

Měrné emise škodlivin ze zdrojů malých výkonů

Tadeáš Ochodek¹ a Jiří Horák¹

Specific Emissions of Harmful Substances from Small Boilers

Coal is one of the most important energy sources and its significance will increase in the future. In the Czech Republic coal is except elsewhere widely used as a fuel for combustion in small boilers (up to 50 kW). Low efficiency of the small boilers which is often below 50% together with high emissions of the harmful substances into the surroundings cause in average 40 – 70% of total local air pollution. The research was performed in a scope of the Grant no. 101/98/0820 of Grant Agency of the Czech Republic was focused on quality of combustion process related to combustion efficiency and creation of harmful substances at combustion of domestic fuels. Experiments were performed to compare combustion of brown coal, clack coal, coke and black coal slurry.

Extremely high creation of harmful substances (CO, NO_x, solid particles and organic substances) was measured when the black coal slurry was used as a fuel, measured in kg of emissions per GJ of burned fuel. Combustion of brown coal produced significant emissions of solid particles which bond harmful substances as metals, polyaromatic hydrocarbons and others) together with high emissions of SO₂. Strong dependence between emissions of CO and low quality of combustion given by low combustion temperature, shortage of combustion air, not suitable design of after-combustion chamber and short duration of fuel presence in a combustion area was found out. Emissions of wide range of metals were investigated.

The results of the research grant project describe and explain the combustion process and creation of harmful substances in small boilers plus give suggestions and recommendations leading to rational operation of the small boilers and lowering their negative impact to environment.

Key words: air pollution, environment, small boiler, emission.

Přes narůstající podíl plynových kotlů v této výkonové kategorii, t.j. do cca 50 kW, je žádoucí věnovat pozornost problematice kotlů, spalujících uhlí, případně z uhlí odvozená paliva. Vyplývá to z budoucího významu uhlí jako zdroje energie, stejně jako z problému většiny současných konstrukcí, dodržet přijatelné emisní limity škodlivin při zachování výkonových charakteristik.

Světová výzkumná střediska, která se zabývají výzkumem nových možností spalování uhlí ve zdrojích malých výkonů, svůj zájem soustřeďují vždy na spalování lokálních druhů uhlí. Důraz je kladen nejen na ekologický provoz s minimální tvorbou škodlivin, současně je však pozornost věnována i zvyšování účinnosti spalování s cílem maximálního využití fosilního paliva.

Ze zkušeností řešitelů z dřívějšího období vyplynula skutečnost, že není možno vždy aplikovat výsledky výzkumných prací, prováděných při spalování zahraničních paliv, na domácí podmínky, a to z důvodu často velmi odlišných vlastností místní palivové základny.

V České republice je většina aktivit v oblasti malých zdrojů zaměřena na jejich plynofikaci. Pro výzkum spalování uhlí u těchto zdrojů chybí teoretická základna, ze které by mohli vycházet výrobci při návrhu nových zdrojů malých výkonů. Současní domácí výrobci těchto zařízení uplatňují své výrobky zejména na trzích, které nevyžadují přísné dodržování emisních limitů a nekladou takový důraz na jejich provoz s maximální účinností. Postupně lze však očekávat i na těchto trzích zhoršování podmínek pro uplatnění koncepčně zastaralých výrobků. Provoz malých zdrojů spalujících uhlí v České republice je charakteristický nejen spalováním nevhodných (méněhodnotných) druhů paliv, rovněž současná technická úroveň používaných kotlů neodpovídá ekonomicko-ekologickému trendu.

Nízká účinnost spalování těchto zdrojů, která někdy dosahuje pouze cca 50 %, spolu s rozptylem škodlivin do bezprostředního okolí zdrojů (nízké komíny), způsobuje značné znečištění ovzduší v přízemních vrstvách toxickými sloučeninami jako CO, NO_x, SO₂, prach, Cl⁻, F⁻, uhlovodíky, těžkými kovy a pod. Podle zahraničních zdrojů (IPCHW, 1996) dosahuje podíl znečištění ovzduší vlivem provozu zdrojů malých výkonů spalujících tuhá paliva až v průměru 40÷70 % z celkového lokálního znečištění.

¹ Dr. Ing. Tadeáš Ochodek a Ing. Jiří Horák, VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky (Recenzovaná a revidovaná verze doručena 30.10.1998)

Rychlá výměna všech těchto zdrojů spalujících uhlí za jiné, není z důvodu vysoké finanční náročnosti možná. Zdroje malých výkonů, spalující tuhá paliva, budou zřejmě i v budoucnu provozovány, a to zejména v oblastech, do kterých bude doprava ušlechtilějších druhů paliv neekonomická.

Jednou z dalších příčin neutěšeného stavu v této oblasti je skutečnost, že zákony a příslušné prováděcí vyhlášky stanovují podmínky pro provoz a emisní limity pouze u zařízení, která mají výkon větší než 200 kW. Zde je v porovnání se stavem legislativy platné ve vyspělých zemích značná mezera.

Náš výzkum je prováděn v rámci řešení grantu GAČR č. 101/98/0820 a je zaměřen na hodnocení kvality spalovacího procesu ve vztahu k účinnosti spalování a tvorbě škodlivin při spalování domácích druhů paliv.

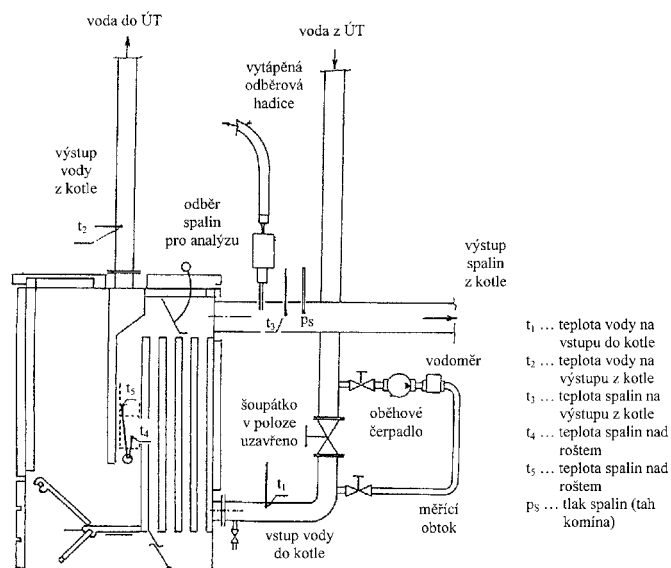
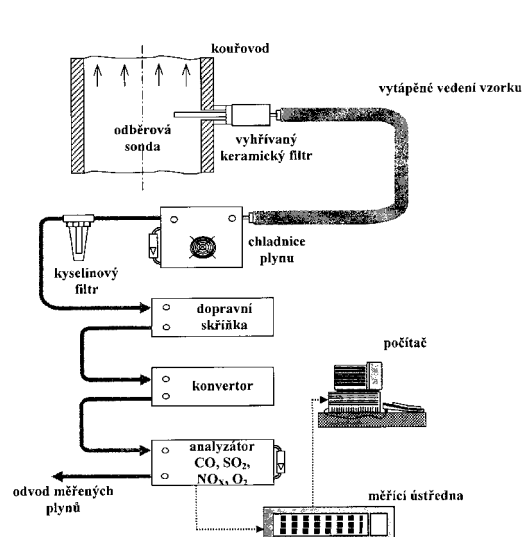
V případě malých kotlů rozhoduje o kvalitě spalovacího procesu řada faktorů. K těm nejvýznamnějším patří :

- způsob přívodu paliva (kontinuální-mechanický nebo periodický-ruční),
- tvar, objem a konstrukční řešení spalovací komory a teplosměnných ploch ve vztahu k výkonu zařízení,
- druh spalovaného paliva a jeho kvalitativní parametry (vedle obvyklého prvkového rozboru a výhřevnosti, rovněž např. spékavost uhlí a granulometrie).

Pro provádění výzkumných experimentálních prací byla vybrána typická spalovací zařízení domácích výrobců, a to samotížných roštových kotlů; kotle typu K-33 o výkonu 33 kW, jehož výrobcem je v.d. Kovoděl Moravský Písek a kotle typu U22 o výkonu 22 kW, jehož výrobcem je a.s. ŽDB Bohumín, závod Viadrus. U obou spalovacích zařízení byly provedeny komplexní spalovací zkoušky při spalování černého uhlí OKD, tříděného hnědého uhlí MUS, OKD-kalů a OKD-koksu.

Spalovací zkoušky na kotlích K33 a U22 byly prováděny na zařízeních, provozovaných ve skutečných provozních podmínkách. Měřicí místa byla upravena v souladu s požadavky metodiky měření a současně byly na kotlích instalovány měřicí přístroje a odběrové sondy pro stanovení účinností kotlů a množství vypouštěných emisí. Schéma odběrové trasy pro kontinuální analýzu spalin je uvedeno na obr.1. Schéma měřicího místa kotle K33 uvádí obr.2. Obdobně bylo řešeno i měřicí stanoviště při spalovacích zkouškách na kotli U22.

Pro porovnání výsledků experimentálních prací byla dále provedena měření průběhu spalovacího procesu a měření emisí u kotle moderní konstrukce, od anglického výrobce STROKE & ORCHARD, s označením CRE-25. S ohledem na skutečnost, že dodané palivo pro zkoušky na uvedeném kotli (černé uhlí OKD) nevyhovělo testů na spékavost, byly zkoušky provedeny na dvou druhích polských černých uhlí (černé uhlí I a černé uhlí II, viz. následné tabulky a graf). Měření kotle CRE bylo provedeno na akreditované zkušebně v IPCHW v Polsku.



Obr.1. Schéma aparatury pro kontinuální analýzu plyných složek spalin. Obr.2. Schéma měřicího místa kotle K33.

Kromě uvedených měření byla provedena měření emisí na dalších 16 kotlích, a to s cílem, získat další podklady pro zobecnění získaných hodnot emisí do emisních faktorů.

V rámci řešení grantu byla zpracována podrobná metodika měření, která umožnila porovnání výsledků získaných při zkouškách ve zkušebně a výsledků, získaných při zkouškách, prováděných na reálně provozovaných zdrojích.

Pro kontinuální analýzu plyných složek spalin (SO_2 , NO_x , CO , CO_2 a O_2) bylo použito kontinuálních přístrojů, zabudovaných do měřicího vozu řešitele.

Koncentrace uhlovodíků byly stanovovány analyticky dle příslušných norem, koncentrace tuhých částic byly stanoveny pomocí izokinetické gravimetrické aparatury, která umožňuje následnou analýzu odebraných vzorků ke stanovení obsahu tuhých anorganických sloučenin (kovů).

Kromě analýzy plyných složek spalin byly měřeny další veličiny, jako výkon kotle, teplota vody na vstupu do kotle, teplota vody na výstupu z kotle, teplota spalin za kotlem, množství spalovaného paliva. Na základě naměřených údajů byla stanovena účinnost kotle nepřímou a přímou metodou. U všech spalovaných paliv a jejich zbytků po spalování byla provedena laboratorní analýza.

Spalovací zkoušky kotle K33 prokázaly, že ačkoliv byl kotel výrobcem deklarován jako kotel na spalování hnědého uhlí, velmi dobrých výsledků bylo dosaženo i při spalování koksu. Provozovatel kotle používá koks jako své běžné palivo v uvedeném kotli již 8 let, takže je možno provést závěr, že spalování koksu u tohoto kotle nemá podstatný vliv na snížení jeho životnosti. Kotel je konstruován jako samotižný (ruční doprava paliva), dostatečně dimenzován zásobník paliva zajišťuje jeho dlouhý provoz bez nutnosti častých zásahů obsluhy. Konstruktivní řešení přívodu spalovacího vzduchu do kotle umožňuje jeho regulaci dle velikosti štěrbin víka přívodu vzduchu. Kotel je rovněž vybaven přívodem sekundárního vzduchu.

Pro spalovací zkoušky dodali dodavatele hnědého uhlí a koksu palivo o velmi nízkém podílu prachových částic (do 5 % částic o velikosti do 5 mm). Zvýšený obsah prachového podílu byl zjištěn u černého uhlí OKD a způsoboval nadměrnou tvorbu CO při spalování. Prachový podíl omezuje přístup spalovacího vzduchu k částicím paliva, jejich propad roštem zvyšuje rovněž ztrátu mechanickým nedopalem kotle. Vzhledem k tomu, že přívod spalovacího vzduchu je zajišťován pouze jednoduchými štěrbinovými dvířky, není možný jiný přívod při spalování uhlí s větším podílem prachových částí, kromě pootevření těchto dvířek. Obecně bylo dosaženo lepších výsledků emisních charakteristik, než je tomu u zdrojů, publikovaných v odborné literatuře [IPCHW, 1996]. Kromě možných odlišných konstrukcí kotlů, k dalším důvodům patří i skutečnost, že kotle byly obsluhovány v průběhu zkoušek vysoce kvalifikovanými pracovníky. Proto bylo naměřené množství emisí u obou kotlů o 20÷30 % menší než v případech pozdějšího statistického měření emisí dalších kotlů, kdy bylo prováděno měření emisí při běžném provozu kotlů, bez zásahu řešitelů do průběhu spalování. Složení běžných, komerčně nabízených paliv vykazuje odlišnosti vůči palivu, použitému u spalovacích zkoušek, a to zejména ve vyšším obsahu prachového podílu a nižší výhřevnosti. Tabulka č. 1. obsahuje výsledky analytického rozboru spalovaných paliv, použitých u spalovacích zkoušek kotle K33 a kotle U22. Na kotli K33 byly provedeny spalovací zkoušky z hnědým a černým uhlím, koksem a kaly, u kotle U22 byly zkoušky provedeny při spalování koksu.

Extrémně vysoká tvorba škodlivin byla zaznamenána při spalování černouhelných kalů. Zde bylo dosaženo pouze 70 % jmenovitého výkonu kotle. Tabulka č. 2. jednoznačně ukazuje nejvyšší hodnotu měrných emisí při jejich spalování, s výjimkou obsahu SO_2 ve spalinách.

Celkové měrné emise při spalování černouhelných kalů překračují celkové měrné emise při spalování koksu více jak 4 x. Pro názorné srovnání měrných emisí byla provedena jejich indexace, kdy za palivo s koeficientem $k=1$ bylo zvolen koks.

Tab.1. Výsledky laboratorní analýzy spalovaných paliv.

Palivo/Složení	Rozměr	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Č. u. kaly	Koks
Obsah vody W_t^f	% hm.	28.56	11.90	22.07	2.70
Obsah popela A^f	% hm.	8.31	9.62	24.51	9.67
Obsah vodíku H^f	% hm.	3.16	3.09	2.76	0.16
Obsah uhlíku C^f	% hm.	47.11	61.98	45.98	84.68
Obsah dusíku N^f	% hm.	0.60	1.10	0.79	0.91
Obsah kyslíku O^f	% hm.	13.11	8.60	4.6	0.46
Obsah síry vešk. S^f	% hm.	0.61	0.44	0.41	0.39
Výhřevnost Q_i^f	MJ.kg^{-1}	16.93	24.28	17.91	28.97

Tab.2. Experimentálně stan. hodnoty měrných emisí v kg/GJ spáleného paliva.

Složka	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Č. u. kaly	Koks
Tuhé emise	3.913	0.542	3.266	0.321
SO_2	1.611	0.532	0.582	0.400
NO_x	0.279	0.226	0.230	0.242
CO	2.412	5.626	6.167	1.522
Org. látky	0.035	0.022	0.072	0.010
CELKEM	8.25	6.948	10.317	2.495

Tab.3. Indexované hodnoty měrných emisí (pro koks = 1).

Složka	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Č.u. kaly	Koks
Tuhé emise	12.19	1.68	10.17	1.00
SO ₂	4.03	1.33	1.46	1.00
NO _x	1.15	0,934	0,95	1.00
CO	1.58	3.70	4.05	1.00
Org. látky	3.50	2.20	7.20	1.00

Při hodnocení indexovaných hodnot emisí jsou velmi významné emise tuhých částic při spalování hnědého uhlí. Výzkumy, zveřejněné v zahraniční odborné literatuře (IPCHW, 1996) upozorňují na vazbu řady škodlivin na tuhé částice (kovy, polyaromatické uhlovodíky a další). Jejich škodlivost pro lidský organismus je dostatečně prokázána. S ohledem na malý rozptýl škodlivin vypouštěných do ovzduší spalovacími zařízeními malých výkonů (nízká výška komína), může být škodlivost vysoké emise tuhých částic pro lidský organismus naprosto srovnatelná se škodlivostí ostatních, častěji sledovaných škodlivin, jako jsou SO₂ a NO_x. Nejvyšší indexované měrné emise uhlovodíků byly zjištěny při spalování černouhelných kalů.

Zde je jednoznačná vazba na zjištění tvorby CO při spalování. Nevyhovující podmínky pro vyhoření CO (nízká spalovací teplota, nedostatek spalovacího vzduchu, nevhodný tvar a velikost dohořivacího prostoru, krátká doba setrvání paliva v oblasti hoření) vytváří podmínky pro nedokonalé spalování i dalších plynných složek, uvolněných z paliva. Naměřené nejvyšší hodnoty koncentrací uhlovodíků ve spalínách ze všech spalovaných paliv, a to při spalování uhelných kalů, kde byla zjištěna značná tvorba CO, potvrdily předpoklady o jejich výskytu při nedokonalém spálení CO.

Další problémem při spalování tuhých paliv ve zdrojích malých výkonů je sledování obsahu tuhých anorganických sloučenin (kovů) v palivech, ve spalínách a v úletu.

Shromáždění dostatečného množství statistických údajů pro zjištění mechanismu jejich vazeb a přeměn v průběhu spalování, vyžaduje dlouhodobý a koordinovaný výzkum. Zjištěná množství těchto prvků při prováděných spalovacích zkouškách byla doplněna o údaje, získané v průběhu řešení projektu (Heppner, et al., 1991). Přehled získaných výsledků o množství kovů v českých palivech používaných pro spalování ve spalovacích zařízeních malých výkonů, udává tabulka č. 4. Rozbor tabelárních výsledků ukazuje, že rozhodující množství stopových prvků (kovů) je vázáno na pevný úlet. Zde je nutno zdůraznit, že spalovací zařízení malých výkonů nejsou vybavena odlučovací tuhých částic, a proto veškerý pevný úlet je rozptýlen v přízemní vrstvě v blízkosti zdroje znečištění.

Tab.4. Obsah tuhých anorganických sloučenin (kovů) a jejich emise při spalování českých energetických uhlí ve spalovacích zařízeních malých výkonů.

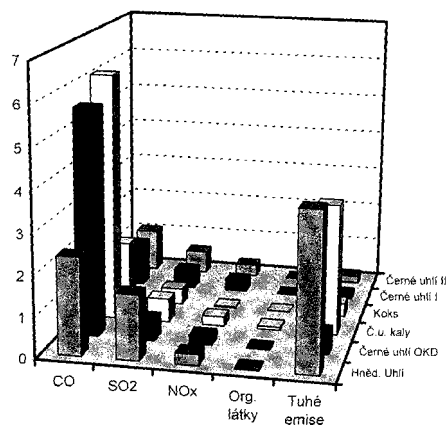
Prvek	Obsah tuhých anorganických sloučenin (kovů) v palivu [g.t ⁻¹ paliva]				Průměrné emise tuh.anorg. sloučenin (kovů) [g.t ⁻¹ spáleného paliva]		
	Střední hodnota.	Směr. Odchylka	Maximum	Minimum	v úletu	v plynu	Celkem
Cr	58,00	22,00	110,00	19,00	6,50	1,40	7,90
Cd	2,70	1,30	5,50	1,00	2,80	1,80	4,60
Co	19,00	9,00	37,00	12,00	2,30	1,90	4,20
Cu	29,00	7,00	61,00	19,00	3,20	1,10	4,30
Ni	45,00	11,00	100,00	15,00	4,80	4,90	9,70
Pb	15,00	3,00	67,00	4,00	1,60	0,00	1,60
Be	3,10	2,00	7,00	1,00	0,40	0,00	0,40
V	113,00	50,00	390,00	5,00	10,20	1,10	11,30
As	45,00	29,00	190,00	1,00	5,20	0,50	5,70
Se	0,60	0,08	1,20	0,30	0,06	0,10	0,16
Hg	0,36	0,20	0,69	0,13	0,10	0,10	0,20
Mn	150,00	60,00	270,00	100,00	16,80	0,00	16,80
Sn	0,80	1,20	8,30	0,40	0,06	0,30	0,36

Spalovací zkoušky kotle CRE v IPCHW Zabře v Polsku

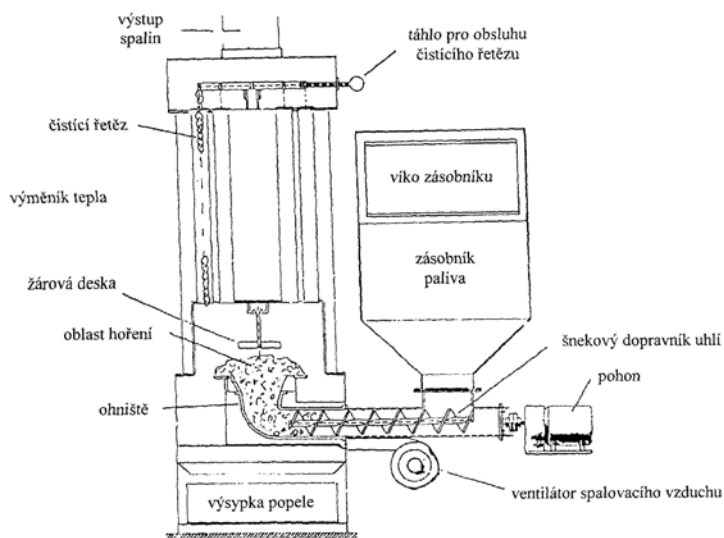
Pro porovnání úrovně vedení spalovacího procesu, technického řešení konstrukce kotle a množství vypouštěných škodlivin byly provedeny spalovací zkoušky kotle typu CRE-25 anglického výrobce fy STOKE & ORCHARD. S ohledem na skutečnost, že dodané uhlí pro zkoušky od společnosti OKD nevyhovělo požadavkům výrobce kotle na spékavost uhlí (požadované parametry uhlí, tj. nízká náchylnost ke spékání, nebyly dodavatelem dodrženy), byla měření provedena na dvou druhích polských černých uhlí.

Popis kotle:

Automatický samočinný kotel CRE-25 o jmenovitém výkonu 25 kW, je určen ke spalování tříděného uhlí (velikost zrn 5÷25 mm) o výhřevnosti nad 20 MJ.kg^{-1} , obsahu popele menší než 10 % a nízké náchylnosti ke spékání. Hlavní součásti kotle ukazuje obr. 3.



Obr.3. Schéma kotle CRE-25.

Obr.4. Emisní faktory spáleného paliva [kg.GJ^{-1}].

Uhlí je ze zásobníku dopravováno šnekovým dopravníkem do malého kruhového topeniště (retorty). Přívod paliva je řízen termostatem, který reguluje teplotu vody v kotli. Nízká teplota aktivuje elektricky poháněný šnekový dopravník uhlí, přičemž potřebné množství spalovacího vzduchu je zajišťováno ventilátorem. Popel se hromadí na desce kolem topeniště a propadáva do výsypky. Bezprostředně nad topeništěm je žárová deska, která usnadňuje zapalování paliva, stabilizuje hoření a dále chrání teplosměnné plochy výměníku před místním přehřátím. Deklarovaná účinnost kotle je min. 75 %. Kotel umožňuje provoz v širokém rozsahu výkonů, a to od cca 1 kW až do jmenovitého výkonu kotle.

Spalovací zkoušky, prováděné na dvou druzích uhlí ukázaly, že se jedná o zařízení s vysokým komfortem obsluhy. Při spalování obou paliv o doporučených parametrech byl jeho provoz plně automatický a regulace kotle zajišťovala spolehlivě požadovaný výkon kotle. Výsledky analytického rozboru spalovaných paliv jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Přes toto kladné hodnocení bylo nutno věnovat provozu kotle větší péči než deklaroval výrobce. V průběhu zkoušek došlo k opakovanému zastavení provozu kotle z důvodu poruchy podávacího zařízení. Pravděpodobnou příčinou poruchy však byla nedůsledná příprava paliva (překročení maximální velikosti zrn uhlí). Instalovaná regulace kotle je značně složitá a při poruše vyžaduje zásah odborného servisu. Rozšířenému přístrojovému vybavení kotle odpovídá i jeho cena, která dosahuje trojnásobku nejdražších tuzemských kotlů na spalování uhlí. Na rozdíl od jednoduchých spalovacích zařízení, která za cenu vyšší tvorby škodlivin a nižší účinnosti jsou schopná spalovat i méněkvalitní paliva, kotle nové generace, ke kterým kotel CRE-25 patří, vyžadují důslednou přípravu paliva (požadavek na 2 x prané tříděné uhlí). Cena takového paliva spolu s vysokou cenou kotle může vést k dalšímu omezování spalování uhlí u těchto zařízení.

Tab.5. Výsledky laboratorní analýzy spalovaných paliv v kotli CRE-25.

Palivo/Složení	Rozměr	Černé uhlí I	Černé uhlí II
Obsah vody W_f	% hm.	5,60	12,60
Obsah popele A_f	% hm.	4,50	6,60
Obsah vodíku H_f	% hm.	5,04	4,12
Obsah uhlíku C_f	% hm.	74,90	62,03
Obsah dusíku N_f	% hm.	1,43	0,94
Obsah síry vešk. S_f	% hm.	0,48	0,71
Výhřevnost Q_f	MJ.kg^{-1}	29,19	24,25

Při spalování uhlí v průběhu experimentálních zkoušek bylo dosaženo velmi příznivých emisních charakteristik za současné vysoké účinnosti spalování (cca 80 %).

Hodnoty měrných emisí jsou uvedeny v tabulce č. 6, grafické vyjádření emisních faktorů obsahuje obr. č. 4. Koncentrace CO jsou například v případě spalování v kotli CRE-25 ve srovnání se spalováním kalů, popř. černého uhlí ve standardním topeništi 5÷6 x nižší.

Tab.6. Hodnoty měrných emisí spáleného paliva kotle CRE-25 [kg.GJ⁻¹].

Složka	Černé uhlí I	Černé uhlí II
Tuhé emise	0,117	0,186
SO ₂	0,470	0,576
NO _x	0,294	0,293
CO	1,100	1,070
Org. Látky	0,010	0,010
CELKEM	1,991	2,135

Hodnoty tuhých anorganických sloučenin (kovů) při spalování paliv na kotli CRE-25 jsou uvedeny v tabulce č. 7. Zde je nutno upozornit na značně rozdílné obsahy kovů ve spalovaném palivu vůči předchozím palivům. Toto ujištění proto potvrzuje předpoklad, že sledování emisí kovů a možných vlivů na tyto emise bude vyžadovat delší výzkumné období.

Tab.7. Obsah tuhých anorganických sloučenin (kovů) a jejich emise při spalování paliv na kotli CRE-25.

Prvek	Obsah tuhých anorganických sloučenin (kovů) v palivu [g.t ⁻¹ paliva]		Průměrné emise tuh.anorg. sloučenin (kovů) v úletu [g.t ⁻¹ spáleného paliva]	
	Černé uhlí I	Černé uhlí II	Černé uhlí I	Černé uhlí II
Cr	100,000	150,000	0,089	0,112
Cd	0,085	0,350	0,020	0,007
Pb	65,000	44,000	5,660	4,870
Be	0,000	0,000	0	0
As	2,010	9,900	0,724	0,117
Se	0,850	1,100	0	0
Hg	0,067	0,120	0,017	0,009

Závěr

Na základě výsledků provedených experimentálních zkoušek byly vysloveny následující závěry:

- Spalování tuhých paliv v ohništích malých výkonů je zdrojem značných emisí škodlivin, vypouštěných do ovzduší v přízemních vrstvách. Jsou to zejména CO, NO_x, SO₂, tuhé látky (včetně tuhých anorganických sloučenin), dehty, obsahující PAH (polyaromatické uhlovodíky).
- Energetická účinnost spalování a tvorba škodlivin v průběhu spalování je závislá na druhu a kvalitě spalovaného paliva a současně je přímo závislá na konstrukci ohniště kotle a způsobu provozování.
- Moderní konstrukce kotlů malých výkonů ve spalovaném palivu emitují podstatně nižší (např. u emisí CO až 5 x méně) množství emisí při zajištění vysoké účinnosti spalování (cca 80 %). Tyto kotle však vyžadují přísné dodržování požadovaných kvalitativních parametrů paliva. Vysoký komfort obsluhy těchto zařízení (plynulá automatická doprava paliva do ohniště kotle a automatická regulace výkonu kotle) s nutnou instalací měřicí a regulační techniky, zvyšuje cenu těchto zařízení v porovnání se standardními, v současné době nejrozšířenějšími typy kotlů až na trojnásobek. Ekonomicky přijatelné aplikace lze předpokládat u zdrojů řádu několika set kW.
- Pro zabezpečení vysoké účinnosti spalování a minimální tvorby škodlivin je třeba změnit přístup výrobců paliv pro tento druh spalovacích zařízení. Jedná se zejména o nové druhy směsi tříděných uhlí s nízkým obsahem popela a s nízkým obsahem prachových částic. Současně je důležité podpořit pokrokové technologie výroby bezdýmných paliv.
- Další směry výzkumu bude nutno rovněž zaměřit na výzkum tvorby a možností snížení emisí polyaromatických uhlovodíků, které vznikají při nedokonalém spalování a dále na výzkum distribuce kovů v produktech spalování při spalování tuhých paliv ve zdrojích malých výkonů. Rovněž bude nutno hledat konstrukce kotlů, které při konkurenční ceně zařízení zajistí vyhovujícím způsobem požadavky na provoz s vysokou účinností a nízkou tvorbou škodlivin.
- Rozsah instalované měřicí a regulační techniky u moderních konstrukcí kotlů musí vycházet z podrobné technicko-ekonomické analýzy.
- Jestli má být i do budoucna zachována existence malých uhelných kotlů, musí se zásadně změnit koncepce spalování a nabídka vhodných druhů paliv. To obojí povede ke zvýšení nákladů a s oh-

ledem na současnou deformaci cen energie vlastně neexistuje řešení. Po liberalizaci cen energie bude existence těchto kotlů možná při splnění dvou základních podmínek: musí vyhovovat platným emisním limitům (nebo požadavkům) a musí být konkurenceschopné (ekonomika, provozní komfort) v široké nabídce jiných zdrojů.

Literatura

- Danihelka, Ochodek a Borovec: "Coal Combustion and Heavy Metals Pollution". *Příspěvek na 13. mezinárodní uhelné konferenci v Pittsburghu, 1996.*
- Dílčí zprávy a závěrečná publikace z řešení grantového projektu GAČR č.101/95/0355. *IPCHW 1996 „Czyste spalanie paliw stałych w urządzeniach grzewczych malej mocy“, výzkumná zpráva.*
- Heppner, Heppnerová a Poczta: „Ekologické aspekty spalování tuhých paliv v zařízeních malých výkonů“. *ÚVP 1991 Výzkumná zpráva.*
- Ochodek, Janalík a Výtisk: „Emission of Harmful Particles from Combustion Processes of Low Output Resources“- příspěvek na mezinárodní konferenci Szczyrk 1995, str.253-259.