



Politechnika Śląska Instytut
Techniki Ciepłej



Zpráva z vědeckovýzkumné práce NB-
275/RIE-6/2015

***Provedení zkoušek vlivu kapalně příměsí k uhlí
"Carbosmar" na práci retortového kotle
s automatickým podavačem paliva***

Autoři:

Dr inž. Michał Chabiński

Prof. dr hab. inž. Andrzej Szlęk

Zhotovitelé:

Dr inž. Michał Chabiński

Gliwice 2015

Obsah

1. Základní informace	3
2. Účel a rozsah měření	4
3. Výzkumné pracoviště	5
4. Metoda zpracování výsledků	7
5. Výsledky energeticko-emisních zkoušek	10
6. Výsledky zvukových zkoušek	11
7. Výsledky zkoušek posuvných odporů	13
8. Shrnutí	14

1. Základní informace

Základem realizace práce byla objednávka z 3. prosince 2015 vystavená společností BWH Electric - Wiesław Skotnicki se sídlem v Biedzychowicích a AUTOMATICKÉ KOTLE – Lubomír Boháč se sídlem Jiráskova 16 v Městě Albrechticích pro Instytut Techniki Cieplnej Politechniki Śląskiej v Gliwicích.

Realizací práce se v Instytutu Techniki Cieplnej zabýval tým ve složení, Dr inż. Michał Chabiński a Prof. dr hab. Andrzej Szlęk. Michał Chabiński byl odpovědný za vypracování programu zkoušek, za laboratorní zkoušky a zpracování výsledků. Prof. dr hab. inż. Andrzej Szlęk odpovídal za interpretaci výsledků zkoušek a formulaci výsledků.

Měření nezbytná k provedení práce byla uskutečněna v laboratoři Malých topných zařízení Instytutu Techniki Cieplnej, přičemž k tomu byl využit retortový kotel s automatickým podavačem paliva a soubor nutných analyzátorů.

2. Účel a rozsah měření

Účelem měření bylo stanovení vlivu kapalné příměsi do uhlí „Carbosmar” na práci retortového kotle s automatickým podavačem paliva. Vzhledem k velikosti objednávky byl rozsah práce omezen na několik testů, které umožnily realizovat výše stanovený cíl. Výzkumy zahrnovaly tři aspekty práce kotle:

- Vliv příměsi „Carbosmar” na funkčnost a emisi nečistot v kotli. Výzkumy v tomto případě zahrnovaly energeticko-emisní aspekty kotle na uhlí s automatickým šnekovým podavačem s výkonem 25 kW. V rámci zkoušek byly změřeny takové parametry provozu kotle, jako funkčnost a emise CO₂, CO, NO_x, SO₂. Zkoušky byly provedeny pro případ, ve kterém byl kotel plněn uhlím ekohrášek s příměsí „Carbosmar” a stejným uhlím bez kapalné příměsi
- Vliv příměsi „Carbosmar” na úroveň hlasitosti práce podavače. Zkoušky zahrnovaly měření hladiny akustického tlaku práce podavače v případě, při kterém byl kotel plněn uhlím ekohrášek s příměsí i stejným uhlím bez příměsi Carbosmar
- Vliv příměsi „Carbosmar” na posuvný odpor uhlí ve šnekovém podavači kotle. V tomto případě zkoušky zahrnovaly měření zatížení motoru při podávání uhlí do spalovací komory v případě, ve kterém byl kotel plněn uhlím ekohrášek s příměsí a stejným uhlím bez příměsi Carbosmaru

Všechny tři výše uvedené aspekty provozu kotle byly zkoumány ve stejném čase. Dodatečně byl analyzován vliv času, v jakém parametry práce kotle „reagují” na přidání příměsi do uhlí, které se nachází v zásobníku. Příměs Carbosmar byla dodávána do každé šarže uhlí přisypávané do zásobníku podle pokynů výrobce.

3. Výzkumné pracoviště

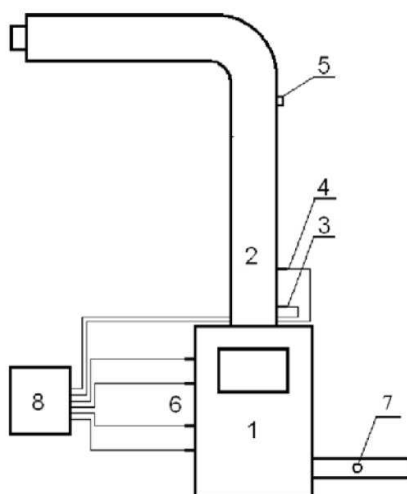
Energeticko-emisní úkoly retortového kotle byly provedeny na výzkumném pracovišti procesu spalování tuhých paliv, vybaveném následujícími součástmi:

- Retortový kotel SAGII s výkonem 25 kW s automatickým podavačem uhlí
- Rosemount NGA 2000 – Analyzátor NO_x (0-1000 ppm), CO (0-0,5 %), CO_2 (0-20 %), SO_2 (0-3000 ppm) spolu se systémem stabilizace, vyhřívanou hadicí a sondou odvodu spalin
- Sick-Maihak N 700 – Analyzátor O_2 (0-50 %) ve spalinách
- Sharky-Heat 773 – ultrazvukový teploměr, analýza průtoku (0-3 m³/h)

a teplot oběžné vody čidly Pt500 (0-150 °C)

- Testo 521 – diferenční manometr, měření rychlosti plynu (1-30 m/s)
- Termopáry typu K – měření teploty spalin
- Systém registrace údajů Agilent

Schéma měřicího pracoviště je znázorněno na Nákresu 1. Měření průtoku uhlí spotřebovávaného kotlem bylo prováděno za vyhaslého kotle, kdy bylo shromážděno a následně zváženo uhlí podávané podavačem v uvedeném časovém rozmezí. Nastavení podavače paliva byla identická, jako v případě energeticko-emisních měření.



Nákres 1. Schéma pracoviště: 1 – kotel, 2 – kanál spalin, 3 – měření teploty spalin, 4 – měření NO_x , SO_2 , CO a CO_2 , 5 – měření průtoku plynu, 6 – měření teplot ve spalovací komoře, 7 – hrdlo k měření průtoku vzduchu, 8 – systém měření a registrace dat

Palivem využívaným při testech bylo uhlí ekohrášek „Ekoret” s výhřevností v pracovním stavu činící 28829 kJ/kg, s vlhkostí 5,3 % a obsahem popela 5,4 %. Uhlí „Ekoret” bylo spalováno v kotli bez příměsí pouze v přípravných testech (referenčních). V případě vlastních zkoušek byla k uhlí přidávána příměs „Carbosmar”.

Tekuté mazivo do ekohrášku „Carbosmar” je směs, která slouží jako mazivo usnadňující dopravu uhlí typu ekohrášek v kotlích, které mají šnekové podavače. Na příměs se vztahuje patentová přihláška P.413366 z 31.07.2015. Mazivo je směsí, ve které je obsažen mimo jiné uhličitan vápenatý.

Testy spalování byly provedeny se zřetelem na pokyny pro normu *PN EN 303-5 Topné kotle – Část 5: Topné kotle na tuhá paliva, plněné palivem ručně a automaticky, s výkonem do 300kW – terminologie, požadavky, testování a označování*. Měření byla prováděna po dobu několika hodin, podle pokynů pro výše uvedenou normu, přičemž měření pro uhlí s příměsí „Carbosmar” byla prováděna v 6hodinových cyklech, v jednodenních odstupech, po dobu 3 dnů. Dlouhodobá měření byla spojena s vyžadovaným časem, aby byl „Carbosmar” rovnoměrně rozprostřen po zásobníku a podávacím systému uhlí.

Měření akustického tlaku byla provedena na základě pokynů normy EN ISO 11205, která určuje způsob stanovení hladiny akustického tlaku emise na pracovišti metodou intenzity. Měření bylo provedeno pomocí decibelometru Lutron SL-4112 s měřicím rozsahem 30-130 dB.

V případě měření posuvných odporů byly využity informace o zátěži elektrického motoru pohánějícího podavač uhlí, pocházející z invertoru LS Industrial Systems (LG Industrial Systems), který disponuje měřením zatížení motoru v rozmezí 0-150%.

4. Metoda zpracování výsledků

Výkonnost kotle

Výkonnost kotle v rámci zkoušek příměsí do uhlí „Carbosmar“ byla provedena přímou metodou. U přímé metody je výkonnost stanovena na základě měření veličin nutných ke stanovení chemické energie (E_{ch}), kterou spotřebuje kotel ve stanoveném časovém úseku, a tepla (Q_{uz}) vyprodukovaného v tomto období. Výkonnost je tedy definována rovnicí:

$$\eta = \frac{Q_{uz}}{E_{ch}} \quad (1)$$

Ke stanovení chemické energie, kterou spotřebuje kotel v analyzovaném časovém období, je vyžadována znalost celkového množství spáleného paliva (m_p) a jeho výhřevnost W_d :

$$E_{ch} = m_p W_d \quad (2)$$

Ke stanovení užitečného tepla je oproti tomu nutná znalost průběhu proudu m_w a dále teplot vody (t_{w1} , t_{w2}) v čase.

Užitečné teplo v takovém případě vyplývá z rovnice:

$$Q_{uz} = \int m_w c_w (t_{w1} - t_{w2}) d\tau \quad (3)$$

S ohledem na fakt, že měření jsou prováděna diskrétně, v časových úsecích $\Delta\tau$ může být vzorec (3) definován jako

$$Q_{uz} = \sum m_w c_w (t_{w1} - t_{w2}) \Delta\tau \quad (4)$$

V případě předpokladu neměnnosti proudu a teplot vody v čase:

$$Q_{uz} = m_w c_w (t_{w1} - t_{w2}) \tau \quad (5)$$

v němž τ označuje dobu trvání měření. Eventuálně může být výkonnost stanovena jako:

$$\eta = \frac{\sum m_w c_w (t_{w2} - t_{w1}) \Delta\tau}{m_p W_d} \quad (6)$$

Výhodou přímé metody je to, že je založena na měřeních, které mohou být registrovány nepřetržitě. Důležité je pouze, aby se měření vztahovala na časový úsek, který lze uznat za reprezentativní pro práci kotle.

Koncentrace nečistot ve spalinách

Při měření získáváme koncentrace jednotlivých sloučenin ve spalinách v ppm nebo v procentních podílech. Podle norem by však měly být k porovnávacím účelům uvedeny v mg/m^3 .

Pro přepočítání je uplatňována následující metodika:

- Pro přepočítání z ppm na mg/m^3_n

$$C_i = \frac{Z_i \cdot M_i}{V_n} \quad (7)$$

- Pro přepočítání z procentních podílů na mg/m^3_n

$$C_i = \frac{(C_{\%} / 100\%) \cdot M_i}{V_n} \quad (8)$$

Kde: C_i – koncentrace dané sloučeniny v mg/m^3_n , $C_{\%}$ – koncentrace sloučeniny v %, Z_i – podíl dané sloučeniny v ppm, M_i – molová hmotnost dané sloučeniny v kg/kmol , V_n – objem 1 molu plynu za normálních podmínek, m^3

Zaznamenání koncentrace bylo prováděno každou minutu po celé období trvání každého z testů a průměrná koncentrace pro každou složku spalin byla podle norem vypočtena jako aritmetický průměr ze všech měření dané složky.

Dodatečně získané hodnoty byly přepočteny na srovnatelný podíl kyslíku, činící 10 % v souladu se vzorcem:

$$C_{s(13\%O_2)} = \frac{C_{(O_2p)} - 10\%}{C_{(O_2p)} - C_{(O_2m)}} \cdot C_s \quad (9)$$

Kde $C_{(O_2p)}$ představuje procentní zastoupení kyslíku ve vzduchu a $C_{(O_2m)}$ – naměřený podíl kyslíku ve spalinách v %.

Hladina akustického tlaku práce podavače

Hladina akustického tlaku byla provedena metodou intenzity a základě následujícího vzorce:

$$L_p = 10 \log \sqrt{(10^{0,1L_x}) + (10^{0,1L_y}) + (10^{0,1L_z})} \quad (10)$$

Kde: L_p – hladina akustického tlaku emise v dB, L_x – hladina akustické intenzity změřená vodorovně ke stroji v dB, L_y – hladina akustické intenzity změřená svisle ke stroji v dB, L_z – hladina akustické intenzity změřená vodorovně rovnoběžně ke stroji v dB.

Zatížení motoru /posuvné odpory

V případě měření zatížení a výkonu motoru byly využity údaje z invertoru pohánějícího motor. Okamžitý výkon motoru byl stanoven z rovnice:

$$N_{els} = n_s \cdot N_{eln} \quad (11)$$

Kde N_{els} je výkon motoru při daném zatížení v kW, n_s – zatížení motoru v %, N_{eln} – nominální výkon motoru pohánějícího šnekový podavač uhlí (0,09 kW).

Předpokladem je, že posuvný odpor odpovídá množství elektrické energie potřebné k přepravení 1 kg uhlí šnekovým podavačem a byl stanoven z rovnice:

$$P_p = \frac{N_{el} \cdot \Delta \tau}{m_w} \quad (12)$$

Kde: P_p je posuvný odpor uhlí šnekovým podavačem v kWh/kg, N_{el} – průměrný výkon motoru v době měření, $\Delta \tau$ – doba práce potřebná k přepravení 1kg uhlí, m_w – hmotnost uhlí (1kg).

5. Výsledky energeticko-emisních zkoušek

V tabulce 1 a 2 byly uvedeny výsledky energeticko-emisních zkoušek kotle v případech, v němž je plněn uhlím ekohráškem bez příměsí a s příměsí „Carbosmar”.

Tabulka 1. Výsledky energeticko-emisních zkoušek retortového kotle plněného uhlím bez Carbosmaru

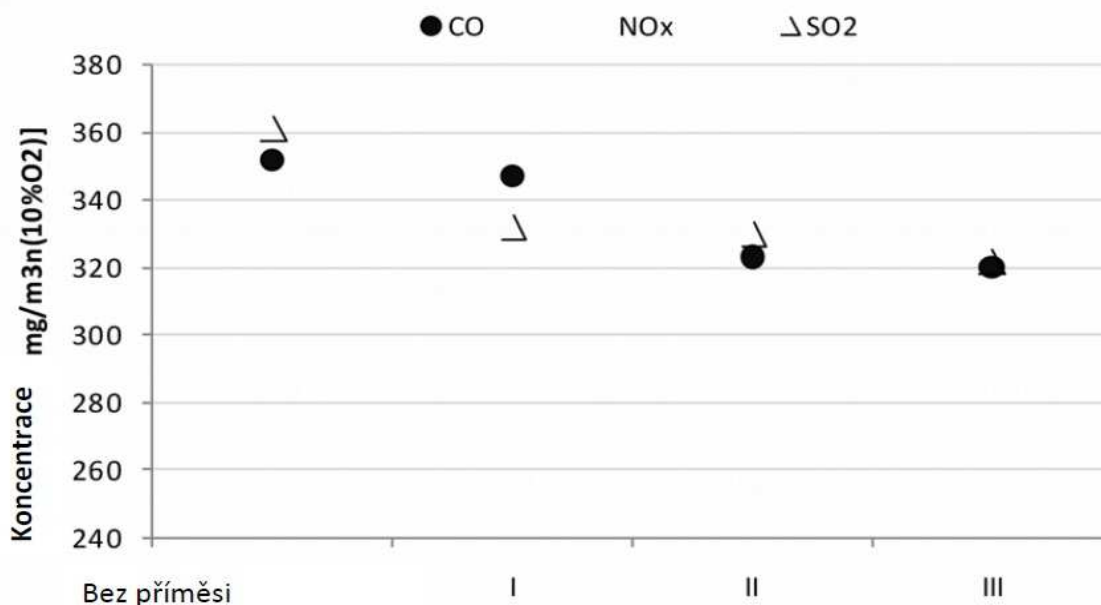
Parametr	Výkonnost	O ₂	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂
Jednotka	-	%		mg/m ³ (10%O)		
Měření bez příměsí	0,78	10,53	10,09	352	278	361

Zkoušky měření s příměsí trvaly celkem 18 hodin. Byly rozděleny na tři šestihodinové měřicí cykly označené v tabulce 2 jako I, II a III měření s příměsí.

Tabulka 2. Výsledky energeticko-emisních zkoušek retortového kotle plněného uhlím s Carbosmarem

Parametr	Výkonnost	O ₂	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂
Jednotka	-	%		mg/m ³ (10%O)		
I. měření s příměsí	0,79	10,39	10,18	347	276	332
II. měření s příměsí	0,78	10,50	10,11	323	280	330
III. měření s příměsí	0,79	10,45	10,37	320	279	322

Výsledky zkoušek jasně nasvědčují poklesu koncentrace nečistot ve spalinách, což lze pozorovat v případě oxidu uhelnatého a oxidů síry (Nákres 2). Snížení koncentrací o cca 10 % v případě škodlivého oxidu siřičitého a jedovatého oxidu uhelnatého značně snižuje negativní působení na okolí člověka a životní prostředí.



Nákres 2. Koncentrace jednotlivých složek spalin pro provedené testy.

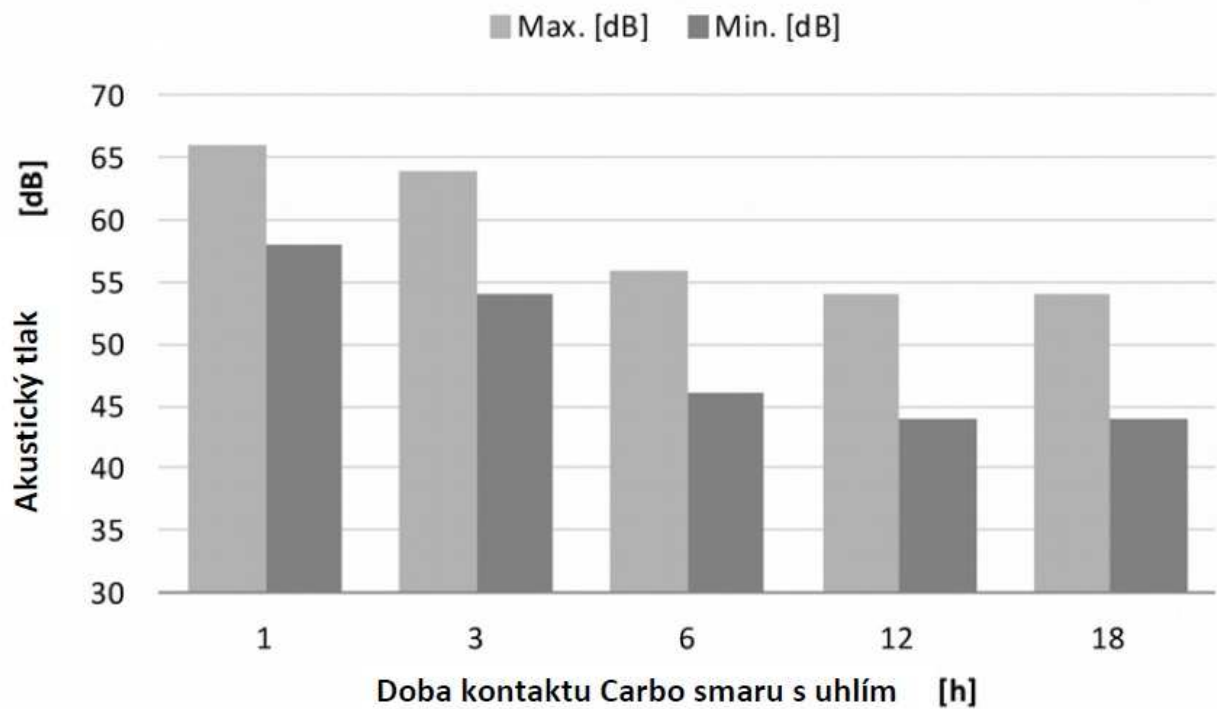
6. Výsledky akustických zkoušek

V tabulce 3 a na nákresu 3 jsou znázorněny změny akustického tlaku emisí L_p v čase. Tlak byl analyzován po dobu hodiny první, třetí, šestou, dvanáctou a osmnáctou hodinu kontaktu Carbosmaru s uhlím a podavačem kotle. V případě akustických zkoušek pro uhlí bez příměsi maziva činily maximální a minimální hodnoty příslušně 66 a 58 dB, tedy tolik, co první hodinu kontaktu Carbosmaru s uhlím. Znamená to, že první hodinu po přidání maziva nemá příměs vliv na hladinu hlasitosti práce podavače.

Tabulka 3. Minimální a maximální akustický tlak pro různé doby kontaktu Carbosmaru s uhlím

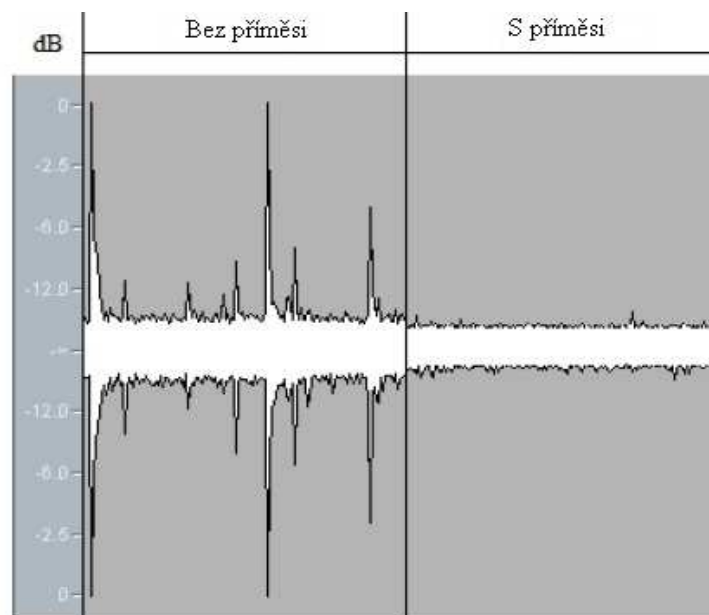
Akustický tlak	Doba kontaktu Carbosmaru s uhlím [h]				
	1	3	6	12	18
Max. [dB]	66	64	56	54	54
Min. [dB]	58	55	47	45	45

Pokles akustického tlaku emisí byl pozorován po třech hodinách od přidání Carbosmaru do násypky s uhlím. Po šesti hodinách došlo ke snížení maximálního akustického tlaku o 10 dB. Po dvanácti hodinách od přidání maziva do uhlí byl zaznamenán pokles maximálního tlaku o další dva decibely, což je hodnota o 12 dB nižší než vstupní hodnota v okamžiku, kdy podavač pracoval bez příměsi v podobě Carbosmaru. Osmnáctou hodinu provozu podavače nebyly pozorovány další změny akustického tlaku emisí. Vzhledem k absenci změn nebylo měření dále prováděno. Nevylučuje to však pravděpodobnost dalšího snižování hlasitosti práce podavače, při dalším přilévání příměsi do dalších šarží uhlí přidávaných do násypky.



Nákres 3. Vliv doby kontaktu Carbosmaru s uhlím a podavačem s minimálním a maximálním akustickým tlakem práce šnekového podavače v kotli.

Na nákresu 4 je zobrazeno rozložení zvukové vlny zaznamenané při práci podavače bez příměsi a po 12 hodinách práce s příměsí. V případě podavače bez Carbosmaru si lze všimnout rozhodně větších výkyvů hladiny akustického tlaku.



Nákres 4. Rozložení zvukové vlny při práci podavače. Uhlí bez příměsi – levá strana, uhlí s příměsí Carbo smaru po 12 hodinách od přidání do uhlí – pravá strana.

V případě tak krátkých měřicích cyklů se může pokles spotřeby elektrické energie ztát nepatrný, ovšem v případě celé topné sezóny, ve které obvykle kotel pracuje, může být úspora spotřeby elektrické energie již významná. V měřítku celého státu mohou tyto hodnoty dosáhnout řádu stovek tisíců kWh. Znamená to možnost snížení emise oxidu uhličitého do atmosféry o stovky tisíc tun. Není také vyloučen další pokles spotřeby elektrické energie při delším kontaktu Carbo smaru s uhlím a podavačem.

8. Shrnutí

V rámci zkoušek byla provedena analýza vlivu příměsi do uhlí Carbosmar na výkonnost, emisi znečištění, hladinu hlasitosti práce podavače uhlí a posuvné odpory uhlí. **Provedené zkoušky nasvědčují pozitivním efektům použití příměsi.** Pozitivním výsledkem použití Carbsmaru je především omezení spotřeby elektrické energie, kterou potřebuje motor pohánějícího šnekový podavač uhlí. Omezení posuvných odporů také může mít významný vliv na životnost šneku a frekvenci strhávání závlaček zabezpečujících motor podavače před přetíženími spojenými se zablokováním podavače. Stržení závlačky představuje častý problém v kotlích tohoto typu a vyžaduje obvykle zákrok servisního pracovníka. Navíc přidání příměsi Carbosmar významně snižuje hladinu akustického tlaku spojeného s prací podavače uhlí. Tento aspekt je zvláště důležitý z hlediska komfortu užívání kotle – velké množství uživatelů tohoto typu zařízení si stěžuje na příliš hlasitou práci podavače, zvláště obtěžující v nočních hodinách. Cca 10% poklesy byly zaznamenány také v případě koncentrace oxidu uhelnatého a oxidů síry ve spalinách.

Carbosmar z produkce BWH Electric a AUTOMATICKÉ KOTLE – Lubomír Boháč je výrobkem, který má bezpochyby pozitivní vliv na komfort a náklady užívání kotlů na uhlí s automatickým podavačem paliva. Přesnější stanovení míry tohoto vlivu by vyžadovalo rozšíření zkoušek o testy zahrnující několik úrovní výkonu kotle, optimalizaci množství Carbosmaru přidávaného do paliva, spalování uhlí různého druhu a jiných tuhých paliv, a také zkoumání vlivu příměsi na míru koroze součástí podavače kotle.