v ochraně ovzduší ve vztahu k stacionárním zdrojům znečišťování. Přínosné jsou popisy mechanismu vzniku hlavních znečišťujících látek a jejich působení na ovzduší a zdraví člověka. Přímé praktické využití zde naleznou projektanti a provozovatelé kotlů. V článku jsou uvedeny potřebné výpočtové vztahy včetně konkrétních příkladů, které mohou sloužit pro výpočty ročních emisí, poplatků za znečišťování, předpokládaných koncentrací sledovaných znečišťujících látek a jejich porovnání s předepsanými emisními limity. Důležité jsou informace o nových povinnostech provozovatelů zdrojů znečišťování a to včetně malých kotlů. Formou kritických a věcných poznámek je upozorněno na některé legislativní nedostatky.

Klíčová slova: ochrana ovzduší, stacionární zdroje znečišťování, emisní a imisní limity, kategorie spalovacích zdrojů, poplatky za znečišťování

Boiler houses emissions and air pollution control

The article brings a comprehensive and complex information about the present legislation of atmosphere protection in relation to stationary sources of pollution. The descriptions of main pollutants origin mechanism and their impact on atmosphere and human health are contributive. Designers and boiler operators will find here a direct practical utilisation. In the article the necessary calculation relations are indicated including concrete examples which can be used for the calculations of annual emissions, pollution charges, assumed concentrations of monitored pollutants and their comparison with the set emission limits. Important is the information about new obligations of pollution sources operators namely including small boilers. In the form of critical and relevant remarks a notice of some legislative faults is indicated.

Key words: atmosphere protection, stationary pollution sources, emission and air pollution limits, category of burning sources, pollution charges

Podle vyhlášky ministerstva životního prostředí (dále jen MŽP) č. 357/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší, je palivem tuhý, kapalný nebo plynný hořlavý materiál určený ke spalování ve zdrojích znečišťování za účelem získání jeho energetického obsahu, který splňuje další požadavky stanovené touto vyhláškou. Při spalování v kotelnách se používají základní druhy paliv – tuhá, kapalná a plynná. Mezi tuhá paliva patří i dřevo v různých formách (kusové, nekusové ve formě briket, štěpků, pilin aj.), rašelina a biomasa. Základní paliva jsou tedy jednak paliva fosilní (uhlí, ropa, zemní plyn), jednak paliva obnovitelná – např. biomasa. Obnovitelné zdroje chemicky vázaného tepla, ke kterým patří biomasa, jsou klasifikovány tak, že spotřebované teplo z tohoto zdroje je procesem růstu rostlin obnoveno, přičemž základní stavební prvek rostlin – uhlík – je absorbován z ovzduší.

Moderní energetické zdroje musí respektovat stále se zpřísňující požadavky na energetické zdroje z hlediska vlivu na životní prostředí, tzn. na zatížení ovzduší emisemi, které tyto zdroje produkují. V poslední době se objevil i další faktor, který tyto zdroje musí respektovat a to je trend omezování produkce CO₂. Tento trend je důsledkem mezinárodních závazků (v tomto případě se jedná o tzv. Kjótský protokol), které požadují omezování podílu uhlíku z fosilních zdrojů paliv využívaného pro získávání tepla a elektrické energie.

Emise znečišťujících látek z energetických zdrojů jsou významným faktorem, který ovlivňuje jak koncepci energetických zdrojů, tak jejich provozování.

Příspěvek přináší informace o mechanismu vzniku základních znečišťujících látek při spalování fosilních paliv, dřeva a biomasy, dále informuje o hlavních zásadách nové české legislativy v ochraně ovzduší se zaměřením na spalovací zdroje. Závěrečná část příspěvku je věnována přibližnému stanovení spotřeby spalovacího vzduchu a objemu vzniklých spalin a stanovení předpokládané koncentrace znečišťující látky, kterou lze porovnat s příslušným emisním limitem.

1. HLAVNÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY VZNIKAJÍCÍ PŘI SPALOVÁNÍ

Při spalování fosilních paliv, ale i dřeva a biomasy, vznikají hlavní znečišťující látky, které podle současné legislativy v ochraně ovzduší patří mezi základní znečišťující látky:

oxid uhelnatý – CO
oxid siřičitý – SO₂
oxidy dusíku – NO_x (suma NO + NO₂, vyjádřené jako NO₂)
tuhé znečišťující látky (TZL) – tuhé částice ve spalinách
organické látky (OL), vyjádřené jako celkový organický uhlík (TOC).

Tyto znečišťující látky jsou svým původem vzniku součástí paliva nebo oxidizační a ve výše uvedené formě se do ovzduší dostávají v důsledku uvolnění tepla obsaženého v palivu spalovacím procesem.

Palivo (tuhé nebo kapalné) se skládá ze tří základních složek, které tvoří tzv. **hrubý rozbor paliva**

$$h + W + A = 1 \quad [\text{kg.kg}^{-1}] \quad (1)$$

kde h je tzv. hořlavina (část palivové hmoty obsahující uvolnitelné teplo), W je voda obsažená v palivu a A jsou inertní popeloviny v palivu.

Hořlavina je tvořena pěti prvky a to C – uhlíkem, H – vodíkem, S – sírou, N – dusíkem a O – palivovým kyslíkem.

Pro plynná paliva platí výše uvedené rozdělení přiměřeně s tím, že hořlavinou h jsou hořlavé plyny, A jsou inertní plyny a W je vodní pára. V plynném palivu se nevyskytuje **palivový dusík**.

Všechna fosilní paliva a dřevo i biomasa obsahují tedy tři základní prvky, které jsou zdrojem chemicky vázaného tepla – uhlík C, vodík H a síru S. Hmotnostní poměr těchto prvků v palivu a jejich fázová forma (pevná látka, kapalina, plyn) rozhodují o způsobu uvolňování tepla z konkrétního paliva a tedy i o konkrétním řešení příslušného spalovacího zařízení – kotle.

Účinnost energetického zdroje je definována velmi jednoduše

$$\eta = \frac{Q_{UZITECNE}}{Q_{PRIVEDENE V PALIVU}} \quad [1] \quad (2)$$

kde přivedené teplo v palivu je vztaženo na výhřevnost paliva Q_N . Výhřevnost paliva však není celé teplo obsažené v palivu. To je rovno tzv. spalnému teplu

Q_H . Rozdíl mezi spalným teplem a výhřevností je teplo, které se získá kondenzací vodní páry obsažené ve spalínách. Mezi spalným teplem a výhřevností platí následující vztah

$$Q_N = Q_H - 24,53 (W + 9 H) \quad [\text{MJ.kg}^{-1}] \quad (3)$$

kde W a H jsou hmotnostní podíly vody a vodíku v palivu.

Dokážeme-li ochladit spaliny pod hodnotu rosného bodu spalin (vztaženého na parciální tlak vodní páry ve spalínách, nikoliv s ohledem na eventuální vliv SO_2 , respektive SO_3 ve spalínách), pak lze toto teplo využít. Těto skutečnosti využívají tzv. kondenzační kotle, které pak mohou v konkrétních případech vykazovat i účinnost vyšší než 100 %. Tento termodynamický nesmysl je prakticky umožněn právě definičním vztažením přivedeného tepla pouze k výhřevnosti paliva.

Užitečné teplo je teplo dodané pracovní látce v kotli (voda, horká voda nebo pára) mezi vstupem pracovní látky do kotle (vratná topná voda, napájecí voda) a výstupem z kotle (výstupní teplá nebo horká voda, pára o výstupním tlaku a teplotě). Užitečné teplo se určí jako součin hmotnostního průtoku pracovní látky a rozdílu entalpií pracovní látky mezi výstupem z kotle a vstupem do kotle.

2. POJMY EMISE A IMISE, EMISNÍ A IMISNÍ LIMITY

Znečišťující látky v koncentrované podobě, tak jak vystupují ze zdroje znečišťování, u kotelny z komína, označujeme jako **emise** a jejich maximální povolená koncentrace je omezena podle zákona o ovzduší a navazujícími předpisy tzv. **emisními limity**.

Znečišťující látky rozptýlené v ovzduší se v tzv. přízemní vrstvě, tj. tam, kde jsou obsahem ovzduší, které dýcháme, označují jako **imise** a nejvyšší dovolené koncentrace těchto látek jsou opět omezeny zákonnou normou ve formě **imisních limitů**.

Problematika imisí a dovolených imisních koncentrací je poněkud složitější a je zpracována v Nařízení vlády č. 350/2002 Sb. Obecně platí, že čím delší expozice (doba trvání příslušné koncentrace znečišťující látky v ovzduší), tím nižší je dovolená koncentrace této látky. Neomezené trvání koncentrace bez prokázaného vlivu na lidský organismus (zdraví lidí) je vyjádřeno tzv. **ročním imisním limitem**, nejvyšší přípustnou krátkodobou koncentrací znečišťující látky vyjadřuje tzv. **1hodinová maximální koncentrace**. Pro běžnou potřebu vyjádření stavu znečištění v ovzduší a pro regulaci zdrojů znečištění se používají všeobecně známé maximální přípustné **24hodinové koncentrace**, pro hodnocení CO je zaveden tzv. **8hodinový klouzavý průměr**.

Kromě imisních limitů NV č. 350/2002 Sb. zavádí i tzv. meze tolerance jako hodnoty, o které mohou být příslušné imisní limity v daném roce překročeny. U každé znečišťující látky je uveden i cílový rok, zpravidla 2005 nebo 2010, kdy mez tolerance dosáhne nuly. Pro účely ochrany zdraví lidí jsou imisní limity a meze tolerance stanoveny pro tyto látky: SO_2 , PM_{10} (frakce TZL menší než cca 10 μm), NO_2 , Pb, CO, benzen, Cd, NH_3 , As, Ni, Hg a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH). Pro ochranu ekosystémů jsou imisní limity stanoveny pouze pro NO_x a SO_2 ve formě ročních koncentrací. Imisní limity se uvádějí v hmotnostních koncentracích $\mu\text{g.m}^{-3}$ nebo ng.m^{-3} (1 ng = nanogram = 10^{-9} g).

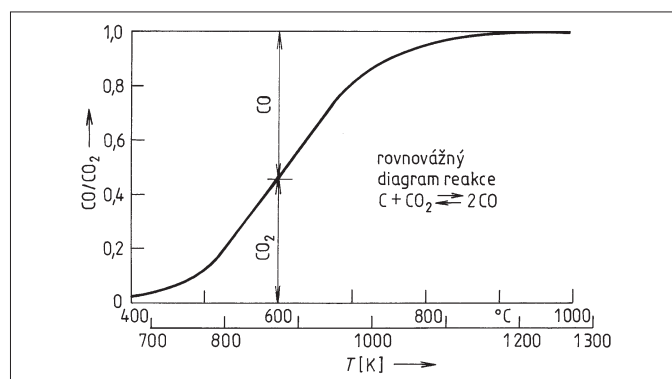
Koncentrace emisí znečišťujících látek se vyjadřují buď hmotnostní koncentrací [mg.m^{-3} , $\mu\text{g.m}^{-3}$ nebo až ng.m^{-3} pro dioxiny] nebo u plynných znečišťujících látek objemovou koncentrací v ppm (1 ppm znamená 1 miliontinu celku, tj. 1 cm^3 znečišťující látky v 1 m^3 směsi, respektive koncentrací znečišťující látky 10^{-4} %). Koncentrace hmotnostní je nutno uvádět a přepočítávat na normální podmínky (tlak a teplota), koncentrace objemové jsou na stavových podmínkách nezávislé.

3. MECHANISMUS VZNIKU EMISÍ A PŮSOBNÍ IMISÍ

Mechanismus vzniku základních znečišťujících látek při spalování a jejich působení v ovzduší lze zjednodušeně popsat následujícím způsobem.

3.1 Oxid uhelnatý – CO

Vznik oxidu uhelnatého je spojen s nedokonalostí spalovacího procesu, respektive s neúplnou oxidací uhlíku „C“ (jako součásti hořlaviny paliva) na finální produkt CO_2 . Příčiny tohoto nedokonalého spálení uhlíku jsou jednak v tom, že není dosaženo ideálního míšení paliva a oksylovadla (nedostatečný přístup O_2 k palivu), a jednak v nedodržení vhodných teplotových poměrů v pásnu probíhajících spalovacích reakcí. Vliv teploty na úplnost konverze CO na CO_2 (při dostatečném přístupu kyslíku v palivu) je uveden na obr. 1.



Obr. 1 – Rovnovážný diagram reakce $\text{C} + \text{CO}_2 \leftrightarrow 2 \text{CO}$

Emisní limit pro oxid uhelnatý (CO) je u spalovacích procesů (viz dále v části 4.6) obecně velmi přísný. Důvodem této přísnosti není pouze snaha o co nejvyšší využití chemicky vázaného tepla v palivu, ale především to, že **nizká emise CO zaručuje nízkou emisi uhlovodíků** $\sum \text{C}_x\text{H}_y$ (z nichž zejména vysokomolekulární často patří mezi karcinogenní látky), které při spalování tvoří hlavní část organických látek. Emisní hodnoty $\sum \text{C}_x\text{H}_y$ se obtížně kontrolují a pro všechna běžná paliva není emisní limit této znečišťující látky, respektive organických látek vyjádřených jako $\sum \text{C}$, vyhlášen. Výjimku tvoří pouze spalování dřeva a biomasy u zdrojů s tepelným výkonem větším než 1 MW, protože dřevo a biomasa jsou pro svůj velmi vysoký obsah tzv. prchavé hořlaviny potenciálně náchylné k vysoké emisi uhlovodíků a kontrola emise $\sum \text{C}_x\text{H}_y$ prostřednictvím kontroly emise CO je v tomto případě nedostatečná.

Pro CO jako **imisní limit** platí 8hodinový klouzavý průměr 10 mg.m^{-3} a je v porovnání s imisními limity ostatních znečišťujících látek přibližně o 2 řády vyšší. Oxid uhelnatý v těle člověka váže v krvi krevní barvivo a způsobuje proto při vyšších dávkách smrt udušením, protože zabraňuje funkci krve jako transportéru kyslíku v těle. Přesto působení oxidu uhelnatého na lidský organismus je kvalifikováno ze zdravotního hlediska jako nejméně významné (nejméně poškozující) ze všech znečišťujících látek z energetických zdrojů.

Koncentrace 100 ppm (125 mg.m^{-3}) způsobí za dobu trvání 1 hodiny (podle Světové zdravotnické organizace, dále jen WHO) 4 % vázání hemoglobinu v krvi a tím např. kardiiovaskulární potíže, přičemž již dvojnásobná hodnota, 250 mg.m^{-3} , může být příčinou úmrtí.

Výraznou a nebezpečnou vlastností CO jsou široké meze zápalnosti (a tím také výbušnosti), které se pohybují v mezích 12,5 až 75 % objemové koncentrace ve vzduchu.

3.2 Oxid siřičitý – SO_2

Pokud je v palivu obsažena síra, může se vyskytovat ve čtyřech hlavních formách. Jedná se o síru organickou, pyritickou, siranovou a v případě plynů ve

formě H_2S (sirovodík). Pouze síra síranová je ve stabilní oxidované formě a není zdrojem znečišťující látky SO_2 . Nedojde-li v průběhu spalovacího procesu k navázání síry na vhodné typy látek (aditiva), oxiduje síra v palivu na SO_2 a to tak, že z jednoho kilogramu palivové síry vzniknou 2 kg SO_2 . V případě českých uhlí je oxidovatelná síra v palivu v průměru 95 %, u topných olejů je oxidovatelná síra v palivu veškerá. Vedlejším účinkem vzniku SO_2 při spalování je výrazný růst teploty rosného bodu spalin oproti hodnotě rosného bodu vztaženého pouze k parciálnímu objemu vodní páry ve spalinách a kyselý kondenzát (H_2SO_4) na chladných výhřevných plochách, který způsobuje jejich rychlou korozi, pokud nejsou ze speciálních antikorozních materiálů.

Velmi účinné je působení slabých koncentrací kyselin na materiálech zařízení na odvod spalin za odsiřovacími procesy. Důvodem je vysoký stupeň hydrolyzovaných oxidů síry SO_3 , vznikajícího oxidací primárního SO_2 .

Vliv SO_2 ve vnějším ovzduší je velmi rozdílný. Za přítomnosti iontů kovů v ovzduší (např. Fe^{++} nebo Mn^{++}) dochází ke katalyzované oxidaci na SO_3 , bez jejich přítomnosti k pomalejší oxidaci působením slunečního záření. Hydrolyzovaný SO_3 je vymýván do půdy z atmosféry jako kyselá dešť, nehydrolyzovaný se může dostat do půdy formou tzv. suché (částicové) deponice jako $(NH_4)_2SO_4$. Kyselá dešť zvyšují aciditu (kyselost) půdy a povrchové vody, což je považováno za jeden z důvodů nižší odolnosti vegetace (např. stromů) a mizení některých živočišných druhů (např. ryby v severských jezerech). Vhodné materiály (např. Cu) sice kyselá dešť korodují, avšak vzniká ochranná nerozpustná vrstva (měděnka), která nedovoluje další oxidaci. Obdobný efekt mají kyselá dešť i na materiálech obsahujících vápenec, kde dochází již v povrchové vrstvě k tvorbě nerozpustných síranů s vlastnostmi ochranné vrstvy.

Vliv SO_2 na zdraví člověka je vcelku dobře dokumentován a dle údajů WHO je od koncentrace $3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ při minutové expozici až po $25 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pro trvalou roční expozici. Z uvedených hodnot WHO jsou odvozovány dovolené **imísni limity**. Podle nařízení vlády č. 350/2002 Sb. platí pro SO_2 pro ochranu zdraví lidí tyto imísni limity maximální koncentrace: 1hodinová $350 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 24hodinová $125 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, roční $50 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Pro ochranu ekosystému platí roční maximální koncentrace $20 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

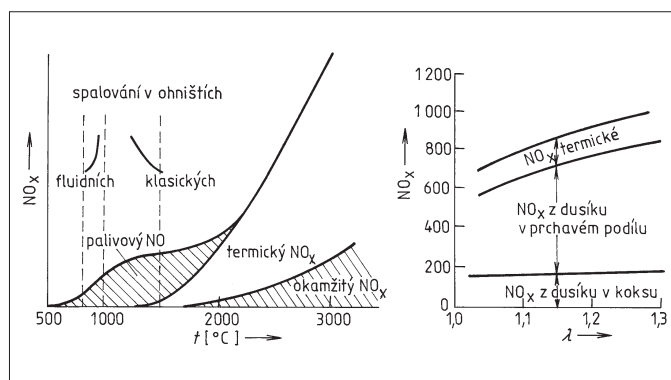
3.3 Oxidy dusíku

Oxidy dusíku vznikají třemi různými způsoby. Jedná se jednak o tzv. **promptní** (okamžité, viz obr. 2) oxidy dusíku vznikající v nejvyšších teplotách v počáteční fázi hoření (jejich podíl z celkové emise NO_x je minimální), dále pak o oxidy dusíku **termické**, které vznikají v oblasti teplot nad $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ z dusíku přítomného v oksyličovadle (ve vzduchu) a následně pak v oblasti nejnižších teplot oxidy dusíku **palivové**, které vznikají z dusíku obsaženého v hořlavíně paliva. Palivové oxidy dusíku jsou obvykle velmi významné u topných olejů (dokonce s oleji s vysokým obsahem dusíku v palivu nelze splnit emisní limity do ovzduší bez speciálních denitrifikačních technologií) a palivové oxidy dusíku jsou nulové u plyných paliv, která palivový dusík neobsahují a pokud ho obsahují, chová se z hlediska emise NO_x stejně jako dusík z oksyličovadla (vzduch). Vliv teploty a součinitele přebytku vzduchu při spalování uhlí na tvorbu oxidů dusíku je uveden na obr. 2

Spalovacími reakcemi v ohništích vznikají tři různé oxidy dusíku, a to N_2O , NO a NO_2 , z nichž pouze druhé dva jsou zatím považovány za znečišťující látky.

N_2O – oxid dusný nebo-li „rajský plyn“ vzniká ve významnějším množství při nízkoteplotním spalování a jeho působení je významné v souvislosti se skleníkovým efektem, kde patří mezi nejdůležitější plyny, které zabraňují sálení tepelné energie z povrchu Země do vesmírného prostoru.

NO – oxid dusnatý je bezbarvý, relativně málo reaktivní plyn. Prahová hodnota pro průmyslovou expozici (nejvýše přípustná koncentrace v pracovním prostředí NPK-P) je $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, což je o více než dva řády vyšší hodnota než hodnota koncentrace v silně znečištěném ovzduší (méně než $0,1 \text{ ppm}$, kde $1 \text{ ppm} = 1,34 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). NO je ve vnějším prostředí oxidován na NO_2 . Ve vnitřním prostředí



Obr. 2 – Vliv teploty a součinitele přebytku spalovacího vzduchu na tvorbu jednotlivých typů oxidů dusíku

dí je oxidace NO na NO_2 bez přítomnosti UV záření a ozónu velmi pomalá, především mnohem pomalejší než srovnatelná doba výměny vzduchu. Z tohoto důvodu jsou emise NO uvnitř budov považovány za málo významné. NO je významnou znečišťující látkou ve **stratosféře**, protože patří vedle chlóru a chlórovaných typů freonů k hlavním likvidátorům ozónové vrstvy reakcí s ozónem, kdy vzniká NO_2 a běžný dvouatomární kyslík.

NO_2 – oxid dusičitý je červenohnědý plyn, jehož charakteristickou barvu lze někdy vidět za smogových situacích. NO_2 je reaktivní silně oxidická látka. Expozice po dobu 1 hodiny v prostředí s koncentrací $0,5$ až $1,5 \text{ ppm}$ ($1 \text{ ppm} = 2,05 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ a odpovídající rozsah hmotnostních koncentrací je 1 až $3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) již způsobují dýchací potíže [1]. V kombinaci s uhlovodíky a slunečním zářením NO_2 vytváří ozón, organické peroxidy i PAN (polyakrylnitrát) a další produkty fotochemického smogu. Ozón a PAN dráždí oči a otravují vegetaci. To jsou dosud jednoznačně známé hlavní důvody, proč jsou přípustné emise NO_x limitovány.

Produkce NO_2 je významná zejména ze zdrojů s tlakovým spalováním, tj. zejména ze spalovacích motorů. Podíl NO_2 z celkových NO_x u atmosférických kotlů je prakticky zanedbatelný (jako maximální podíl je uváděno 5 %, ale obvykle nedosahuje jeho podíl ani 2 %).

NO_2 je jednou z látek, které se podílejí na vzniku kyseliny dusičné v atmosféře (HNO_3). Kyselá dešť jsou proto důsledkem spolupůsobení oxidů síry i dusíku. Na rozdíl od většiny málo nebo nerozpustných síranů (např. $CaSO_4$) jsou dusičnany většinou vodou rozpustné látky (např. dusičnan amonný NH_4NO_3). Materiály ve venkovním prostředí, které jsou kyselinou dusičnou poškozovány, jsou proto poškozovány i po vzniku vrstvy dusičnanů, protože ty se deštěm vymyjí a proces působení HNO_3 pokračuje.

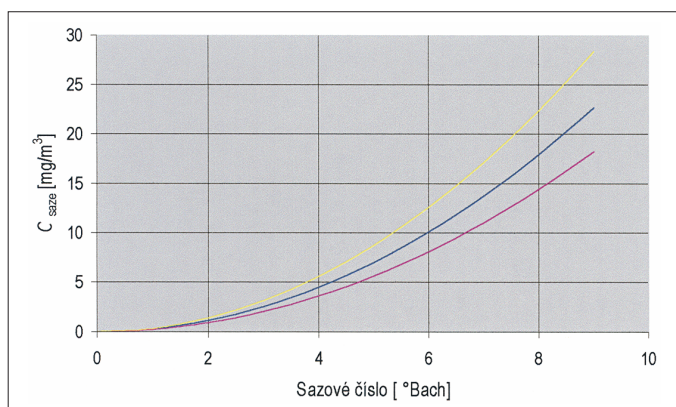
Podle NV č. 350/2002 Sb. platí pro NO_2 pro ochranu zdraví lidí tyto imísni limity – maximální koncentrace: jednohodinová $200 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a roční $40 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a pro NO_x pro ochranu ekosystému platí roční maximální koncentrace $30 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

3.4 Tuhé znečišťující látky

Tuhé částice (oficiální zákonné označení pro částice, které jsou za teploty a tlaku v komině, výduchu, výpusti nebo v místě měření přítomny v odpadním plynu v pevném skupenství) se dostávají do ovzduší jako emise jednak z paliv, která obsahují popeloviny, jednak jako saze u spalovacích procesů, u kterých dochází k tvorbě amorfního uhlíku při rychlém ochlazení hořících částic uhlíku (tuhá paliva) nebo nezplynělých uhlíkových řetězců u kapalných paliv. Tvorba sazí se zjišťuje Bacharachovým testem kouřivosti.

Závislost (rozsah) koncentrace sazí ve spalinách na tzv. Bacharachově čísle je na obr.3.

Z ohniště spalovacího zařízení na tuhá paliva se do proudu odcházejících spalin dostává z celkového obsahu popelovin v palivu pouze část a to v závislosti



Obr. 3 – Závislost koncentrace sazí ve spalínách na sazovém čísle podle Bacharachovy stupnice

na typu spalovacího zařízení. Minimální podíl úletových popelovin je u ohnišť s pevnými nebo pásovými rošty (do cca 15 %), maximální je u granulacních práškových a fluidních ohnišť (až 90 %).

Z hlediska vlivu na zdraví obyvatel je limitována koncentrace tzv. **frakce PM₁₀** (tj. částice, které při měření imisní koncentrace projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 10 μm odlučovací účinnost 50 %). Podle NV č. 350/2002 Sb. platí pro frakci PM₁₀ pro ochranu zdraví lidí tyto imisní limity – maximální koncentrace: 24hodinová 50 μg.m⁻³, roční 40 μg.m⁻³.

Do kategorie frakce PM₁₀ patří jednoznačně saze vznikající při nedokonalém vyhoření uhlíku u těžkých tekutých uhlovodíků (neodpařitelná kapalná paliva).

3.5 Organické látky

Pod pojmem organické látky máme na mysli celou řadu zejména uhlovodíkových sloučenin od velmi jednoduchých (metan, etan, pentan, ...), přes aromatické uhlovodíky, alifatické uhlovodíky, benzeny, benzopyreny, až po vysoce nebezpečné polychlorované organické látky (některá z obvyklých fosilních paliv obsahují chlór). Protože pravděpodobnost vzniku organických látek u běžně používaných fosilních paliv je malá, postačuje emisní kontrola oxidu uhelnatého CO, která současně zaručuje přijatelně nízkou tvorbu organických látek.

V naší legislativě mají pouze spalovací zařízení pro dřevo a biomasu jako nejmladší paliva s vysokým podílem prchavé hořlaviny předepsaný emisní limit pro organické látky (viz kapitola 4.6). Zařízení na spalování dřeva a zejména biomasy musí být pro spalování paliva s vysokým podílem prchavé hořlaviny příslušně přizpůsobena. Z téhož důvodu jsou např. v SRN a v Rakousku používána pro spalování v nejmenších ohništích (kamna, domovní kotle ÚT v rodinných domcích na fosilní pevná paliva a výrobky z těchto paliv) pouze tzv. bezdýmná paliva, tj. paliva s minimálním obsahem prchavé hořlaviny.

4. NOVÁ LEGISLATIVA V OCHRANĚ OVZDUŠÍ SE ZAMĚŘENÍM NA SPALOVACÍ ZDROJE

Legislativa vychází ze zákona č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a navazujících právních prováděcích předpisů (nařízení vlády a vyhlášky MŽP) č. 350/2002 Sb. až č. 358/2002Sb. Stacionárních spalovacích zdrojů znečišťování se bezprostředně dotýkají nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví **emisní limity** a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší a vyhláška MŽP č. 356/2002 Sb., která mimo jiné uvádí **seznam znečišťujících látek**, požadavky na vedení provozní evidence, metody zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek aj. **Imisní limity** a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší jsou uvedeny v nařízení vlády č. 350/2002 Sb.

Mezi povinnosti právnických a fyzických osob podle zákona č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší patří, že ve zdrojích znečišťování ovzduší je zakázáno spalování látek, které nejsou palivy určenými výrobcí zařízení ke spalování.

4.1 Kategorie spalovacích zdrojů

Podle míry vlivu na kvalitu ovzduší se stacionární zdroje znečišťování dělí na zvláště velké, velké, střední a malé. Z technologického hlediska nejpočetnější skupinou jsou spalovací zdroje, ve kterých se paliva oxidují za účelem využití uvolněného tepla (například kotle).

Spalovací zdroje se podle tepelného příkonu nebo výkonu dělí do kategorií:

1. **zvláště velké spalovací zdroje (ZV)**, kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitém příkonu 50 MW a vyšším, bez přihlídnutí ke jmenovitému výkonu;
2. **velké spalovací zdroje (V)**, kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitém výkonu vyšším než 5 MW do 50 MW, nespádající do kategorie a);
3. **střední spalovací zdroje (S)**, kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitém výkonu od 0,2 MW do 5 MW včetně;
4. **malé spalovací zdroje (M)**, kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitém výkonu menším než 0,2 MW.

Zásadní důležitost má pravidlo uvedené v § 4, čl.6 v zákonu č.86/2002 Sb., které stanoví, že pro účely **stanovení kategorie zdroje nebo emisních limitů** se jmenovité tepelné příkony nebo výkonu **pro zdroje kategorií ZV, V a S** téhož provozovatele počítají, jestliže:

- jsou zdroje umístěny ve stejné místnosti, stavbě nebo v pracovním celku,
- spaliny jsou vypouštěny společným komínem bez ohledu na počet průduchů nebo by s ohledem na uspořádání a druh používaného paliva mohly být vypouštěny společným komínem.

Obdobné pravidlo platí podle § 4, čl. 7 i pro malé spalovací zdroje, kde se pro účely **stanovení kategorie zdroje** počítají tepelné výkonu malých spalovacích zdrojů téhož provozovatele za předpokladu, že spaliny jsou nebo by mohly být vypouštěny společným komínem.

4.2 Emisní limity obecné a specifické

Jak již bylo řečeno v části 2, přípustnou úroveň znečišťování ovzduší určují v legislativě **emisní limity**. Tzv. **obecné emisní limity** jsou určeny pro jednotlivé znečišťující látky nebo jejich stanovené skupiny u těch zdrojů, které nejsou zařazeny mezi tzv. jmenovitě určené (vybrané) technologie a jsou dány zpravidla hodnotami hmotnostních koncentrací, kombinovaných s limitními hodnotami hmotnostních toků.

Stacionární spalovací zdroje však patří mezi jmenovitě určené technologie, pro které jsou stanoveny tzv. **specifické emisní limity**. Zákon o ochraně ovzduší nově zavádí pojmy „emisní stropy“ a „redukční cíle“, které mohou být stanoveny pro vybrané znečišťující látky nebo skupiny látek pro vybraná území, pro skupiny nebo jednotlivé stacionární zdroje a lhůty pro jejich dosažení podle národního programu snižování emisí znečišťujících látek za účelem dosažení přípustné úrovně znečištění. Tato omezení souvisí s ochranou klimatického systému Země a týká se SO₂, NO_x, VOC (těžké organické látky) a NH₃.

4.3 Zjišťování emisí znečišťujících látek

U zdrojů kategorie ZV, V a S zjišťují provozovatelé emise znečišťujících látek především **měřením** a pouze ve zvláštních případech, stanovených ve vyhlášce MŽP č. 356/2002 Sb., výpočtem. Emise se měří v místě, za kterým již nedochází ke změně složení vypouštěných odpadních plynů do ovzduší. **Emise se měří a vyhodnocují jednorázově v termínech stanovených vyhláškou MŽP č. 356/2002 Sb. nebo nepřetržitě v průběhu roku (kontinuálním měřením)**. Uvedená vyhláška blíže stanovuje např. rozsah a způsob jednorázových měření znečišťujících látek u stacionárních zdrojů včetně jejich vyhodnocení, dále kontinuálního měření včetně zaznamenávání a vyhodnocování naměřených dat. **Zjišťování znečišťujících látek a kontrolu účinnosti spalování u malých zdrojů popisuje nařízení vlády č. 352/2002 Sb.**

4.4 Základní povinnosti provozovatelů spalovacích zdrojů

Mezi **základní povinnosti** provozovatelů ZV, V a S stacionárních, tedy i **spalovacích zdrojů**, patří (podle §11 zákona č. 86/2002 Sb.) například:

- uvádět do provozu a provozovat stacionární zdroje v souladu s podmínkami ochrany ovzduší, které jsou uvedeny ve stanoviscích a povoleních orgánů ochrany ovzduší;
- dodržovat emisní limity včetně lhůt stanovených k jejich plnění, dodržovat emisní stropy (jsou-li stanoveny);
- zjišťovat množství vypouštěných látek;
- vést provozní evidenci v rozsahu uvedeném v prováděcím předpise (vyhláška MŽP č. 356/2002 Sb.).

Provozovatelé ZV, V a S stacionárních zdrojů jsou povinni zpracovat z údajů provozní evidence souhrnnou provozní evidenci každého zdroje za kalendářní rok a předat ji do 15. února následujícího roku příslušnému orgánu ochrany ovzduší. Bližší informace uvádí vyhláška MŽP č. 356/2002 Sb. Podle této vyhlášky výjimku tvoří střední spalovací zdroje, které obsahují výhradně spalovací zařízení se jmenovitými tepelnými výkony do 0,2 MW (malé jednotkové zdroje), kde se výše uvedené záznamy vedou pro zdroj jako celek.

Mezi **základní povinnosti provozovatelů malých stacionárních zdrojů** patří (podle § 12 zákona č. 86/2002 Sb.) například:

- uvádět do provozu a provozovat stacionární zdroje jen v souladu s podmínkami pro provoz těchto zdrojů;
- umožnit osobám pověřených obcí a inspekci (ČIŽP) přístup ke stacionárnímu zdroji za účelem ověření kategorizace zdroje, zjištění množství vypouštěných látek a kontroly jeho technického stavu;
- zajišťovat prostřednictvím oprávněné osoby měření účinnosti spalování, měření množství vypouštěných látek a kontrolu spalinových cest u spalovacích zdrojů provozovaných při podnikatelské činnosti provozovatele nejméně 1x za 2 roky. Tuto povinnost plní provozovatelé:
 - u zdrojů spalujících tuhá paliva od jmenovitého tepelného výkonu **15 kW**;
 - u zdrojů spalujících plynná a kapalná paliva od jmenovitého tepelného výkonu **11 kW**.

Oprávněnou osobou je držitel živnostenského oprávnění v oboru kominictví.

Umožnění přístupu a zajištění měření se **netýká provozovatelů malých stacionárních zdrojů umístěných v rodinných domech, bytech a stavbách pro individuální rekreaci** s výjimkou případů, kdy jsou provozovány výhradně pro podnikatelskou činnost.

Příslušný orgán ochrany ovzduší vydává stanoviska a povolení k řízením, která obsahují podmínky ochrany ovzduší. Jedná se o stanoviska k územně plánovací dokumentaci v průběhu jejího pořizování. Stejná stanoviska se vydávají u stacionárních zdrojů kategorie ZV, V a S v případě, že se jedná o povolení k umístění staveb, o povolení staveb a jejich změn a o povolení k jejich uvedení do zkušebního i trvalého provozu.

Povolení příslušného orgánu ochrany ovzduší, které obsahuje podmínky ochrany ovzduší se dále vyžaduje u řady dalších aktivit, např. k záměrům na zavedení nových výrobních a nových technologií s dopadem na ovzduší u ZV, V a S stacionárních zdrojů, ke spalování nebo spoluspalování odpadu, včetně odpadních olejů, k výrobě zařízení, materiálů a výrobků, které mohou znečišťovat ovzduší, s výjimkou výrobků stanovených k posuzování shody dle zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, k výrobě nových technologií, výrobků a zařízení sloužících k ochraně ovzduší, ke změnám používaných

Tab.1 Roční výše poplatků pro malý stacionární zdroj

Palivo	Rozmezí sazeb [Kč/rok]	
	nad 50 do 100 kW včetně	nad 100 do 200 kW
Jmenovitý tepelný výkon		
Topné oleje s obsahem síry od 0,1 do 0,2 %	1 000 až 1 500	1 500 až 2 000
Topné oleje s obsahem síry do 1 %	1 500 až 2 500	2 500 až 3 000
Jiná kapalná paliva a látky pokud tento zákon jejich spalování nezakazuje	6 000 až 8 000	8 000 až 12 000
Černé uhlí	1 500 až 2 000	2 000 až 3 000
Hnědé uhlí tříděné, palivo z hnědého uhlí	2 500 až 4 000	4 000 až 5 000
Hnědé uhlí energetické, lignit	4 000 až 6 000	6 000 až 10 000
Uhelné kaly, proplásky	10 000 až 20 000	20 000 až 40 000

paliv, surovin nebo druhů odpadů, ke zvýšení obsahu síry v kapalných palivech pro stacionární zdroje, aj.

Mezi výrobky, kde se nevyžaduje stanovisko orgánů ochrany ovzduší, ale dle zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky posouzení shody, patří malé kotle pro ústřední vytápění.

4.5 Poplatky za znečišťování

Provozovatelé ZV, V, S a obecně i malých stacionárních zdrojů platí **poplatky za znečišťování**. Poplatky menší než 500 Kč se nevyměří.

Roční výše poplatků pro **malý stacionární zdroj** vyměří orgány obce pevnou částkou v rozmezí uvedeném v tab. 1 a to úměrně k velikosti zdroje a době jeho provozu v poplatkovém období, případně podle druhu a spotřeby paliva.

Provozovatel malého zpoplatněného zdroje je povinen zaslat do 15. února po skončení poplatkového období orgánu obce podklady pro stanovení výše poplatku za běžný rok. Malé spalovací zdroje s nulovou sazbou poplatku nejsou předmětem poplatku a nevztahuje se na ně oznamovací povinnost.

Poplatky za ZV, V a S stacionární zdroje se platí za znečišťující látky nebo stanovené skupiny látek, pro které má zdroj stanoven emisní limit. Sazby poplatků a způsob výpočtu poplatku je uveden v příloze č. 1 k zákonu o ochraně ovzduší. Vypočtený poplatek se zaokrouhuje na 100 Kč. **Sazby pro tzv. hlavní zpoplatněné látky** jsou v tab. 2.

Tab. 2 Sazby pro hlavní zpoplatněné látky

Znečišťující látka	Sazba [Kč/t]	Znečišťující látka	Sazba [Kč/t]
Tuhé zneč. látky	3 000	Oxid uhelnatý	600
Oxid siřičitý	1 000	Amoniak	1 000
Oxidy dusíku	800	Metan	1 000
Těkavé organické látky	2 000	Polycyklické aromatické uhlovodíky	20 000
Těžké kovy a jejich sloučeniny	20 000		

4.6 Emisní limity pro spalovací zdroje

Z hlediska omezení emisí je u spalovacích zdrojů nejdůležitější prováděcí právní předpis nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví **emisní limity** a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů.

Tento předpis definuje některé základní pojmy, např. co je palivo a co je biomasa. Palivo je tuhý, kapalný nebo plynný hořlavý materiál, určený ke spalování ve zdrojích znečišťování za účelem získání jeho energetického obsahu a splňující podmínky zvláštního právního předpisu (vyhláška MŽP č. 357/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší). Biomasa je definována jako rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází např. ze zemědělství, lesnictví nebo potravinářského průmyslu.

Jednotlivé části (hlavy) vyhlášky uvádějí emisní limity u příslušných kategorií stacionárních spalovacích zdrojů.

Emisní limity pro ZV spalovací zdroje jsou v závislosti na jmenovitém tepelném příkonu stanoveny pro SO₂, NO_x (NO₂), TZL a CO. S ohledem na zaměření příspěvku nejsou zde tyto emisní limity uvedeny.

Emisní limity pro velké a střední spalovací zdroje jsou stanoveny pro SO₂, NO_x, CO, organické látky (u spalování dřeva a biomasy) a TZL v závislosti na druhu paliva a jmenovitém tepelném výkonu. Emisní limity jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky jsou stanoveny pro určité vztažné (referenční) podmínky nosného plynu. U spalovacích zdrojů se jedná o suchý plyn za normálních podmínek (101,325 kPa, 0 °C) a referenční objemový obsah kyslíku ve spalinách $\omega_{O_2}^R$ [%].

V tab. 3 až 7 jsou emisní limity uvedeny podle druhu paliva.

Tab. 3 Tuhá paliva – spalovací zařízení s granulacím, výtavným a roštovým ohništěm

Jmenovitý tepelný výkon P_t [MW]	Emisní limit [mg/m ³]					Ref. obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Org. látky jako ΣC	
$P_t \geq 0,2$	-	-	650	-	nestan.	6
	-	-	1 100 ¹⁾	-	nestan.	6
$0,2 \leq P_t \leq 1$	-	-	-	650	nestan.	6
$1 < P_t \leq 5$	-	-	-	650	nestan.	6
$0,2 \leq P_t \leq 5$	250	-	-	-	nestan.	6
$P_t \geq 0,2$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	-	2 500	-	-	nestan.	6
$P_t > 5$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	150	-	-	400	nestan.	6

Odkazy:

¹⁾ pro výtavná ohniště

Tab. 4 Spalovací zařízení spalující dřevo¹⁾ nebo biomasu

Jmenovitý tepelný výkon P_t [MW]	Emisní limit [mg/m ³]					Ref. obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Org. látky jako ΣC	
$P_t \geq 0,2$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	250	2 500	650	650	50 ²⁾	11

Odkazy:

¹⁾ rovněž tak nekontaminovaný dřevní odpad, kůru a podobné rostlinné látky

²⁾ emisní limit platí pro tepelný výkon $P_t > 1$ MW

Tab. 5 Spalovací zařízení spalující kapalná paliva

Jmenovitý tepelný výkon P_t [MW]	Emisní limit [mg/m ³]					Ref. obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Org. látky jako ΣC	
$P_t \geq 0,2$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	-	-	-	175	nestan.	3
$0,2 \leq P_t \leq 5$	-	1)	500	-	nestan.	3
$P_t \geq 0,2$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	100	-	-	-	nestan.	3
$P_t > 5$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	-	-	450	-	nestan.	3
$P_t > 5$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	-	1 700	-	-	nestan.	3

Odkazy:

1) obsah síry v palivu max. 1 % hmot.

Tab. 6 Spalovací zařízení spalující plynná paliva

Jmenovitý tepelný výkon P_t [MW]	Emisní limit [mg/m ³]					Ref. obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Org. látky jako ΣC	
$P_t \geq 0,2$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	50 ¹⁾	35 ²⁾ 900 ³⁾	200 300 ⁴⁾	100	nestan.	3

Odkazy:

¹⁾ pro plynná paliva z neveřejných distribučních sítí (vyčištěný koksárenský nebo vysokopečnický plyn, bioplyn, propan či butan nebo jejich směsi, plyn z rafinerií);

²⁾ pro plynná paliva z veřejných distribučních sítí;

³⁾ pro plynná paliva mimo paliva z veřejných distribučních sítí a koksárenský plyn;

⁴⁾ při spalování propanu či butanu nebo jejich směsí.

Tab. 7 Fluidní kotle spalující fosilní paliva

Jmenovitý tepelný výkon P_t [MW]	Emisní limit [mg/m ³]					Ref. obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Org. látky jako ΣC	
$P_t \geq 5$, ale jmenovitý tepelný příkon < 50 MW	100	800 75 % ¹⁾	400	250	nestan.	6
$P_t < 5$ MW ²⁾					nestan.	6

Odkazy:

¹⁾ nelze-li při spalování tuzemského paliva dosáhnout emisního limitu při únosném přídavku aditiva, musí být koncentrace snížena alespoň na 25 % původní hodnoty;

²⁾ emisní limity fluidních kotlů se jmenovitým tepelným výkonem nižším než 5 MW jsou stejné jako emisní limity klasických kotlů v závislosti na druhu spalovaného paliva.

4.7 Povinnosti provozovatelů malých spalovacích zdrojů

Jak již bylo uvedeno, ze zákona o ovzduší č. 86/2002 Sb. (§ 12) vyplývají pro provozovatele malých zdrojů (od jmenovitého tepelného výkonu 15 kW u zdrojů na tuhá paliva a od 11 kW na plynná a kapalná paliva), které nejsou umístěny v rodinných domech, bytech a stavbách pro individuální rekreaci, povinnosti nejméně 1x za 2 roky zjišťovat prostřednictvím oprávněné osoby měření účinnosti spalování, měření množství vypouštěných látek a kontrolu spalovacích cest. Blíže se touto problematikou zabývá nařízení vlády č. 352/2002 Sb. v Hlavě IV – Zjišťování znečišťujících látek a účinnost spalování malých zdrojů. Konkrétní § 10 a § 11 se dále odkazují na Přílohu č. 7, která popisuje kontrolu účinnosti spalování, uvádí limity účinnosti spalování, popisuje kontrolu spalovacích cest a uvádí lhůty kontroly spalovacích cest a účinnosti spalování.

Podle této přílohy kontrola účinnosti spalování η [%] spočívá v jejím stanovení nepřímou metodou na základě stanovení komínové ztráty ξ [%].

Pozn.: Ke stanovení komínové ztráty je sice uveden soubor měřených veličin (obsah O₂, obsah CO, teplota spalin a spalovacího vzduchu, statický tlak ve spalovací cestě), není zde však uveden způsob výpočtu obsahu CO₂ [%], přebytku vzduchu λ [1] ani vlastní komínové ztráty ξ [%]. Tento nedostatek v prováděcím předpisu se v praxi řeší tím, že osoby pověřené měřením používají pro měření přístroje schválené ČIŽP, které mají integrovaný systém vyhodnocení komínové ztráty na základě přibližných poloempirických vztahů a přímo vyhodnocují z naměřených hodnot komínovou ztrátu ξ [%] s přesností 1 %.

Každý malý spalovací zdroj musí dále spalovat palivo tak, aby koncentrace CO ve spalinách nepřekročila maximální hodnotu 1000 ppm při referenčním obsahu O₂ 3 % u plynných a 6 % u tuhých paliv.

Pozn.: V příloze tohoto nařízení vlády uvedené stanovení hodnoty CO_{max} [ppm] na základě součinu naměřené hodnoty CO [ppm] a přebytku vzduchu λ [1] nerespektuje stanovený referenční obsah kyslíku. Správně se přepočte CO na CO_{max} dle vztahu

$$CO_{max} = CO \frac{\lambda}{\lambda^R}$$

kde λ^R [1] je přebytek vzduchu odpovídající stanovenému referenčnímu obsahu kyslíku ve spalínách. U plyných paliv je referenční obsah kyslíku 3 % a odpovídající $\lambda^R = 1,17$, u tuhých paliv je referenční obsah kyslíku 6 % a odpovídající $\lambda^R = 1,4$ – viz vztah (8), kde v kapitole 5 je podle zvyklostí v oboru spalování označen součinitel přebytku vzduchu jako α .

Každý malý zdroj musí spalovat palivo s účinností vyšší nebo rovnou než hodnoty uvedené v tab. 8 a 9.

Tab. 8 Limitní účinnosti spalování (%) pro spotřebiče spalující kapalná a plyná paliva

Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Datum uvedení spotřebiče do provozu		
	do 31.12.1982	do 31.12.1985	od 1.1.1990
11 až 25	85	86	88
25 až 50	86	87	89
> 50	87	88	90

Tab. 9 Limitní účinnosti spalování (%) pro spotřebiče spalující tuhá paliva

Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Datum uvedení spotřebiče do provozu		
	do 31.12.1982	do 31.12.1985	od 1.1.1990
15 až 20	68	69	70
20 až 50	70	71	72
> 50	72	73	74

Lhůty kontrol spalinových cest a účinnosti spalování jsou uvedeny v následující tab. 10. Lhůty kontrol spalinových cest vycházejí z vyhlášky č. 111/1981 Sb.

Tab. 10 Lhůty kontroly spalinových cest a účinnosti spalování

Druh paliva	Kontrola spalinových cest		Kontrola účinnosti spalování	
	Výkon v kW	Lhůty	Výkon v kW	Lhůty
Plynná a kapalná	0 až 50	1 x za 6 měs.	11 až 50	1 x za 2 roky
	> 50	1 x za 3 měs.	> 50	1 x za 2 roky
Tuhá	0 až 50	1 x za 6 měs.	15 až 50	1 x za 2 roky
	> 50	1 x za 6 měs.	> 50	1 x za 2 roky

Pozn.: Uváděné limitní účinnosti spalování se odkazují na Přílohu D1 ČSN 070240 Teplovodní a nízkotlaké parní kotle – Základní ustanovení (po změně Z8). Tato norma však není závazná, neboť se týká pouze kotlů, které nepatří mezi vyhrazená zařízení. Zásadním problémem však je, že uváděné účinnosti neodpovídají hodnotám minimálních účinností uváděných v nových harmonizovaných normách ČSN EN, např. ČSN EN 303-5 Kotle pro ústřední vytápění – Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 300 kW – Terminologie, požadavky, zkoušení a značení. Při uvádění kotlů na trh vydává v souladu se zákonem č. 22/1997 Sb. Strojírenský a zkušební ústav Brno certifikát, kterým potvrzuje, že výrobek je v souladu s platnými zákony a předpisy a za ty považuje harmonizované normy ČSN EN z oblasti kotlů. Další nelogičností je skutečnost, že v datech uvedení spotřebičů do provozu je přeskočeno období od 1. 1. 1986 do 31. 12. 1989!

5. PŘÍBLIŽNÉ STANOVENÍ EMISÍ A KONCENTRACÍ VYBRANÝCH ZNEČIŠTĚJÍCÍCH LÁTEK VÝPOČTEM

Emise ze zvláště velkých, velkých a středních zdrojů se dle zákona o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb. stanovují především **měřením**. Měřením se zjišťuje emise těch látek, pro které má zdroj stanoveny emisní limity. Měření emisí slouží jednak ke kontrole stanovených emisních limitů, jednak pro účely zpoplatnění ke stanovení množství emisí. Podrobnosti o zjišťování znečišťujících látek uvádí nařízení vlády č. 352/2002 Sb. v § 9 a vyhláška MŽP č. 356/2002 Sb.

Podle uvedeného § 9, čl. 6 a 7 lze u spalovacích zdrojů ve vybraných případech, kdy se nemusí emise stanovovat měřením (TZL při spalování výlučně plyného paliva nebo SO₂ při spalování kapalného paliva se zaručeným obsahem síry, který zaručuje splnění emisního limitu), stanovit emise **výpočtem** po-

užitím tzv. **emisních faktorů**. Výpočtem se také stanovují emise hlavních zpoplatněných látek v těch případech, kdy u zdroje nejsou předepsány emisní limity. Jedná se o SO₂ u středních zdrojů spalujících kapalná paliva s obsahem síry max. 1 % a o organické látky u spalovacích zdrojů mimo spalování dřeva a biomasy.

Emisních faktorů lze u zdrojů s výhodou použít k přibližnému stanovení emisí a koncentrací vybraných znečišťujících látek výpočtem.

Emisní faktor je střední měrná výrobní emise dané znečišťující látky typická pro určitou skupinu zdrojů a představuje poměr hmotnosti do ovzduší přecházející znečišťující látky ke vztažné veličině, kterou u spalovacích zdrojů je hmotnost paliva u tuhých a kapalných paliv nebo objem paliva u plyných paliv. Emisní faktory se stanovují buď měřením na zdrojích daného typu nebo výpočtem v případech, kde lze aplikovat tzv. bilanční metodu. Typickým případem aplikace bilanční metody je stanovení emisních faktorů TZL a SO₂ při spalování tuhých paliv, kde výchozí veličinou je obsah popela, resp. obsah síry v původním palivu.

5.1 Emisní faktory spalovacích zdrojů

Hodnoty emisních faktorů u spalovacích zdrojů jsou podle druhu paliva a druhu topeniště uvedeny v Příloze č. 5 nařízení vlády č. 352/2002 Sb. a zde jsou uvedeny v tab. 11 až 13.

5.2 Emise znečišťujících látek

S použitím uvedených emisních faktorů lze u daného spalovacího zdroje s předpokládanou hodinovou, resp. roční spotřebou paliva jednoduše přibližně stanovit hodinové, resp. roční emitované množství příslušné znečišťující látky a poplatky za znečišťování.

Jako názorný **příklad** jsou uvedeny roční emise a poplatky u tří hlavních znečišťujících látek TZL, SO₂ a NO_x u parního středotlakého kotle s pásovým pohazovačem o jmenovitém parním výkonu 8 t.h⁻¹, který spaluje směs hnědoudelných hruboprahů s výhřevností Q_N = 15,01 MJ.kg⁻¹. Prvkové složení paliva je dáno v následující tab. 14.

Roční spotřeba paliva s uvažováním skutečného výkonu kotle a letní odstávky je 5,87.10⁶ kg. Emisní faktory pro uvedené znečišťující látky a daný typ kotle s použitým palivem jsou uvedeny v tab. 15.

Kotel je vybaven suchým mechanickým odlučovačem a elektrickým odlučovačem s dosahovanou účinností odlučování 99,5 %, takže výsledný emisní faktor zdroje pro TZL je pouze 0,269 kg.t⁻¹. Předpokládané roční emise uvažovaných znečišťujících látek jsou potom následující: M_{r,TZL} = 1579 kg, M_{r,SO2} = 66 918 kg, M_{r,NOx} = 17 610 kg. Odpovídající poplatky za znečišťování dosahují hodnot 4 737 Kč u TZL, 66 918 Kč u SO₂ a 14 088 Kč u NO_x, tedy celkem 85 743 Kč/rok.

5.3 Koncentrace znečišťujících látek a jejich porovnání s emisními limity

Přibližné stanovení koncentrace znečišťující látky a posouzení, zda je možno předpokládat splnění emisních limitů, je mnohem komplikovanější. Výpočet vychází ze skutečnosti, že hmotnostní tok emisí dané znečišťující látky je dán součinem objemového průtoku plynu (spalin) a hmotnostní koncentrace znečišťující látky, vztažené na podmínky, při kterých je objemový průtok plynu vyjádřen (např. suchý plyn, normální podmínky nebo suchý plyn, normální podmínky a referenční obsah kyslíku). Výpočet koncentrace předpokládá proto nejenom znalost hmotnostního toku dané znečišťující látky, ale i objemového průtoku spalin za definovaných podmínek. Při stanovení koncentrace znečišťující látky lze s výhodou pracovat pouze s emisemi a objemy spalin vztaženými na jednotku množství použitého paliva, např. kg u tuhých a kapalných paliv a m³ u plyných paliv. Cílem výpočtu je stanovení koncentrace znečišťující látky za podmínek, při kterých je stanoven příslušný specifický emisní limit a její porovnání s hodnotou emisního limitu.

V následujícím textu jsou jednotlivé kroky výpočtu blíže popsány.

Přepočítání koncentrací na vztažené podmínky

Podle stavu plynu lze koncentraci znečišťující látky obecně vyjádřit jako:

- C [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$] ... koncentrace za skutečného stavu plynu (teplota T [K], tlak p [Pa], vlhký plyn);
- C_N [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$] ... koncentrace ve vlhkém plynu za normálních podmínek ($T_N = 273,15$ K, $p_N = 101\,325$ Pa);
- $C_{s,N}$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$] ... koncentrace v suchém plynu za normálních podmínek;
- $C_{s,N}^R$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]... koncentrace v suchém plynu za normálních podmínek, přepočtená na referenční obsah kyslíku.

Pro jednotlivé přepočty lze z bilanční rovnice pro hmotnostní tok emise znečišťující látky psát

$$C_N = C \frac{P_N}{P} = C \frac{\rho_N T}{\rho T_N} \quad (4)$$

$$C_{s,N} = C_N \frac{100}{100 - \omega_{H_2O}} \quad (5)$$

$$C_{s,N}^R = C_{s,N} \frac{21 - \omega_{O_2}^R}{21 - \omega_{O_2}} \quad (6)$$

$$C_{s,N}^R = C \frac{P_N T}{P T_N} \frac{100}{100 - \omega_{H_2O}} \frac{21 - \omega_{O_2}^R}{21 - \omega_{O_2}} \quad (7)$$

kde ω_{H_2O} [%] značí objemový podíl vodní páry v plynu, ω_{O_2} [%] skutečný obsah O_2 v plynu a $\omega_{O_2}^R$ [%] referenční obsah O_2 v plynu. Obsah vodní páry v plynu ω_{H_2O} lze vyjádřit různým způsobem – pomocí parciálního tlaku vodní páry p_p [Pa], měrné vlhkosti plynu x [$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$] nebo s použitím tzv. fiktivní vlhkosti f_N [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]. Ze vztahu (6) např. vyplývá, že známe-li koncentraci v suchém plynu za normálních podmínek $C_{s,N}$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$], potom k vyjádření koncentrace $C_{s,N}^R$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$], kterou již můžeme porovnat s emisním limitem, postačí pouze znalost hodnot skutečného obsahu O_2 v plynu ω_{O_2} [%] a referenčního obsahu O_2 v plynu $\omega_{O_2}^R$ [%].

Stanovení spotřeby spalovacího vzduchu a objemu vzniklých spalin

Pro potřeby výpočtů objemů spotřebovaného spalovacího vzduchu a vzniklého objemu spalin po spálení jednotkového množství paliva jsou udávány jednak:

- objemy minimální za normálních podmínek, tj. teoretická nejmenší spotřeba spalovacího vzduchu a teoretický (nejmenší) objem vzniklých spalin;
- objemy skutečné za normálních podmínek, tj. objem spalovacího vzduchu při součiniteli přebytku spalovacího vzduchu α a objem vzniklých spalin při součiniteli přebytku spalovacího vzduchu α .

Tab. 11 Emisní faktory při spalování tuhých paliv

Druh paliva	Druh topeniště	Tepelný výkon kotle	Emisní faktor [kg/t spáleného paliva]				
			TZL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky [jako Σ C]
všechna tuhá paliva mimo černé uhlí a koks	pevný rošt	jakýkoliv	1,0.A _p	19,0.S _p	3,0	45,0	8,90
		jakýkoliv	1,0.A _p	19,0.S _p	1,5	45,0	8,90
hnědé uhlí, proplástek, lignit, brikety	pásový rošt	≤ 3 MW	1,9.A _p	19,0.S _p	3,0	5,0	1,29
		> 3 MW	1,9.A _p	19,0.S _p	3,0	1,0	0,43
		≤ 3 MW	1,7.A _p	19,0.S _p	3,0	5,0	1,29
		> 3 MW	1,7.A _p	19,0.S _p	7,5	1,0	0,43
všechna tuhá paliva mimo černé uhlí a koks	pásový rošt s pohazovačem	jakýkoliv	5,0.A _p	19,0.S _p	3,0	1,0	0,40
	pohyblivý rošt		3,5.A _p	19,0.S _p	3,0	1,0	0,40
	granulační		8,5.A _p	19,0.S _p	6,0	0,5	0,14
	výtavné		5,5.A _p	19,0.S _p	15,0	0,5	0,14
	cyklonové		1,5.A _p	19,0.S _p	27,5	1,0	0,40
černé uhlí a koks	pásový rošt s pohazovačem	jakýkoliv	5,0.A _p	19,0.S _p	7,5	1,0	0,42
	pohyblivý rošt		3,5.A _p	19,0.S _p	7,5	1,0	0,40
	granulační		8,5.A _p	19,0.S _p	9,0	0,5	0,14
	tavicí		5,5.A _p	19,0.S _p	15,0	0,5	0,14
	cyklonové		1,5.A _p	19,0.S _p	27,5	0,5	0,40
dřevo	jakékoliv	≤ 3 MW	12,5	1,0	3,0	1,0	0,89
		> 3 MW	15,0	1,5	3,0	1,0	0,89

Pozn: A_p a S_p značí obsah popela a síry v původním palivu [%].

Tab. 12 Emisní faktory při spalování kapalných paliv

Druh paliva	Druh topeniště	Tepelný výkon kotle	Emisní faktor [kg/t spáleného paliva]				
			TZL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky [jako Σ C]
těžký a střední topný olej	jakékoliv	≤ 100 MW	2,91	20.S	10,0	0,53	0,29
		> 100 MW	1,06	20.S	13,4	0,42	0,20
lehký topný olej	jakékoliv	jakýkoliv	2,13	20.S	10,0	0,59	0,34
nafta a pod. paliva	jakékoliv	jakýkoliv	1,42	20.S	5,0	0,71	0,34
propan a butan	jakékoliv	≤ 3 MW	0,45	0,02.S (0,004)	2,4	0,46	0,09
		> 3 MW	0,42	0,02.S (0,004)	2,8	0,37	0,04

Pozn: S značí obsah síry v původním vzorku paliva v [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$] u propan-butanu a v [% hmot.] u ostatních kapalných paliv. Pokud není znám obsah síry S, používají se hodnoty v závorkách.

Tab. 13 Emisní faktory při spalování plyných paliv (výběr)

Druh paliva	Druh topeniště	Tepelný výkon kotle	Emisní faktor [kg/10 ⁶ m ³ spáleného paliva]				
			TZL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky [jako Σ C]
zemní plyn	jakékoliv	≤ 0,2 MW	20	2,0.S (9,6)	1600	320	64
		> 0,2 MW až do 5 MW včetně	20	2,0.S (9,6)	1920	320	64
		> 5 MW až do 50 MW včetně	20	2,0.S (9,6)	3300	270	24
		> 50 MW až do 100 MW včetně	20	2,0.S (9,6)	4200	270	24
		> 100 MW	20	2,0.S (9,6)	5000	270	8

Pozn: S značí obsah síry v původním vzorku paliva v [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]. Pokud není znám obsah síry S, používají se hodnoty v závorkách.

Tab. 14 Prvkové složení paliva

A _p [%]	W _p [%]	S _p [%]	C _p [%]	H _p [%]	N _p [%]	O _p [%]
10,77	35,28	0,60	38,97	3,04	0,51	10,83

Tab. 15 Emisní faktory pro TZL, SO₂ a NO_x u parního kotle s pásovým pohazovačem

Druh paliva	Druh topeniště	Tepelný výkon kotle	Emisní faktor [kg/t]		
			TZL	SO ₂	NO _x
všechna tuhá paliva mimo černé uhlí a koks	pásový rošt s pohazovačem	jakýkoliv	5,0.A _p	19,0.S _p	3,0
			53,85 (0,269)	11,4	3,0

Součinitel přebytku spalovacího vzduchu je zjednodušeně odvozen pro dokonalé spalování z objemu volného kyslíku ve spalinách ω_{O₂}, který lze stanovit měřením vhodným kyslíkovým analyzátozem spalin. Mezi α a ω_{O₂} platí jednoduchý vztah

$$\alpha = \frac{21}{21 - \omega_{O_2}} \quad (8)$$

Při výpočtu objemů spotřebovaného spalovacího vzduchu a vzniklého objemu spalin po spálení jednotkového množství paliva se pracuje s následujícími objemy vzduchu a spalin:

V_{vs min} [m³/kg] minimální objem suchého vzduchu potřebný pro spálení 1 kg paliva,

V_{vv min} [m³/kg] minimální objem vlhkého vzduchu potřebný pro spálení 1 kg paliva,

V_{ss min} [m³/kg] minimální objem suchých spalin vzniklých spálením 1 kg paliva,

V_{sv min} [m³/kg] minimální objem vlhkých spalin vzniklých spálením 1 kg paliva.

Pro přepočítání minimálního objemu suchého vzduchu na vlhký vzduch lze použít vztah

$$V_{vv \min} = \phi \cdot V_{vs \min} \quad (9)$$

kde součinitel φ je přibližně 1,016 (pro vzduch s relativní vlhkostí 60 % a teplotou 20 °C).

Dále obecně platí

$$V_{sv \min} = V_{ss \min} + V_{H_2O} \quad (10)$$

$$V_{ss \min} = V_{N_2} + V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{Ar} \quad (11)$$

kde objem

V_{N₂} N₂ ve spalinách [m³.kg⁻¹, nebo m³.m⁻³],

V_{H₂O} vodních par ve spalinách [m³.kg⁻¹, nebo m³.m⁻³],

V_{CO₂} CO₂ ve spalinách [m³.kg⁻¹, nebo m³.m⁻³],

V_{SO₂} SO₂ ve spalinách [m³.kg⁻¹, nebo m³.m⁻³],

V_{Ar} Ar ve spalinách [m³.kg⁻¹, nebo m³.m⁻³].

K přesnému stanovení minimálních objemů suchých a vlhkých spalin dle vztahů (10) a (11), ale i výpočtu minimálního objemu suchého vzduchu potřebného ke spálení 1 kg paliva, je nutná znalost prvkového složení paliva a výpočet jednotlivých složek vychází z příslušných rovnic pro spalování prvků hořlaviny a ze složení vzduchu pro spalování.

Pro objem vlhkého a suchého vzduchu V_{vv} a V_{vs} při spalování s přebytkem vzduchu α platí

$$V_{vv} = V_{vv \min} \alpha \quad [m^3.kg^{-1}, \text{ nebo } m^3.m^{-3}] \quad (12)$$

a obdobně

$$V_{vs} = V_{vs \min} \alpha \quad [m^3.kg^{-1}, \text{ nebo } m^3.m^{-3}] \quad (13)$$

Skutečný objem vlhkých spalin při teplotě spalin t_s [°C] a absolutním tlaku p_s [Pa] a při dokonalém spalování s přebytkem vzduchu α můžeme určit dle vztahu

$$V_{sv} = [V_{sv \min} + (\alpha - 1)V_{vv \min}] \frac{273,15 + t_s}{273,15} \cdot \frac{101325}{p_s} \quad [m^3.kg^{-1}, \text{ nebo } m^3.m^{-3}] \quad (14)$$

Pro objem suchých spalin za normálních podmínek a při dokonalém spalování s přebytkem vzduchu α platí vztah

$$V_{ss} = V_{ss \min} + (\alpha - 1)V_{vs \min} \quad [m^3.kg^{-1}, \text{ nebo } m^3.m^{-3}] \quad (15)$$

Vztahy pro přibližné určení spotřeby spalovacího vzduchu a množství spalin

V mnoha případech neznáme přesné složení paliva, pro které chceme přibližně určit spotřebu spalovacího vzduchu a množství vzniklých spalin. Pokud známe výhřevnost paliva, můžeme použít **přibližných vztahů**.

Všechny dále uváděné vztahy pro výpočet spotřeby spalovacího vzduchu a pro výpočet objemu vzniklých spalin jsou přibližné, protože jsou odvozeny pro výhřevnost paliva o průměrném prvkovém složení a průměrném obsahu vody a popelovin v palivu. Výsledné vztahy jsou tedy platné pro 1 kg paliva (1 m³ plynného paliva za normálních podmínek) a udávané objemy jsou všechny platné pro normální podmínky.

Pro paliva s výhřevností Q_N [MJ.kg⁻¹ pro pevná a kapalná paliva nebo MJ.m⁻³ pro plynná paliva] můžeme použít pro dokonalé spalování a α=1 Rosin – Fehlingovy vztahy:

$$V_{vs \min} = K_1 \frac{Q_N}{4,187} + K_2 \quad [m^3.kg^{-1}, \text{ nebo } m^3.m^{-3}] \quad (16)$$

$$V_{sv \min} = K_3 \frac{Q_N}{4,187} + K_4 \quad [m^3.kg^{-1}, \text{ nebo } m^3.m^{-3}] \quad (17)$$

kde jsou K₁ až K₄ konstanty, jejichž hodnoty jsou v tab. 16.

Tab.16 – Hodnoty konstant K₁ až K₄ pro přibližné určení V_{vs min} a V_{sv min}

PALIVA	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
všechna pevná paliva s výjimkou odpadů	1,012	0,5	0,95	1,375
kapalná paliva	0,85	2,0	1,11	0
plynná paliva s Q _N < 12,6 MJ.m ⁻³	0,92	-0,08	0,76	0,87
plynná paliva s Q _N > 12,6 MJ.m ⁻³	1,07	0	1,09	0,47

Pro uhlí platí přibližný vztah

$$V_{ss \min} = V_{vv \min} \quad [m^3.kg^{-1}] \quad (18)$$

Pro ropné lehké topné oleje platí přibližná hodnota

$$V_{ss \min} = V_{sv \min} - 1,46 \quad [m^3.kg^{-1}] \quad (19)$$

Pro metanový zemní plyn platí přibližná hodnota

$$V_{ss \min} = V_{sv \min} - 2,11 \quad [m^3.m^{-3}] \quad (20)$$

Uvedené vztahy umožňují přibližné stanovení objemu suchých spalin za normálních podmínek při dokonalém spalování s přebytkem vzduchu α, tj. hodnoty V_{ss} [m³.kg⁻¹, nebo m³.m⁻³] dle vztahu (15). Postup při výpočtu je následující.

Pro kapalná a plynná paliva se hodnota $V_{vs\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$, nebo $m^3 \cdot m^{-3}$] stanoví dle vztahu (16) a hodnota $V_{ss\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$, nebo $m^3 \cdot m^{-3}$] podle druhu paliva dle vztahu (19) nebo (20). Hodnota $V_{sv\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$, nebo $m^3 \cdot m^{-3}$] v těchto vztazích se stanoví dle vztahu (17).

U spalování tuhých paliv je postup stanovení hodnoty V_{ss} [$m^3 \cdot kg^{-1}$] dle vztahu (15) poněkud odlišný. Nejprve se stanoví hodnota $V_{vs\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$] dle vztahu (16) a hodnota $V_{ss\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$] dle přibližného vztahu (18) jako $V_{vv\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$]. Hodnota $V_{vv\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$] se pak stanoví s použitím vztahů (9) a opět (16). Další postup je stejný jako u kapalných a plyných paliv. S ohledem na použití vztahu (18) ke stanovení objemu $V_{ss\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$] je uvedený postup velmi přibližný.

Pro česká hnědá i černá tržní uhlí lze s výhodou použít pro výpočet objemu spalovacího vzduchu a vzniklých spalin s dostatečnou přesností vztahy dle Dlouhého [2]. Tyto vztahy lze použít i pro dokonalé spalování s přebytkem vzduchu α . Pro všechny teoretické objemy vzduchu a spalin (suché i vlhké) platí jediný regresní vztah

$$V_{xx\ min} = aQ_N + b \quad [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (21)$$

kde konstanty a a b mají hodnoty uvedené v tab. 17.

Tab.17 Hodnoty konstant a a b pro přibližné vztahy dle [2]

$V_{xx\ min}$	a	b	Průměrná chyba [%]
suchý vzduch $V_{vs\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$]	0,2607	0,1380	3,42
vlhký vzduch $V_{vv\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$]	0,2649	0,1402	3,42
suché spaliny $V_{ss\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$]	0,2533	0,1474	3,26
vlhké spaliny $V_{sv\ min}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$]	0,2500	0,9190	3,18

S využitím vztahů dle (21) lze úpravou vztahů (15) a (14) odvodit pro objem suchých a vlhkých spalin při součiniteli přebytku spalovacího vzduchu α pro česká uhlí aproximační vztahy

$$V_{ss} = (0,2607 \alpha - 0,0074) Q_N + 0,138 \alpha + 0,0094 \quad [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (22)$$

a

$$V_{sv} = (0,2649 \alpha - 0,0149) Q_N + 0,1402 \alpha + 0,7788 \quad [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (23)$$

Stanovení předpokládané koncentrace znečišťující látky a její porovnání s emisním limitem

Jak již bylo naznačeno v úvodu části 5.3, výpočet koncentrace znečišťující látky předpokládá znalost hmotnostního toku dané znečišťující látky a objemového průtoku spalin za definovaných podmínek.

Známe-li proto objem suchých spalin za normálních podmínek V_{ss} [$m^3 \cdot kg^{-1}$, nebo $m^3 \cdot m^{-3}$] a měrnou emisí znečišťující látky M_{zL} [$kg \cdot t^{-1}$, nebo $kg \cdot 10^{-6} m^{-3}$], stanovenou s využitím emisních faktorů, můžeme jednoduše stanovit $C_{s,N}$ [$mg \cdot m^{-3}$] – předpokládanou koncentraci znečišťující látky v suchém plynu za normálních podmínek. Protože známe přebytek vzduchu α a s využitím vztahu (8) i objem volného kyslíku ve spalinách ω_{O_2} , můžeme koncentraci $C_{s,N}$ [$mg \cdot m^{-3}$] přepočítat s využitím vztahu (6) na koncentraci $C_{s,N}^R$ [$mg \cdot m^{-3}$] a tuto koncentraci přímo porovnat s příslušným emisním limitem.

Nutno zdůraznit, že jediným vstupem do výpočtů předpokládaných koncentrací je výhřevnost paliva Q_N [$MJ \cdot kg^{-1}$ pro pevná a kapalná paliva nebo $MJ \cdot m^{-3}$ pro plyná paliva], přebytek spalovacího vzduchu α a měrné výrobní emise, stanovené s použitím emisních faktorů příslušných znečišťujících látek.

Příklady výpočtu předpokládané koncentrace

Jako názorný příklad 1 je uveden výpočet předpokládané koncentrace SO_2 u parního středotlakého kotle s pásovým pohazovačem o jmenovitém parním výkonu $8\ t \cdot h^{-1}$, který s přebytkem spalovacího vzduchu $\alpha = 1,6$ spaluje směs hnědouhelných hruboprachů s výhřevností $Q_N = 15,01\ MJ \cdot kg^{-1}$ a obsahem síry $S_p = 0,6\ \%$.

Pro výpočet objemu spalin V_{ss} [$m^3 \cdot kg^{-1}$] použijeme vztah (22). Dosazením do tohoto vztahu dostaneme $V_{ss} = 6,3801\ m^3 \cdot kg^{-1}$.

Emisní faktor pro SO_2 se dle tab.11 stanoví jako $f_{SO_2} = 19 \cdot S_p\ kg \cdot t^{-1}$, kde S_p je sirnatost v původním palivu v %. Dosazením za $S_p = 0,6$ dostaneme $f_{SO_2} = 11,4\ kg \cdot t^{-1} = 11\ 400\ mg \cdot kg^{-1}$. Spálením 1 kg původního paliva vznikne hmotnostní množství SO_2 , $M_{SO_2} = 11\ 400\ mg$. Koncentrace SO_2 v suchém plynu za normálních podmínek $C_{SO_2,s,N}$ je potom rovna

$$C_{SO_2,s,N} = M_{SO_2} / V_{ss} = 1787\ mg \cdot m^{-3}$$

Ze vztahu (8) vyplývá, že přebytku spalovacího vzduchu $\alpha = 1,6$ odpovídá obsah O_2 ve spalinách $\omega_{O_2} = 7,875\ \%$.

Koncentraci SO_2 v suchém plynu za normálních podmínek a referenčním obsahem kyslíku ve spalinách $C_{SO_2,s,N}^R$ stanovíme výpočtem podle (6), kde za referenční obsah O_2 v plynu $\omega_{O_2}^R$ dosazujeme 6 % (viz Příloha č. 4 k nařízení vlády č. 352/2002 Sb., zde tab. 3). Výpočtem vyplývá $C_{SO_2,s,N}^R = 2\ 042\ mg \cdot m^{-3}$, což je hodnota, která je nižší než hodnota emisního limitu SO_2 pro velké a střední zdroje spalující tuhá paliva $2\ 500\ mg \cdot m^{-3}$ (tab. 3). Lze proto předpokládat, že při provozu uvedeného spalovacího zdroje bude s dostatečnou rezervou dodržen emisní limit pro SO_2 .

Jako příklad 2 jsme vybrali výpočty předpokládaných koncentrací NO_x a CO pro pravděpodobně nejvíce se vyskytující aplikace v současné praxi – plynový kotél na zemní plyn s atmosférickým hořákem. Pro tento typ kotle o výkonu 300 kW jsou „emisní“ výpočty následující.

Pro výpočet objemu spalin předpokládáme výhřevnost zemního plynu (tranzitní plynovod) $Q_N = 35,87\ MJ \cdot m^{-3}$. Minimální objem suchého vzduchu pro spalování $V_{vs\ min}$ [$m^3 \cdot m^{-3}$] se stanoví podle vztahu (16) a minimální objem vzniklých vlhkých spalin $V_{sv\ min}$ [$m^3 \cdot m^{-3}$] dle vztahu (17), kde za konstanty K_1 až K_4 použijeme hodnoty z tab. 16 ($K_1 = 1,07$, $K_2 = 0$, $K_3 = 1,09$ a $K_4 = 0,47$). Výpočtem vycházejí objemy $V_{vs\ min} = 9,167\ m^3 \cdot m^{-3}$ a $V_{sv\ min} = 9,808\ m^3 \cdot m^{-3}$. Pro stanovení minimálního objemu suchých spalin $V_{ss\ min}$ [$m^3 \cdot m^{-3}$] použijeme vztah (20), odkud výpočtem vyplývá $V_{ss\ min} = 7,698\ m^3 \cdot m^{-3}$. Při výpočtu objemu suchých spalin za normálních podmínek V_{ss} [$m^3 \cdot m^{-3}$] uvažujeme reálnou hodnotu přebytku spalovacího vzduchu $\alpha = 1,2$. S použitím vztahu (15) vyplývá $V_{ss} = 9,531\ m^3 \cdot m^{-3}$.

Emisní faktory pro NO_x a CO u plynového kotle s jmenovitým výkonem 300 kW jsou dle hodnot v tab.13 následující: $f_{NO_x} = 1\ 920\ kg \cdot 10^{-6} m^{-3}$ a $f_{CO} = 320\ kg \cdot 10^{-6} m^{-3}$. Spálením 1 m^3 zemního plynu tedy průměrně vzniká $M_{NO_x} = 1\ 920\ mg\ NO_x$ a $M_{CO} = 320\ mg\ CO$.

Koncentrace NO_x v suchém plynu za normálních podmínek $C_{NO_x,s,N}$ je potom rovna

$$C_{NO_x,s,N} = M_{NO_x} / V_{ss} = 201\ mg \cdot m^{-3}$$

a koncentrace CO v suchém plynu za normálních podmínek $C_{CO,s,N}$ je

$$C_{CO,s,N} = M_{CO} / V_{ss} = 33,6\ mg \cdot m^{-3}$$

Přebytku spalovacího vzduchu $\alpha = 1,2$ odpovídá dle vztahu (8) hodnota obsahu kyslíku ve spalinách $\omega_{O_2} = 3,5\ \%$. Koncentrace NO_x a CO v suchém plynu za

normálních podmínek a referenčním obsahu kyslíku ve spalínách $C_{\text{NO}_x, \text{s}, \text{N}}^{\text{R}}$ a $C_{\text{CO}_2, \text{s}, \text{N}}^{\text{R}}$ stanovíme výpočtem dle (6), kde za referenční obsah kyslíku v plynu $\omega_{\text{O}_2}^{\text{R}}$ dosazujeme u spalovacích zařízení spalující plyná paliva hodnotu 3 % (viz Příloha č. 4 k nařízení vlády č. 352/2002 Sb. a zde tab.6). Výpočtem vyplývá $C_{\text{NO}_x, \text{s}, \text{N}}^{\text{R}} = 206,7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $C_{\text{CO}_2, \text{s}, \text{N}}^{\text{R}} = 34,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Z výpočtu předpokládaných koncentrací a porovnání s odpovídajícími hodnotami emisních limitů vyplývá zjištění, že u NO_x se mírně překračuje hodnota emisního limitu pro kotle spalující plyná paliva $200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 6) a u CO je hodnota předpokládané koncentrace nižší než hodnota emisního limitu $100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. „Překvapující“ zjištění u NO_x je způsobeno skutečností, že na jedné straně je hodnota emisního limitu pro NO_x relativně nízká a na druhé straně je použitý emisní faktor pro NO_x , jako střední hodnota měrných výrobních emisí u podobných zdrojů, relativně vysoký. Lze tedy očekávat, že u daného plynového kotle se mohou bez náležitého seřízení spalovacího procesu vyskytovat z hlediska splnění emisních limitů NO_x určité problémy.

ZÁVĚR

V příspěvku jsou objasněny základní pojmy při spalování paliv, objasněny mechanismy vzniku základních znečišťujících látek při spalování fosilních paliv, dřeva a biomasy a jejich působení v ovzduší zejména na lidský organismus. Blíže je popsána nová legislativa v ochraně ovzduší se zaměřením na spalova-

cí zdroje. Jsou vysvětleny základní pojmy v ochraně ovzduší, uvedena kategorizace spalovacích zdrojů a shrnuty základní povinnosti provozovatelů těchto zdrojů. Je podána informace o zjišťování emisí znečišťujících látek, poplatcích za znečišťování. Velká pozornost je věnována stanoveným emisním limitům pro velké a střední spalovací zdroje. Stručně jsou shrnuty i povinnosti provozovatelů malých spalovacích zdrojů. Zvláštní pozornost je věnována přibližnému stanovení emisí a koncentrací základních znečišťujících látek výpočtem. Pro tyto účely jsou u jednotlivých druhů paliv a topenišť uvedeny hodnoty emisních faktorů těchto látek. Je uveden příklad výpočtu ročních emisí tří hlavních znečišťujících látek – TZL, SO_2 a NO_x . Pro účely přibližného stanovení koncentrací znečišťujících látek a jejich porovnání s emisními limity jsou uvedeny přepočítávací vztahy pro koncentrace znečišťující látky, je naznačen přesný postup stanovení spotřeby spalovacího vzduchu a objemu vzniklých spalín a jsou uvedeny přibližné vztahy pro stanovení těchto objemů při spalování, které vyžadují pouze znalost výhřevnosti paliva, přebytku spalovacího vzduchu. Závěrem jsou uvedeny příklady výpočtů předpokládaných koncentrací vybraných znečišťujících látek u dvou typů spalovacích zdrojů (kotlů) a jejich porovnání s platnými emisními limity.

Použité zdroje:

- [1] Indoor Pollutants, National Research Council, NAP 1981, pp. 354–358
- [2] DLOUHÝ, T: *Výpočet objemů vzduchu a paliv z výhřevnosti uhlí*. Energetika, 2000, roč. 50, č. 10, str. 320–321. ■