Hodnocení korozního napadení komínových vložek

Evaluation of corrosion attack of chimney liners

Blahetová M.¹, Horák J.¹, Kubesa P.¹, Lasek S.², Ochodek T.¹

¹VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum

²VŠB-TU Ostrava, Katedra materiálového inženýrství

E-mail: marie.blahetova@vsb.cz

Případová studie koroze komínových vložek řeší tři konkrétní případy poškození komínových systémů z korozivzdorných ocelí. Tyto sloužily k odvodu spalin při spalování hnědého uhlí v malých automatických kotlích, které jsou používány pro vytápění. Z podrobných analýz vyplynulo, že hlavní příčinou devastující koroze použité oceli ČSN 17 349 resp. 17 241 (AISI 316 a 304) byl především vysoký obsah halogenidů (chloridů a fluoridů), který způsobil silnou bodovou korozi (pitting), která vedla až k proděravění materiálu komínové vložky. Současné zmenšení tloušťky použitých plechů bylo způsobeno celkovou plošnou korozí, která byla zapříčiněna obsahem síry v tuhém palivu. Vlivem kondenzační vlhkosti pak docházelo ke korozi pod rosným bodem kyseliny sírové. Vše je doloženo metalografickým rozbořem a mikroanalýzou korozních produktů.

The case study of chimney liner corrosion addresses three specific cases of damage of chimney systems from of stainless steels. These systems were used for flue of gas arising from the combustion of brown coal in small automatic boilers, which are used for heating. Detailed analyses implied that the cause of devastating corrosion of the steel AISI 316 and 304 steel (CSN 17349, 17241) was particularly high content of halides (chlorides and fluorides), which caused a severe pitting corrosion, which led up to the perforation of the liner material. Simultaneous reduction of the thickness of the used sheets was due to by the general corrosion, which was caused by the sulfur in the solid fuel. The condensation then led to acid environment and therefore the corrosion below the dew point of the sulfuric acid has occurred. All is documented by metallographic analysis and microanalysis of the corrosion products.

ÚVOD

Při projektování spalovacích zařízení je nezbytným požadavkem bezpečný odvod spalin mimo budovu. Jedno z možných řešení konstrukce spalinových cest je použití komínových vložek z korozivzdorných materiálů. V některých případech se ale provozovatelé spalovacích zařízení na tuhá paliva setkávají s velmi omezenou životností těchto částí spalinové cesty. Objevují se devastující korozní problémy celých komínových systémů. Problémy nastávají v souvislosti se spalováním různých typů hnědého uhlí, ale také některých druhů biomasy, nebo jejich kombinací. V článku jsou uvedeny tři případové studie, které ukazují na problémy tohoto typu. Studované vzorky poškozených materiálů byly součástí komínových systémů, které sloužily k odvodu spalin při spalování hnědého uhlí v malých automatických kotlích, které jsou používány pro vytápění.

Dodané vzorky poškozených komínových vložek

K hodnocení korozního napadení komínových vložek byly dodány tři vzorky korodujících plechů s označením VZ039/14 (15×15 cm, viz Obr. 1), VZ040/14

(15×15 cm, viz Obr. 3) a VZ041/14 (9×4 cm, viz Obr. 5). Dle údajů výrobce se jedná o austenitickou ocel ČSN 17 349 (AISI 316), jak předepisuje norma pro tato zařízení. Z vizuálního hodnocení vyplynulo, že napadení má charakter bodové koroze (pitting) různé intenzity [1-3]. V některých místech došlo k úplné perforaci materiálu, v případě vzorku VZ041/14 k úplnému rozpadu komínové vložky po celém obvodu. Vše je doloženo na vstupních fotografiích. Z vizuálního hodnocení vnitřní strany komínových vložek vyplývá, že materiál je poškozen množstvím korozních bodů, které jsou velmi těsně uspořádané, až prakticky splývají do rovnoměrného (plošného) poškození, viz Obr. 2, 4, a 6. Toto může být podpořeno i pevnými částicemi, které jsou unášeny spalinami a které vznikají rovněž při odlupování korozních produktů z povrchu. Tomuto jevu se nedá zabránit, je tedy třeba věnovat pozornost hlavně vlastní iniciaci korozních procesů, které souvisí pravděpodobně s elektrochemickým mechanismem korozních dějů, které mají svůj základ ve složení paliva a následně odváděných spalin. Při provozu zřejmě dochází ke kondenzaci vlhkosti, což je příčinou vzniku silné kyselého prostředí, a může tak docházet k velmi rychlé korozi s vodíkovou depolarizací.

Obr. 1. Vzorek VZ039/14, rozměr 15×15 cm, dodaný stav, vnější povrch
 Fig. 1. Sample VZ039/14, size 15×15 cm, delivered state, the outer surface

Obr. 3. Vzorek VZ040/14, dodaný stav, rozměr 15×15 cm, vnější povrch
 Fig. 3. Sample VZ040/14, delivered state, size 15×15 cm, the outer surface

Vzorek VZ039/14, vnitřní povrch, stereomikroskop

Vzorek VZ040/14, vnitřní povrch, stereomikroskop

Obr. 2. Vzorek VZ039/14, rozměr 15×15 cm dodaný stav, vnitřní povrch
 Fig. 2. Sample VZ039/14, size 15×15 cm supplied state, the inner surface

Obr. 4. Vzorek VZ040/14, dodaný stav, rozměr 15×15 cm, vnitřní povrch
 Fig. 4. Sample VZ040/14, delivered state, size 15×15 cm, the inner surface

Tab. 1. Měření tloušťky plechu před a po expozici / Measurement of sheet thickness before and after exposure

Číslo vzorku	Výchozí tloušťka plechu (mm), průměr z 10 měření	Tloušťka po expozici [mm], průměr z 10 měření	% původní tloušťky
VEC039/14	0,612	0,563	92 %
VEC040/14	0,417	0,265	63 %
VEC041/14	0,753	0,205	27 %

Obr. 5. Vzorek VZ041/14, dodaný stav, rozměr 9×4 cm, vnější povrch

Fig. 5. Sample VZ041/14, delivered state, size 9×4 cm, the outer surface

Provozní podmínky

Problémy s korozi kouřovodů se vyskytly pouze u moderních automatických kotlů, kde se teplota spalin za kotlem pohybuje v rozmezí cca 130 °C až 200 °C. U uvedených instalací se koroze projevila jak v kouřovodu umístěném ihned za kotlem ve vnitřním prostředí (ve vytápěné kotelně), tak ve vnějším prostředí nad komínovým zdivem (ústí komínu). Lze říct, že teplota stěny vložky s ohledem na teplotu spalin za kotlem a teplotu okolního prostředí se mohla pohybovat v rozmezí –20 až 200 °C a proto mohlo docházet ke kondenzaci složek spalin na stěnách vložky, která vedla ke sledovanému poškození.

Během provozu, tzn. expozici komínových vložek v korozním prostředí, došlo nejen k proděravění materiálu v důsledku bodové koroze, ale došlo rovněž k výraznému úbytku počáteční tloušťky použitých plechů, tzv. plošná koroze. Pozorované změny tloušťky jsou doloženy v tabulce č. 1. Měření bylo provedeno digitálním posuvným měřítkem vždy na 10 místech plochy. Výchozí hodnoty byly měřeny v místech s relativně malým poškozením. Úbytek tloušťky je zřetelný a odpovídá stupni poškození materiálu.

Výsledky mikroskopického hodnocení dodaných vzorků

Z hlediska objektivního posouzení příčin poškození a devastace materiálu všech tří komínových vložek bylo rozhodnuto o provedení mikroanalýzy složení korozních produktů z obou stran materiálu a bylo rovněž ověřeno deklarované složení použitých materiálů.

V případě prvních dvou vzorků bylo napadení velmi podobné, lišila se pouze doba expozice v komínovém systému, která byla v případě vzorku VZ039/14 přibližně jeden rok, v případě vzorku VZ040/14 přibližně dva

Obr. 6. Vzorek VZ041/14, dodaný stav, rozměr 9×4 cm, vnitřní povrch

Fig. 6. The sample VZ041/14, delivered state, size 9×4 cm, the inner surface

roky. Analýzy byly prováděny shodným způsobem, vše je dokumentováno na fotografiích mikrostruktury a v tabulkách, kde je doloženo složení korozních produktů v analyzovaných bodech. Byla provedena i kontrolní analýza základního materiálu (ZM), zda odpovídá požadavkům normy na komínové systémy.

Hodnocení vzorku VZ039/14

Z detailu povrchu materiálu – Obr. 7 a analýzy základního materiálu (ZM) – Tab. 2 vyplývá, že obsah legur odpovídá složení austenitické oceli jakosti 17 349, jak bylo deklarováno výrobcem. Z fotografií pořízených elektronovým mikroskopem s uvedeným zvětšením (viz Obr. 8, 9) je zřejmé, že materiál byl napaden plošnou korozi a rovněž bodovou korozi (pitting). O tomto svědčí charakteristický kruhový tvar prerforace prakticky ve všech pozorovaných bodech a také zjištěný obsah chloridů v okolí bodu – Tab. 3. V detailu struktury v okolí perforace na Obr. 8 je vidět, že struktura materiálu v okolí bodu zůstává zachována a s délkou

Obr. 7. Vzorek VZ039/14, detail vnějšího povrchu

Fig. 7. Sample VZ039/14, detail of the external surface

provozu se nemění, dochází ale k výraznému navýšení počtu perforovaných bodů, jak dokládá rozbor následujícího vzorku, kdy doba expozice byla přibližně dvojnásobná. Zcitlivění vlivem přehřátí, a možnost následné mezikrystalové koroze se u těchto materiálů nepředpokládá vzhledem k teplotám, které v kouřovodu dosahují max. 200°C. [4-5]. Ze spektrální analýzy korozních produktů (Tab. 2 a 3) kde jsou v tabulce uvedeny hmotnosti (váhová) procenta, je vidět, že korozní produkty obsahují velké množství síry, což je v tomto případě hlavní příčinou celkové koroze a ztenčení tloušťky plechu. V těchto případech vniká za přítomnosti možné kondenzační vlhkosti velmi kyselé prostředí s následným vznikem síranů, na což ukazuje složení korozních produktů, kdy lze dovodit, že korozní

produkty jsou tvořeny zejména sírany a oxidy železa, což dokládá i jejich charakteristické rezavé zbarvení. Nalezeny byly i chloridy, které jsou příčinou bodového napadení, které je v případě tohoto vzorku menší, ale z důvodů úplného proděravění v některých místech velmi nebezpečné. Příčinou je zřejmě obsah síra v palivu, ale také malé množství chloridů, které mohou být v palivu, ale mohou být také nasávány z okolního prostředí (např. dezinfekční a čisticí prostředky na vnitřním kouřovodu, které jsou využívány při úklidu kotelny). Ve všech místech je nalezen také uhlík, který je zde kontaminující prvek, a je proto z analýzy záměrně vyřazen.

Obr. 8. Vzorek VZ039/14, vnější povrch – analyzované body
Fig. 8. Sample VZ039/14, the outer surface - the analyzed points

Obr. 9. Vzorek VZ039/14, vnitřní povrch – analyzované body kolem perforovaného povrchu – pitting
Fig. 9. Sample VZ039/14, the inner surface – the analyzed points around the perforated surface – pitting

Tab. 2. Analýza korozní vrstvy ve vyznačených bodech – vzorek VZ039/14, vnější povrch / Analysis of the corrosion layer at designated points - sample VZ039/14, the outer surface

Name	Weight (%)													
	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
Spectrum1	70,61	0,73	0,44	0,24	0,26	16,26	0,36	0,14	0,91	0,48	–	1,96	7,61	–
Spectrum2	64,11	0,43	0,73	0,34	0,66	18,12	0,23	0,27	0,44	1,04	0,44	4,97	7,35	–
Spectrum3	69,08	0,66	–	1,14	0,89	12,26	0,73	0,25	7,24	2,27	–	5,04	0,45	–
Spectrum4	40,49	1,36	0,50	2,18	5,21	6,69	0,99	1,09	4,22	7,94	–	27,52	1,81	–
Spectrum5	29,95	1,58	0,35	1,30	3,10	3,69	1,09	0,67	0,24	12,57	0,68	40,45	3,74	–
Spectrum6	34,42	1,87	0,45	1,01	1,09	4,54	1,05	0,74	0,64	10,73	0,51	38,90	3,85	–
Spectrum7	56,77	1,32	0,53	0,54	1,60	21,35	–	0,19	1,18	1,26	0,50	11,72	3,04	–
Spectrum8	59,85	0,94	0,67	0,23	0,25	17,69	–	–	–	0,42	0,46	8,18	2,44	–
Spectrum9	47,38	2,15	–	0,46	0,87	13,96	–	0,45	3,35	5,29	0,52	23,74	1,82	–
Spectrum10	50,51	0,63	–	3,33	6,55	8,73	1,57	1,57	–	3,56	–	22,14	0,78	–
Spectrum11	49,35	1,22	–	2,55	3,23	13,38	–	0,79	1,44	6,15	–	20,59	1,31	–
ZM	–	–	–	0,55	0,60	–	–	–	–	17,77	1,24	67,56	9,88	2,41
ZM	–	–	–	0,53	0,64	–	–	–	–	17,84	1,45	66,98	10,01	2,55
ZM	–	–	–	0,49	0,53	–	–	–	–	18,20	1,20	67,94	9,28	2,36

Tab. 3. Analýza korozní vrstvy ve vyznačených bodech – vzorek VZ039/14, vnitřní povrch / *Analysis of the corrosion layer at designated points - sample VZ039/14, inner surface*

Name	Weigth (%)								
	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Cr	Fe	Ni
Spectrum1	72,43	–	0,25	16,38	–	0,10	0,15	1,82	8,54
Spectrum2	68,97	–	0,47	17,56	–	0,26	0,25	1,95	10,25
Spectrum3	51,66	0,44	1,42	10,17	0,94	1,10	7,90	25,18	0,59
Spectrum4	50,27	0,37	1,52	12,16	0,44	0,98	3,85	29,28	–
Spectrum5	16,95	–	0,63	3,32	0,22	–	15,28	55,67	6,97

Hodnocení vzorku VZ040/14

Na vnějším povrchu byla provedena mikroanalýza v 15 bodech, pro ilustraci je uvedeno pouze jedno analyzované místo s označenými body mikroanalýzy. Stejně, jako v předchozím případě zde bylo nalezeno velké množství síry v rozmezí 5-11 %, ale rovněž vysoký obsah chloridů, v rozmezí 3-8 %, místně ale i vyšší

Obr. 10. Vzorek VZ040/14, mikrostruktura vnějšího povrchu
Fig. 10. Sample VZ040/14, the microstructure of the outer surface

(až 31 %). Analýza základního materiálu potvrdila složení materiálu, dle výrobce, tzn. jednalo se o ocel 17 349 dle ČSN, Tab. 4.

Na vnitřním povrchu bylo analyzováno 11 bodů, korozní produkty opět obsahovaly velké množství síry v rozmezí 8-16 %, a také velké množství chloridů, v rozmezí 5-15 %, místně až 37 %.

Z výsledků mikroanalýzy a přiložených obrázků (Obr. 10-12) vyplývá, že hodnocení korozního napadení je u tohoto vzorku prakticky shodné, jako v předchozím případě, je zde ale daleko masivnější, což souvisí zřejmě s delší dobou provozu. Lze očekávat, že tento charakter napadení se bude dále prohlubovat v závislosti na délce expozice a komínová vložka tak postupně ztrácí svou ochrannou a bezpečnostní funkčnost (v našem případě během jednoho až dvou let) Ve všech analyzovaných bodech z obou stran povrchu bylo nalezeno velké množství chloridů, které jsou v tomto případě příčinou devastujícího bodového napadení, na mnoha místech došlo k úplnému proděravění materiálu. Příčinou je zřejmě palivo s vyšším obsahem chloridů, které se velké míře vyskytují v biomase. Chloridy mohou být v palivu, ale mohou být také nasávány z okolního prostředí. Vyšší obsah chloridů byl analyzován v produktech z vnitřní strany, což by dokazovalo, že příčinou byl obsah chloridů v palivu. Může být i v uhlí, ale podobné problémy

Tab. 4. Analýza korozní vrstvy ve vyznačených bodech – vzorek VZ 040/14, vnější povrch / *Analysis of the corrosion layer at designated points - sample VZ 040/14, the outer surface*

Name	Weigth (%)										
	O	Si	P	S	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
Spectrum1	42,33	0,84	1,34	9,52	3,71	2,12	9,64	–	28,89	1,63	–
Spectrum2	41,62	3,12	1,75	6,05	3,99	1,09	13,23	–	26,59	0,71	–
Spectrum3	25,09	0,25	–	2,32	31,84	0,51	4,32	0,39	14,43	7,44	–
Spectrum4	49,74	1,30	0,44	11,26	8,04	0,54	7,30	–	14,65	3,50	–
ZM	–	0,51	–	–	–	–	17,36	0,93	67,66	9,65	2,62
ZM	–	0,58	–	–	–	–	17,31	0,96	67,89	9,87	2,53
ZM	–	0,56	–	–	–	–	17,46	0,87	68,35	9,32	2,41

byly již dříve pozorovány při spalování obilí. Toto je třeba dát do přímé souvislosti s provozem uvedeného kotle. Vzhledem k celkovému „rezavému zbarvení“ vnějšího povrchu tohoto vzorku a vzhledem k poměrně vysokému obsahu chloridů i na vnějším povrchu, není ani vyloučeno, že materiál byl znehodnocen současně i na vnější straně, možné použití nevhodných čisticích prostředků, kontaminace apod. Napadení bodovou korozí může souviset i s možným neodborným opracováním některých částí konstrukce z běžné uhlíkové oceli. Pokud dojde ke kontaminaci korozivzdorné oceli těmito částicemi při broušení, nebo jsou použity kontaminované brusné a řezné nástroje, dochází vždy ke znehodnocení částí z korozivzdorných materiálů

Hodnocení vzorku VZ041/14

Obr. 13. Vzorek VZ041/14, vnější povrch, detail základního materiálu – velmi poškozeno

Fig. 13. Sample VZ041/14, the outer surface of the base material detail - very damaged

Obr. 11. Vzorek VZ040/14, vnější povrch – analyzované body kolem perforovaného povrchu, bodová koroze – pitting

Fig. 11. Sample VZ040/14, the outer surface – the analyzed points around the perforated surface – pitting

Obr. 14. Vzorek VZ041/14, vnější povrch – analyzované body kolem dílku

Fig. 14. Sample VZ041/14, the outer surface - the analyzed points around the pit

Obr. 12. Vzorek VZ040/14, vnitřní povrch – analyzované body kolem perforovaného povrchu, bodová koroze – pitting

Fig. 12. Sample VZ040/14, the inner surface – the analyzed points around the perforated surface – pitting

Obr. 15. Vzorek VZ041/14, vnější povrch – analyzované body

Fig. 15. Sample VZ041/14, the outer surface - the analyzed points

Na detailu struktury tohoto materiálu (Obr. 13), je zřetelně vidět značné zhrubnutí zrna, což by ukazovalo na možné přehřátí materiálu. Struktura je značně poškozená, výrazně se liší od předchozích dvou zkoumaných vzorků. Příčinu je zde třeba hledat ve složení základního materiálu, které neodpovídá deklarovanému složení. Základní materiál, dle analýzy (ZM – Tab. 5) téměř neobsahuje molybden (analyzované množství je přibližně na hranici chyby měření), obsahuje malé množství mědi a hliníku, místně byl analyzován také titan, jedná se tedy pravděpodobně o stabilizovanou ocel jakosti obdobné ČSN 17 240 (AISI 304), tedy běžnou potravinářskou ocel, která se pro prostředí spalin s vysokým obsahem síry a možným obsahem chloridů nehodí. Ve všech analyzovaných bodech, z obou stran povrchu, bylo ale nalezeno velké množství síry, které je v tomto případě příčinou devastujícího napadení materiálu. Jedná se o plošnou, celkovou korozi, kde došlo k výraznému koroznímu úbytku materiálu po celém

obvodu, následně k plošnému zeslabení původní tloušťky a praktickému rozpadu, jak je dokumentováno na Obr. 14-16). Velké množství síry v palivu je nebezpečné zejména tím, že způsobuje, za přítomnosti kondenzační vlhkosti, korozi pod rosným bodem kyseliny sírové, která je potom příčinou vzniku velmi kyselého prostředí s následným rozpouštěním kovu a vznikem síranů, což dokládá i analýza korozních produktů. V korozních produktech se navíc tentokrát objevují fluoridy (Tab. 5 a 6), které způsobují velmi rychle silnou bodovou korozi, jsou agresivnější než chloridy, takže zde došlo k velmi nebezpečné kombinaci kontaminujících prvků. Příčinou celkového znehodnocení a úplné devastace této komínové vložky je ale především použití nevhodného materiálu, došlo zřejmě k neočekávané záměně na straně dodavatele plechů pro výrobu vložek. Použité palivo bylo standardně dostupné tříděné hnědé uhlí, které vždy obsahuje síru. Otázkou je obsah fluoridů, které mohou být v palivu, ale mohou být i nasávány z okolního prostředí.

Tab. 5. Analýza korozní vrstvy ve vyznačených bodech – vzorek VZ041/14 – vnější povrch / Analysis of the corrosion layer at designated points – sample VZ041/14 – the outer surface

	Weight (%)																
Name	O	F	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Mo
Spectrum1	43,45	7,24	–	0,29	0,8	0,54	13,28	–	–	8,12	–	9,65	–	16,63	–	–	–
Spectrum2	48,64	8,38	–	–	0,81	0,56	7,85	–	–	1,13	–	14,27	–	18,36	–	–	–
Spectrum3	44	7,41	–	–	0,45	1,3	13,35	–	0,22	0,68	–	23,89	–	5	1,73	1,98	–
Spectrum4	41,27	7,98	–	0,68	2,08	3,14	10,42	–	–	3,82	–	10,31	–	19,72	–	0,59	–
Spectrum5	45,13	–	–	–	0,58	0,69	10,98	–	–	–	–	15,92	–	19,16	6,05	1,49	–
Spectrum6	45,3	1,1	–	–	1,12	1,09	7,31	0,49	–	0,45	–	9,9	–	32,42	0,82	–	–
Spectrum7	47,39	5,01	–	–	1	1,76	8,53	–	0,18	1,9	–	8,28	–	23,92	1,36	0,67	–
Spectrum8	29,4	8	–	1,26	6,01	6,18	7,75	–	0,48	1,6	0,86	7,28	–	29,97	1,19	–	–
Spectrum9	33,29	13,42	0,78	1,49	4,02	3,44	9,02	0,23	0,79	0,84	–	6,4	–	25,41	0,89	–	–
Spectrum10	32	8,99	0,59	1,18	4,53	3,51	8,24	–	0,79	0,73	–	7,43	0,41	29,46	1,61	0,55	–
Spectrum11	31,12	6,93	0,91	1,11	5,45	3,66	7,17	–	0,39	2,32	0,76	7,08	0,55	30,37	1,35	0,82	–
ZM	–	–	–	–	0,64	0,52	–	–	–	–	–	19,14	1,44	70,05	7,61	0,4	0,21
ZM	–	–	–	–	0,63	0,54	–	–	–	–	–	19,27	1,44	69,94	7,64	0,33	0,2
ZM	–	–	–	–	0,69	0,51	–	–	–	–	–	19,02	1,48	69,68	7,8	0,46	0,36

Tab. 6. Analýza korozní vrstvy ve vyznačených bodech – vzorek VZ041/14 – vnitřní povrch / Analysis of the corrosion layer at designated points – sample VZ041/14 – inner surface

Name	Weight (%)												
	O	F	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Spectrum1	29,71	3,29		0,73	0,77	10,82		0,47	34,72		13,93	2,1	3,45
Spectrum2	43,05	1,8		0,29	0,41	15,98		0,11	26,78		3,53	6,47	1,58
Spectrum3	7,8	0,84		2,25	0,56	4,1			27,4	2,16	38,49	2,85	13,57
Spectrum4	29,41	4,91		1,12	1,37	10,16		0,44	27,55		19,11	2,51	3,43
Spectrum5	1,84	1,32			0,51	0,7			19,15	1,41	66,71	7,16	1,2
Spectrum6	44,38	4,88		0,95	0,7	12,17		0,62	21,93		8,31	4,44	1,61
Spectrum7	24,46	5,93	0,55	1,94	3	17,87		0,44	7,98	0,52	21,6	3,91	11,81
Spectrum8	30,35	3,69		1,12	1,16	14,96	0,42	0,38	19,77		10,57	13,49	4,11
Spectrum9	29,13	9,53	0,61	2,59	5,14	12,13	0,27	1,62	9,54	0,47	20,33	3,26	5,38

Obr. 16. Vzorek VZ041/14, vnitřní povrch – četná perforace povrchu, rozpad materiálu

Fig. 16. Sample VZ041/14, the inner surface – the surface many perforations, material fragmentation

Vyšší obsah fluoridů byl analyzován v produktech z vnější strany vložky, lze tedy usuzovat, že fluoridy se mohly vyskytovat také v okolí kouřovodu. Fluoridy jsou součástí chladicích medií, je nutné vyloučit i tuto možnost, je třeba dát opět do souvislosti s konkrétním provozem daného kotle a vyloučit tyto nepříznivé vlivy. Rozhodující příčinou rychlé devastace této komínové vložky bylo použití nevhodného materiálu, který ani neodpovídá normě pro tato zařízení. Záměnu je třeba do budoucna vyloučit, ale pozornost je třeba v tomto případě zaměřit i na možný zdroj fluoridů, které jsou ve spalínách méně obvyklé a budou problematické pro každý materiál.

Vliv složení paliva na korozi komínových systémů

Jak vyplývá ze všech tří případových studií, je třeba vždy věnovat pozornost vlastnímu složení paliva, zvláště pak v případech použití korozivzdorných materiálů. Ty jsou v současné době hojně využívány, ale vyžadují od provozovatele dodržování podmínek bezpečného provozu, zejména s ohledem na kvalitu paliva a kondenzaci spalin. Provozovatel by měl vždy používat takové palivo, a tím způsobem, pro které je daný kotel, včetně kouřovodu, projektován.

V rámci řešení našeho projektu jsme provedli kontrolní analýzu použitého problematického paliva (VZ 234/14) a paliva z jiné instalace (VZ 233/14), kde se problém neobjevil. Uvedené typy hnědého uhlí mají přibližně stejný obsah chloridů, ale výrazně se liší v obsahu síry, přibližně dvakrát. Napadení bodovou korozi se v případě vyššího obsahu síry v daném čase neprojevovalo v takové míře, jako v případě nižšího obsahu síry. Tato souvislost je předmětem pokračujícího systematického sledování v rámci tohoto projektu, poněvadž obdobné souvislosti jsou empiricky testovány ve velkých spalovacích zařízeních a jsou předmětem dalšího výzkumu.

ZÁVĚR

Uvedené tři případové studie ukazují na některá úskalí využití korozivzdorných materiálů. Z podrobných analýz vyplynulo, že komínové vložky, i když z předepsaných materiálů, mohou být v případě použití tuhých paliv nedostačující.

Obsah síry v palivu může vést ke korozi pod rosným bodem kyseliny sírové, která je velmi nebezpečná, ale lze ji konstrukčně výrazně eliminovat (vyšší teplota spalin). Větším problémem se zde ukázal obsah chloridů, které byly rozhodující příčinou bodové koroze, která vedla až k proděravění komínové vložky. Příčinou může být i to, že provozovatelé spalují i jiná paliva, v poslední době se přidává odpadní biomasa, mnohdy nekontrolovaně. Biomasa je ale zdrojem chloridů, zejména sláma a obiloviny jich obsahují velké množství [6].

Je proto třeba věnovat pozornost hlavně složení paliva a následně odváděným spalinám, aby se eliminovaly rizikové faktory. Konstrukčně a provozně je třeba maximálně omezit možnost kondenzace vlhkosti při odvodu spalin, poněvadž je toto příčinou vzniku silně kyselého prostředí a následně velmi rychlé koroze s vodíkovou depolarizací.

U dvou sledovaných instalací (VZ039/14 a VZ040/14) ani použití předepsaného paliva, certifikovaného kotle a korozivzdorné vložky z předepsaného materiálu nezabránilo devastující korozi vložky.

Úplná devastace vzorku VZ041/14, kdy došlo prakticky k rozpadu komínové vložky po celém obvodu, byla zapříčiněna nevhodným materiálem vložky. V tomto

Tab. 7. Složení použitého uhlí / Composition of the used coal

Číslo vzorku	Popis vzorku	S _{spal} (%)	Cl (%)
		Síra spal.	Chlór
		(vztaženo na sušinu)	(vztaženo na sušinu)
VZ 233/14	hnědé uhlí Bílina, nezpůsobovalo korozi	1,45	0,03
VZ 234/14	hnědé uhlí Bílina, způsobovalo korozi	0,72	0,03

případě byla použita ocel nižší jakosti, bez molybdenu, která se pro tyto provozní podmínky nehodí, a také neodpovídala požadavkům příslušné normy.

Z uvedené případové studie vyplývá, že použití komínových vložek z korozivzdorných materiálů má svá rizika. Sledované instalace vykázaly popsání problémy již po jednom a dvou letech provozu, což by mohlo následně ovlivnit bezpečnost provozovaného zařízení.

Poděkování

Tato práce vznikla za finanční podpory projektů „INEF“ (VaVpI) a „INEF-G“ (NPUI).

LITERATURA

1. Číhal, V., Lasek, S., et. al. *Flue gas desulphurization corrosion control*. SVUOM Praha:2011.
2. During, E.D.D., *Corrosion atlas - A collection of illustrated case histories*. Vol 1,2. Elsevier S. P.:1991.
3. Lacombe, P. et. al. *Stainless Steels*. Les Ulis:1993, Les Editions de Physique Les Ulis, 987.
4. Číhal, V.: *Korozivzdorné oceli a slitiny*, Academia:Praha, 1999.
5. Blahetová, M. *Korozní charakteristiky vysokolegovaných korozivzdorných materiálů*, Disertační práce, VŠB-TU Ostrava, 2010.
6. Voláková, P.: Prvkové složení biomasy. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prvkove-slozeni-biomasy> (accessed 25.1.2015).