



OHNÚT
spalovací technika s.r.o.

Tečovice 13, 763 02 Zlín
Tel.: 577 103 112
Fax: 577 103 936
spal.technika@ohnut.cz
www.ohnut.cz



SAACKE

- dodávky hořáků SAACKE, plynových, olejových a kombinovaných s rotačním nebo parním rozprašováním v různých modifikacích jako nízkoemisní, zapalovací a stabilizační, pro speciální spalování; k použití u všech druhů kotlů včetně veškerého příslušenství a potřebných armatur s výkony 2 - 134 MW

- dodávky hořáků ECLIPSE vhodných pro široké průmyslové použití

- dodávky a montáž technologických celků kotelů



- výroba palivových stojanů příslušenství k hořákům

- výroba hořákových rozvaděčů

Řešení SAACKE pro nízké emise bez omezení výkonu.

Provozovatelé spalovacích zařízení s minimálním výkonem 50 MW jsou vystaveni velké výzvě napříč všemi sektory výroby. Důvodem je nová směrnice EU o snižování emisí NO_x - Směrnice průmyslových emisí (IED). Tato směrnice vstoupí v platnost pro existující i nová zařízení od 1.1.2016. V praxi to znamená že emise NO_x pro zařízení spalující zemní plyn budou omezeny na 100 mg/m³.

Průmyslové podniky si nyní uvědomují nastávající situaci a jsou nuceny jednat.

Fy SAACKE má více než 80 let zkušeností v oblasti vývoje a realizace spalovacích technologií a vždy hledala optimální řešení pro potřeby svých zákazníků. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem a potřebám vyvinula nový typ nízkoemisních hořáků řady DDZG-LN/EN.

Tato nová série hořáků je tak vhodná pro spolehlivé splnění i těch nejprísnějších emisních limitů NO_x na modernizovaných nebo nových zařízeních.

Dosahuje emisních limitů od 50 do 90 mg/m³ při provozu na zemní plyn i bez potřeby druhotných opatření jako je např. recirkulace spalín nebo redukce spalovacího výkonu.

Tento parně rozprašující tlakový hořák je používán na vodotrubných kotlích a může být díky své modulární konstrukci použit pro různé rozměry spalovacích komor a různé druhy paliva.

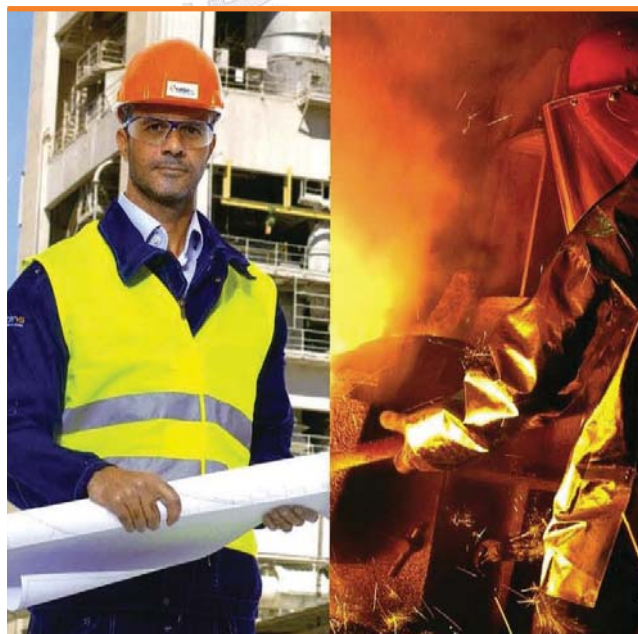
Fy OHNÚT spalovací technika s.r.o. je připravena nabídnout vhodné řešení i pro Vaši aplikaci.



Globálně působící firma Calderys se aktivně podílí na zlepšení užitných vlastností a trvanlivosti vyzdívek vašich zařízení.

Díky inovačním řešením si drží vedoucí postavení na trhu.

Dodavatel žáromateriálů pro energetiku a další odvětví průmyslu



Zastoupení pro Českou republiku: **Calderys Czech s.r.o.**, 28. října 203, 709 00 Ostrava - Mariánské Hory, tel.: +420 596 616 525, e-mail: czech-republic@calderys.com, www.calderys.com

Nánosy na teplosměnných plochách kotle spalovny komunálních odpadů

Předmětem příspěvku je tvorba nánosů na teplosměnných plochách kotle spalovny komunálních odpadů. Nežádoucí nánosy utvořené ve spalínových tazích mohou komplikovat provoz všech energetických zařízení spalujících tuhá paliva. V případě energetického využívání komunálního odpadu to vzhledem k různorodosti spalovaného materiálu platí dvojnásob. Obecně zanesení teplosměnných ploch zhoršuje předávání tepla ze spalín do pracovní látky a tím dochází ke snížení účinnosti zařízení. Dále nánosy ovlivňují tvar a zmenšují velikost průtočného kanálu spalín. Tvorbou nánosů se také zvyšuje drsnost povrchu uvnitř spalínového kanálu. Tyto dva efekty zpravidla zvětšují tlakovou ztrátu spalínových tahů. Finálním důsledkem může být nárůst spotřeby spalínového ventilátoru, nebo snížení celkového množství spalín. Hlavní problém však nastává, pokud míra zanesení spalínových tras dosáhne takového stavu, kdy spaliny nemohou v dostatečné míře proudit kotlem, pak může dojít vlivem tvorby nánosů k nucenému odstavení zařízení. První krok k redukci tvorby nánosů představuje specifikace nejčastějších míst a podmínek vzniku nánosů. Další část výzkumu se zaměřuje na mechanismus vzniku a růstu vrstvy nežádoucích nánosů.

Klíčová slova: komunální odpady, spalovna, tvorba nánosů

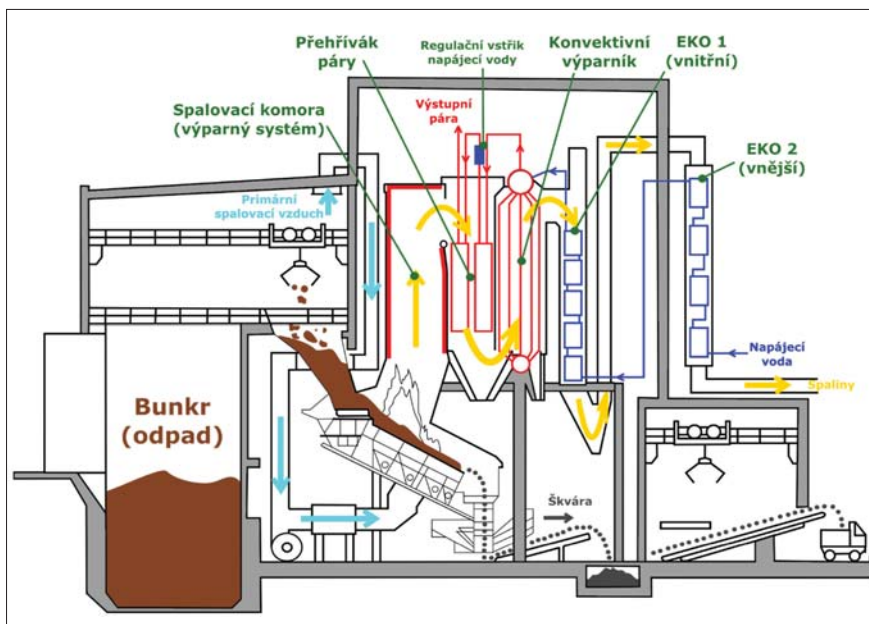


Obr. 1 – Brněnská spalovna komunálních odpadů SAKO Brno a.s.

ÚVOD

Odpad provází lidstvo od počátku utváření lidské společnosti. S narůstajícím rozsahem a vyspělostí lidské společnosti se logicky mění také množství a složení produkovaného odpadu. Výrazný nárůst množství odpadu sebou přinesla jako vedlejší produkt průmyslová revoluce v 19. století. Nejrazantnější změny z hlediska produkce odpadu však přinesla až transformace naší společnosti směrem ke konzumnímu způsobu života ruku v ruce s prudkým nárůstem populace na naší planetě v průběhu 20. století. V tomto století došlo k exponenciálnímu nárůstu produkovaného odpadu. S tím jak se měnila struktura společnosti a míra vyspělosti se také měnilo složení odpadu. Jednu z možností nakládání s odpadem představuje právě termická likvidace odpadu, kdy lze energii chemicky vázanou v odpadu spalováním uvolnit a následně využít pro energetické účely.

Problematika tvorby nánosů se vyskytuje v různé míře téměř u všech energetických zařízení spalujících tuhá paliva. Formování nánosů silně závisí na typu kotle, používaném palivu a teplotě v systému. Například u uhlí, spalujících v elektrárnách, se nánosy tvoří za vysokých teplot kolem 900°C a vykazují vysoký obsah amorfních fází, anhydrit, hematit a křemičitany [1]. Při spalování biomasy představuje významný problém relativně vysoký obsah vstupujícího draslíku a chloru, který iniciuje tvorbu lepkavé



Obr. 2 – Schéma kotle brněnské spalovny komunálních odpadů s naznačeným uspořádáním teplosměnných ploch

a korozivně působící usazeniny na stěnách přehříváku [2].

Komunální odpad je kombinací nehomogenních materiálů obsahujících velký podíl síry, chloru, alkalických kovů, kovů alkalických zemin a malé množství těžkých kovů jako olovo nebo zinek [3]. Tyto prvky jsou během spalování odpařeny a transportovány ve spalínách společně s popelovými částicemi ze spalovacího lože. Všechny tyto komponenty formují nánosy na teplosměnných plochách zejména konvektivní části kotle. Z těchto materiálů se následně formují velice tvrdé nánosy, které omezují přestup tepla ze spalín do pracovní látky. Nárůst nánosů na povrchu teplosměnných ploch spalovny při spalování pevného komunálního odpadu představuje významný problém pro operátory spaloven.

SPALOVNA KOMUNÁLNÍCH ODPADŮ BRNO – SAKO BRNO A.S.

Společnost SAKO Brno a.s. umožnila realizovat odběr vzorků a studium vlivu nánosů ve svém provozu. Spalovna komunálních odpadů

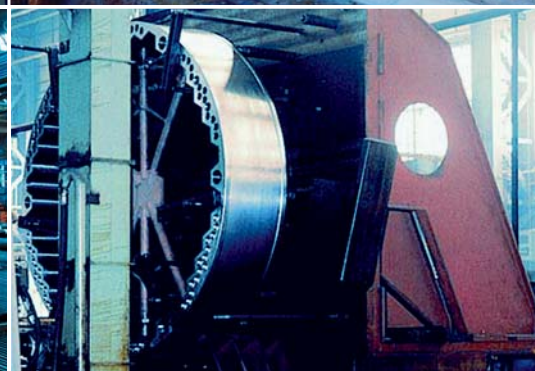
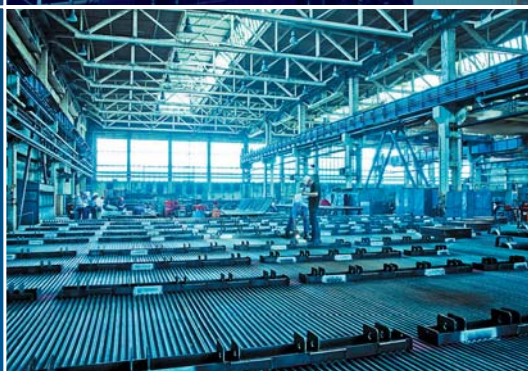
v Brně je jednou ze tří provozovaných spaloven komunálních odpadů v České Republice. Společnost SAKO Brno a.s. patří statutárnímu městu Brno a město Brno spalovnu využívá k redukování množství komunálního odpadu. Primární účel spalovny tedy představuje hygienická likvidace tuhého komunálního odpadu a vybraného průmyslového odpadu spalováním. Vznikající odpadní tepelná energie se využívá na výrobu páry dodávané do parních rozvodů města Brna. Část páry bývá spotřebována na výrobu elektrické energie pomocí parní kondenzační turbíny s jedním regulovaným a jedním neregulovaným odběrem.

Výstavba spalovny Brno byla zahájena v roce 1984, uvedení spalovny do provozu následovalo v roce 1989. V období let 1996 a 1997 byla provedena úprava kotlů za účelem dosažení nově zpřísněných emisních limitů. Kompletní rekonstrukce spalovny proběhla v letech 2009 až 2011. Součástí rekonstrukce byla výstavba dvou parních kotlů nahrazujících staré kotle K2 a K3, nového systému čištění spalín, odškvárování a odpopílkování. Kotel K1 využívaný

ses tlmáče



Riešenia, technológie a dodávky pre klasickú a jadrovú energetiku



- Projekty kotlov a kotolní pre elektrárne, teplárne a spaľovne.
- Rekonštrukcie, modernizácie, ekologizácie kotlov a kotolní.
- Kondenzátory, tepelné výmenníky a potrubia.
- Zariadenia pre jadrovú energetiku.
- Zariadenia pre chemický, petrochemický, plynárenský a hutnícky priemysel.
- Zariadenia pre vodnú energetiku.

Inžiniering, výroba, montáž, uvádzanie do prevádzky
Viac ako 60 rokov v energetike
Referencie v 55 štátoch

SLOVENSKÉ ENERGETICKÉ STROJÁRNE a.s.
Továrenská 210, 935 28 Tlmáče, Slovensko

www.ses.sk



Obr. 3 – Ukázka silného zanesení spalínového kanálu z konce února 2014, kdy kotel K2 musel být díky zanesení odstaven

v průběhu výstavby byl po zprovoznění nových kotlů demontován. [4] Ve spalovně se jako palivo používá směsný komunální odpad, který nelze jinak materiálově využít, tedy odpad, který je svážen z popelnic a kontejnerů černé barvy a též vybraný odpad z průmyslu. [5]

POPIS KOTLE SPALOVNY

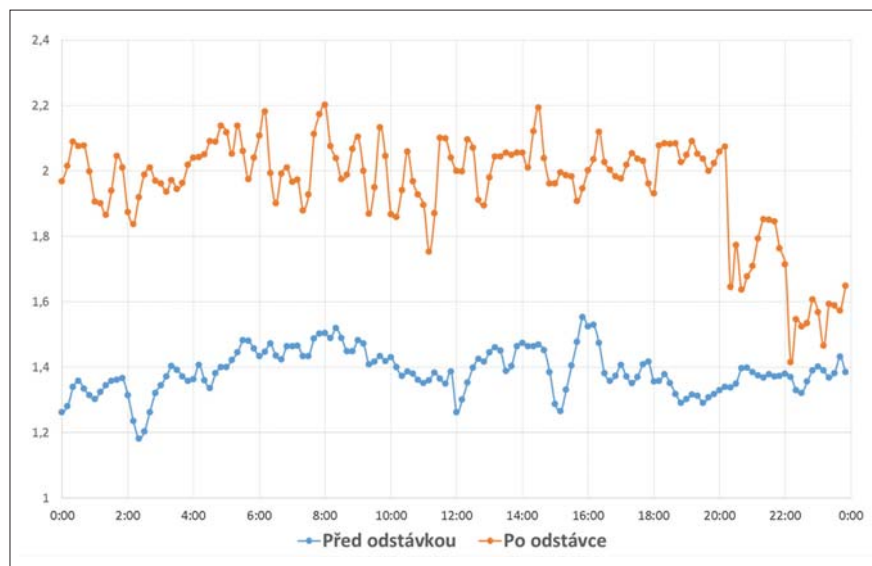
V kotelně jsou umístěny dva vodotrubné kotle od francouzského výrobce CNIM se šikmými vratisuvnými rošty firmy MARTIN se jmenovitým výkonem 16 tun odpadu/hod. Jmenovité množství páry o parametrech 400°C a 40 bar je 52,3 t/hod. Každý kotel je osazen plynovým hořákem France Thermique o výkonu 26 MW. Spalovány mohou být odpady o výhřevnosti v rozmezí 8,0 až 15 MJ/kg s maximální vlhkostí 50 % a obsahem popela 20 až 40 % při dodržení povolených emisních limitů. Řešení spalovny umožňuje nastavení spalovacího režimu na roštu v jednotlivých pásmech pro široký sortiment spalovaných odpadů při správné intenzitě spalování. [4]

Znečišťující látky ve spalínách na výstupu z kotlů se vyskytují ve formě tuhých částic a v plynné fázi. Před vypuštěním do ovzduší jsou spaliny upravovány polosuchým procesem v absorberu, dále spaliny prochází systémem odlučování prachu pomocí textilního filtru. Čištění spalín není předmětem tohoto výzkumu, proto se o něm zpráva podrobněji nezmiňuje. Kotel je tvořen pěti tahy, kterými procházejí spaliny:

- První tah (spalovací komora) tvoří membránové stěny chráněná žáruvzdornou výzdívkou ve spodní části komory. Horní část spalovací komory je ošetřena inconelem.
- Druhý tah (radiační komora) obsahuje dvě sestavy zavěšených panelů deskových přehříváků s hladkými trubkami spojenými žebrovím. Náběžné hrany těchto panelů a nosné trubky jsou chráněny kryty. Tato koncepce přehříváku umožňuje jejich fungování převážně vyzařováním. Komora s těmito výměníky je tvořena membránovými stěnami.
- Třetí tah obsahuje konvekční výparníkový svazek.
- Čtvrtý tah je tvořen plechovým pouzdem obsahujícím pět svazků ekonomizérových trubek - (Ekonomizér 1)
- Pátý tah je tvořen plechovým pouzdem obsahujícím čtyři svazky ekonomizérových



Obr. 4 – Porovnání zanesení trubek výparníku před a po odstávce a údržbě (říjen 2014)



Graf 1 – Ukázka rozdílné velikosti regulačního vstřiku napájecí vody mezi stupně přehříváku při provozu kotle před a po odstávce

trubek - (Ekonomizér 2). Pátý tah je umístěn ve venkovní části. [4]

Podrobnější uspořádání teplosměnných ploch kotle přehledněji zobrazuje následující obrázek (obr. 2).

Z důvodu vysoké agresivity spalín by teplota na stěně trubek ekonomizéru neměla poklesnout pod teplotu rosného bodu spalín (cca 190°C). Velkou výhodou v tomto ohledu představuje možnost regulace teploty spalín na výstupu z kotle. Regulace teploty na konci spalínové cesty je realizována řízením teploty napájecí vody vstupující do EKO. Touto cestou lze udržet v podstatě neměnnou komínovou ztrátu kotle, která nejpodstatněji ze všech ztrát ovlivňuje celkovou účinnost kotle. Účinnost kotle jako celku vychází o něco nižší, avšak výrazně nezávisí na stupni zanesení teplosměnných ploch. Dále je kotel vybaven šotovými přehříváky, které dokáží předávat teplo i vyšší míře zanesení teplosměnné plochy.

NEGATIVNÍ VLIV NÁNOSŮ NA PROVOZ ZAŘÍZENÍ

Obecně nánosy uchycené na teplosměnných plochách mohou snižovat účinnost kotle, zhoršuje se předávání tepla ze spalín do pracovní látky. To znamená, že se spaliny hůře vychlazují a vzrůstá tím teplota spalín na výstupu z jednotlivých teplosměnných ploch. V konečném důsledku se zvyšuje výsledná komínová ztráta. Dále usazené nánosy mění tvar a zmenšují velikost průtočného kanálu spalín. Tvorbou nánosů se také zvyšuje drsnost povrchu na teplosměnných plochách. Tyto dva efekty zpravidla zvětšují tlakovou ztrátu spalínových tahů. Finálním důsledkem bývá nárůst spotřeby spalínového ventilátoru, nebo snížení celkového množství spalín. To ovšem neplatí, pokud míra zanesení takového stavu, kdy spaliny nemohou kotle

Další negativní vliv tvorby nánosů představuje riziko zvyšování korozivních účinků zejména chlorových a sirných sloučenin na materiál stěny trubek. Korozie na trubkách přehříváku ve



**FLASH STEEL
POWER**



TECHNOLOGICKÉ CELKY - HUTNÍ MATERIÁL PRO ENERGETIKU STROJNÍ POLOTOVARY A DÍLY - MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Technologické celky pro energetický a chemický průmysl

Parovody, tlakové nádoby,
výměníky, plynová potrubí,
spalinovody

Hutní materiál pro energetický a chemický průmysl

Ocelové trubky, rovné trasy,
ohyby, armatury, redukce,
T-kusy, příruby, plechy, výpalky,
ploché a kruhové tyče



Flash Steel Power, a.s., Martinovská 3168/48, 723 00 Ostrava, tel.: +420 596 958 542, info@flashsteel.cz, www.flashsteel.cz



Dodavatel průmyslových armatur, potrubí a potrubních dílů pro klasickou a jadernou energetiku

Člen celosvětové sítě autorizovaných servisních
center M.A.R.C. a G.T.C. společnosti GE Energy

Masoneilan

Consolidated

PERSIA

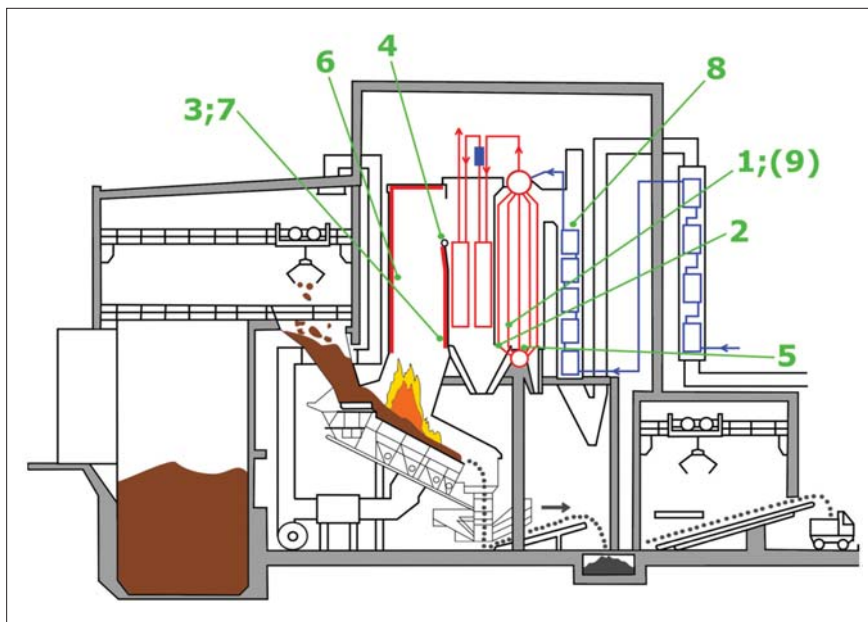
- Regulační ventily Masoneilan®
- Vysokotlaké armatury Persta®
- Pojistné ventily Consolidated®
- Speciální vysokotlaké
Zero Leakage armatury
- Autorizovaný servis
průmyslových armatur
a pohonů
- Spojovací potrubí

Moravia Systems a.s., člen skupiny KKCG SE

www.moraviasystems.cz

Kancelář v Hodoníně: Plučárna 1, 695 01 Hodonín, tel. +420 518 344 111, fax +420 518 321 122, info@mtsystems.cz

Kancelář v Praze: Vinohradská 1511/230, 100 00 Praha 10, tel. +420 225 010 456, fax +420 225 010 444, intermos@intermos.cz



Obr. 5 – Naznačení konkrétních míst odběru vzorků nánosu z kotle spalovny při odstávce zařízení

Vzorek	Místo a čas odběru vzorku	Popis vzorku
Vz. 1	Konvektivní výparník únor 2014	Materiál vzorku vykazuje sypkou konzistenci (drolí se), z odebraných vzorků má nejnižší teplotu tavení (cca 620 °C)
Vz. 2	Spodní část konvektivního výparníku (u přechodu z 2. tahu kotle) – únor 2014	Nános je tvořen převážně tvrdým pevným materiálem bez pórů, tento tvrdý materiál je proložen vrstvami sypkého drolivého materiálu podobný vzorku 1 (i vlastnosti podobné – taví se při cca 620 °C). Tvrdé vrstvy se naopak taví při vysokých teplotách (cca 1 250 °C)
Vz. 3	Spalovací komora spodní část únor 2014	Velmi tvrdý, porézní materiál s vysokou teplotní stabilitou, zřejmě uhlíkový nedopal. (začíná se tavit při cca 1 160 °C)
Vz. 4	Spalovací komora horní část (obrat tahu u mříže) – říjen 2014	Nános střední tvrdosti, začíná se tavit při cca 1 140 °C
Vz. 5	U spodního bubnu říjen 2014	Konzistenci je podobný vzorku 2, ale s nižší teplotou tavení. (první deformace při cca 900 °C)
Vz. 6	Spalovací komora střední část (3. patro lešení při odstávce) – říjen 2014	Tvrdší materiál s jemnými póry. Zřejmě z něj pozvolným stečením po stěně spalovací komory vznikne nános podobný vzorku 3 a 7.
Vz. 7	Spalovací komora spodní část říjen 2014	Velmi tvrdý, porézní materiál, zřejmě uhlíkový nedopal. Stejný jako vzorek 3, jen odebraný v říjnu 2014. (začíná se tavit při cca 1 150 °C)
Vz. 8	Ekonomizer 1 horní část (čtvrtý tah kotle) – říjen 2014	Tvrdý a relativně křehký nános, oproti ostatním vyniká světlou barvou. (teplota tavení cca 890 °C)
Vz. 9	Zřejmě z konvektivního výparníku (Vzorek odebrán při odstředění nánosů těsně před odstavením kotle, místo tedy není přesně specifikováno) říjen 2014	Vlastnostmi je vzorek nánosu velice podobný vzorku 1, jen teplota tavení je o hodně vyšší. (začíná se tavit až při cca 1 140 °C)

Tab. 1 – Souhrn všech odebraných a testovaných vzorků nánosů

spalovných odpadů bývá způsobena sulfitací alkalických chloridu na alkalické sírany [6]. Provedené testy ukazují nižší obsah chloru v přechodové vrstvě nánosu na přehříváku. Proto i když nějaký chlor nebo chlorid zkondenzoval na povrchu teplosměnných ploch, byl částečně nahrazen síranem [7]. Uvolněný chlor dále pokračuje spolu se spaliny ve formě HCl a může nepříznivě působit na další teplosměnné plochy kotle ve směru proudění spalin.

POSOUZENÍ VLIVU NÁNOSU Z NAMĚŘENÝCH PROVOZNÍCH DAT

Součástí výzkumu bylo také zpracovávání provozních dat získaných při provozu zařízení.

S cílem posoudit vliv zanesení teplosměnných ploch na provoz zařízení byly sledovány provozní parametry před a po plánované odstávce zařízení. V tomto ohledu se ukazují jako podstatné pouze některé provozní parametry, protože se s tvorbou nánosů ve spalovně počítá už při návrhu zařízení. Celé zařízení je tedy koncipováno tak, aby dokázalo efektivně pracovat i při určité míře zanesení teplosměnných ploch. A zejména výstupní parametry páry musí být splněny vždy, na těchto parametrech by se tedy míra zanesení

Projevy nánosu na provozních parametrech zařízení

Pro správné posouzení vlivu nánosu na za-

řízení se ukazuje nutné najít provozní režimy před a po odstávce s co nepodobnějšími provozními parametry, aby byl minimalizován vliv provozního režimu na sledované hodnoty. Mezi podstatné provozní parametry v tomto ohledu spadá množství produkované páry, množství spalin a teplota ve spalovací komoře. Současně musí být provozní režimy během porovnávacího intervalu co nejstálější. Vzhledem k velikosti kotle a množství produkované páry lze považovat za dostatečně dlouhý stabilní interval 4 hodiny.

Projevy snížení účinnosti předávání tepla na teplosměnných plochách se projeví například horším ohřevem pracovní látky. Jinými slovy hůře se dosahuje požadovaných výstupních parametrů páry. Asi nejlépe patrný je vliv zanesení kotle na množství regulačního vstřiku napájecí vody mezi jednotlivé stupně přehříváku páry.

Z regulačních a provozních důvodů bývají parní kotle mírně naddimenzovány, aby se pomocí regulačního vstřiku napájecí vody mezi stupně přehříváku dosáhlo snížení parametrů páry na požadovanou výstupní hodnotu. Logicky se by se tedy s časem provozu a narůstající vrstvou nánosů na teplosměnných plochách mělo zmenšovat množství napájecí vody vstřikované jako regulační vstřik mezi stupně přehříváku páry. Tento efekt je možno sledovat na následujícím grafu.

VZORKY NÁNOSŮ ZE SAKO BRNO

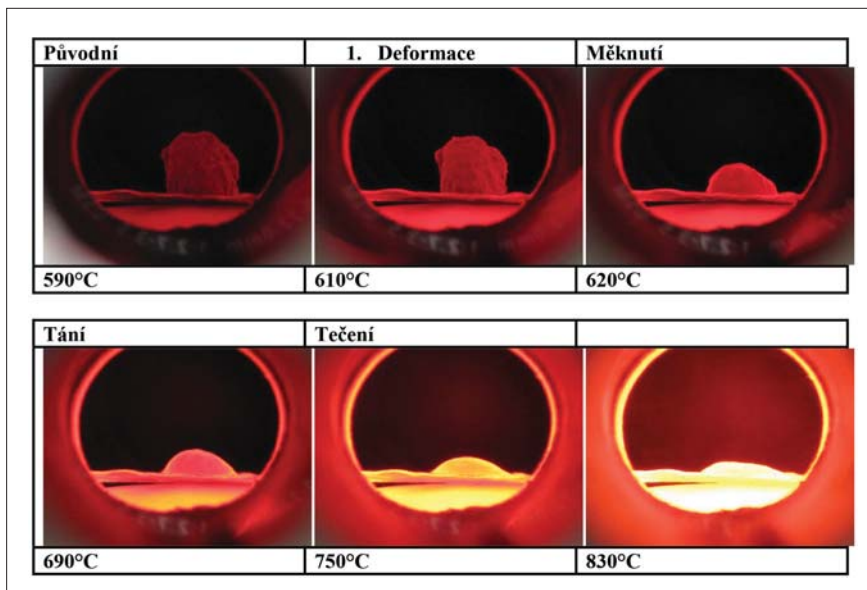
V průběhu plánované odstávky zařízení (říjen 2014) došlo k odběru vzorků nánosu usazených na teplosměnných plochách kotle spalovny. Konkrétní místa odběru znázorňuje

Odebrané vzorky nánosů byly v rámci možností podrobeny termogravimetrické analýze a měření teplotní stability pomocí laboratorní pozorovací tavící pece. Každý z odebraných vzorků vykazuje specifické vlastnosti související s místem, kde se nános utvořil. Z důvodu vzájemného posouzení vlastností nánosů byly vzorky odebrány na různých místech kotle.

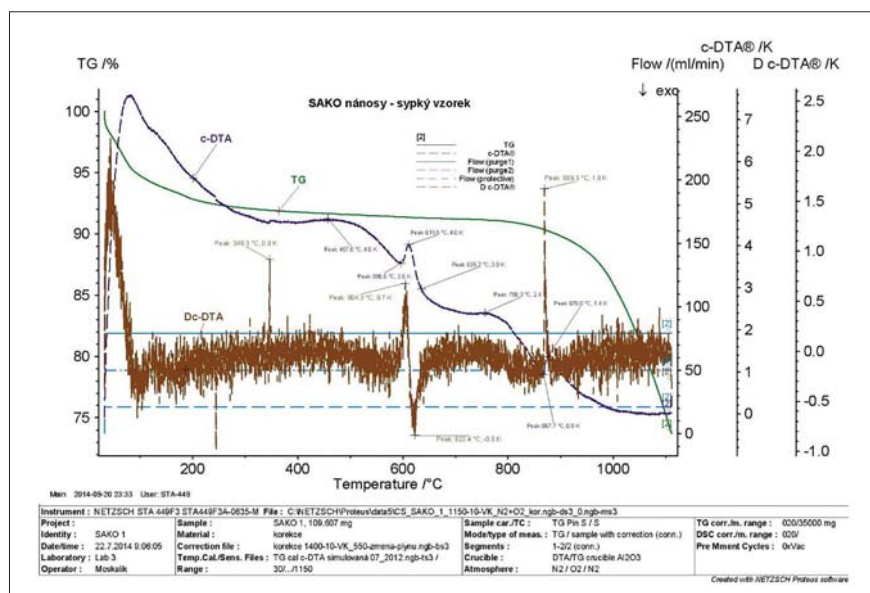
Pozn.: První tři vzorky byly odebrány servisní obsluhou kotle při havarijní odstávce zařízení koncem února 2014. Vlivem silného zanesení teplosměnných ploch došlo k omezení průtoku spalin v kritickém místě kotle. Tím došlo také k výraznému nárůstu tlakové ztráty spalínové trasy a kotle K2 musel být odstaven. Ostatní vzorky byly odebrány při plánované odstávce v říjnu 2014.

Měření teplotní stability nánosu

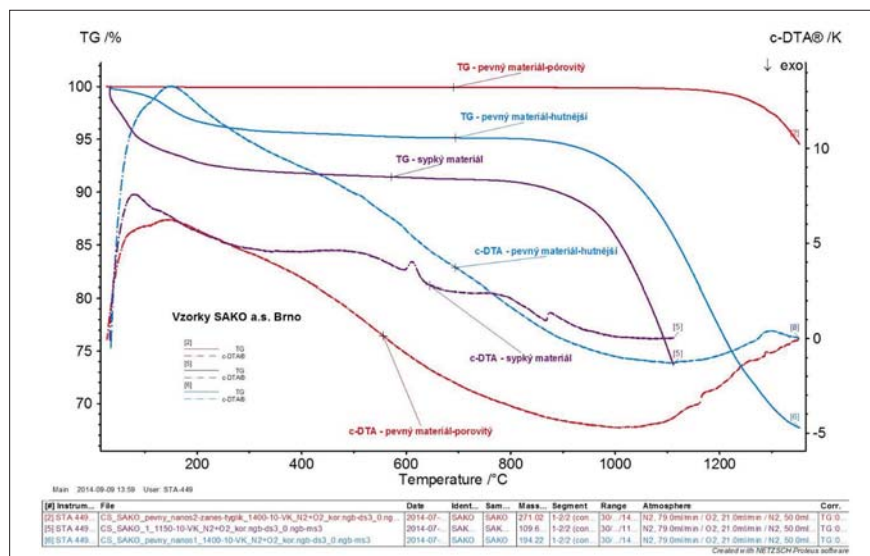
Pro měření teplotní stability nánosu byla částečně převzata metodika měření teploty tavení popelovin. Klasickou metodou určování charakteristických teplot popelovin představuje měření popela v laboratorní pozorovací peci. Princip metody spočívá ve sledování průběhu deformace testovacího tělíska v pozorovací peci při nárůstu teploty. Testovaný vzorek popeloviny je vylisován do tvaru zkušební tělíska nejčastěji válečku. Testovací tělíska se umísť do prostoru pozorovací pece, kde dochází



Tab. 2 – Ukázka vyhodnocování měření vzorků nánosu v pozorovací peci (sypeký nános z konvektivního výparníku)



Obr. 6 – Termogravimetrická analýza vzorku nánosu z konvektivního výparníku [9]



Obr. 7 – Porovnání TGA vzorků nánosů odebraných při odstávce v únoru 2014 (sypeký materiál – vzorek 1, pevný materiál hutnější – vzorek 2, pevný materiál pórovitý – vzorek 3) [9]

k řízenému nárůstu teploty. Při dosažení charakteristických teplot začne vzorek měnit svůj tvar a na základě tvaru deformace je usuzováno na konkrétní charakteristická teplota. Blíže pak metodu s pozorovací pecí popisuje norma ČSN P CEN/TS 15370 – 1.[8]

Při měření vlastností nánosů v pozorovací peci je třeba vzít v potaz určitá specifika testovaného materiálu nánosu. Materiál nánosu většinou vykazuje hodně pevnou a tvrdou konsistenci. Nelze z něj tedy vylišovat klasické testovací tělísko a podrobit jej klasickému stanovení charakteristických teplot jako u popelovin. Do pozorovací pece je možno umístit částečně vytvarovaný kousek materiálu nánosu a sledovat změny, které v něm probíhají při nárůstu teploty v peci.

Materiál nánosu již většinou slínováním prošel a změny odpovídající charakteristickým teplotám v něm již proběhly. Metodika měření charakteristických teplot popelovin je tedy převzata jen do určité míry. Označení jednotlivých stavů vzorku (teplota deformace, měknutí, tání a tečení) lze uvažovat pouze jako orientační. Záznam měření pak spíše než jednoznačné teploty tavení poskytuje dokreslení procesů odehrávajících se při tvorbě nánosu. Tyto záznamy však nejsou většinou jednoznačně interpretovatelné, získané informace by měly posloužit jako podklady pro další diskuzi.

Termogravimetrická analýza (TGA) vzorků nánosů

Jak již název (termogravimetrie) napovídá, jedná se o spojení měření hmotnosti (gravimetrie) a přesného měření teploty (termo) váženého vzorku. Nejčastěji dochází k řízenému zahřívání vzorku testovaného materiálu a sledování průběžného úbytku hmotnosti vzorku vlivem termo-chemických dějů. Analyzátoři tyto křivky většinou zpracovávají ve formě termogravimetrického signálu, který lze dále analyzovat. Při termogravimetrické analýze vlastně dochází ke zpětnému vyhodnocování naměřených hodnot úbytků hmotnosti a na jejich základě se usuzuje k jakým termo-chemickým a termo-fyzikálním změnám v materiálu došlo.

Popis experimentů

Vzorek testovaného materiálu je umístěn do speciálního kelímku (tzv. tyglíku) vyrobeného z Al_2O_3 z důvodu vysoké teplotní stability. Tento tyglík se napojí na vrchol měřicího modulu, kde je také zapojen termočlánek. Celý modul je zaveden do píčky, kde dochází k ohřevu vzorku. Vzorek se zahřívá podle obsluhovaného definovaného teplotního programu. Testovaný vzorek je průběžně vážen a hodnota hmotnosti se souvisle zaznamenává.

TGA-signal je časově souvislý záznam úbytku hmotnosti vzorku vlivem jeho zahřívání. Pro lepší přehlednost se naměřená data převedou do grafu, kde na ose x je vynášena teplota a na ose y se vynášejí hmotnostní úbytek (viz obr. 6.). Naměřené hodnoty TGA-signalu samy o sobě

nic konkrétního nevypovídají. Záleží tedy na správně zvolené interpretaci výsledků, zda poskytné žádané údaje a závěry o probíhajících procesech uvnitř testovaného vzorku. Přesnější vyhodnocení vyžaduje dobrou znalost termofyzikálních a termo-chemických procesů a širší diskuzi.

Na předešlém obrázku je uvedena ukázka záznamu a vyhodnocení termogravimetrické analýzy vzorku nánosu z konvektivního výparníku (vzorek č. 1). Zelená křivka označená TG ukazuje průběh úbytku hmotnosti TG-signal. Fialová křivka zobrazuje c-DTA (computed Differential Thermal Analysis), kde je možné detekovat např. fázové změny v materiálu. Pro lepší přehlednost je provedena derivace c-DTA signálu (Dc-DTA), aby lépe vynikly jeho změny (hnědá křivka). V tomto případě je vidět, že hodnoty teplot tavení nánosu změřených v pozorovací peci korespondují s hodnotami získanými vyhodnocením signálu z TGA.

ZÁVĚR

V rámci řešení projektu byla otevřena zajímavá problematika zanášení teplosměnných ploch energetických zařízení spalujících komunální odpad. Provedená rešerše a základní testy odebraných vzorků ukazují potřebu řešit problematiku tvorby nánosu co nejkomplexněji. Při vyhodnocování vlastností a vlivu nánosů se spojuje celá řada vědeckých disciplín. Vyhodnocování fázových změn pomocí TGA dává jednoznačné výsledky zejména u homogenních jednosložkových materiálů (např. kovy a slitiny). V případě nánosů složených z mnoha různých sloučenin je vyhodnocování složitější. Každá složka nánosu má rozdílnou teplotu tavení, nehledě na to, že některé složky mezi sebou vytváří eutektika. Výstupem TG analýzy tak bývá

křivka zachycující celou řadu termochemických a fyzikálních změn v materiálu nánosu.

Porovnání TG analýz vzorků nánosů z různých míst kotle dokazuje, že každý typ nánosů vykazuje rozdílné vlastnosti, zejména co se teplotní stability týče (viz obr. 7). Vzájemné porovnání analýz vzorků také podle očekávání dokazuje různorodost složení nánosů z rozdílných míst kotle. Při porovnání měření z pozorovací tavící pece a výsledků z termogravimetrické analýzy je patrné, že při vyšších teplotách dochází ve vzorku ke změnám, které nejsou v pozorovací peci opticky zaznamenatelné. Podstatná změna týkající se změny skupenství však byla u některých vzorků (vzorky z konvektivního výparníku) shodně zaznamenána jak pomocí TGA, tak v pozorovací peci.

Obecně z hlediska vylepšování provozu energetických zařízení se ukazuje výhodné širší poznání vlivů působících na provoz zařízení. Studium tvorby nánosů bude vyžadovat ještě spoustu úsilí, aby na jeho základě bylo možno stanovit jednoznačná opatření minimalizující tvorbu nánosů i jejich negativní důsledky na provoz zařízení. Bylo by tedy vhodné se této problematice věnovat i nadále.

Poděkování

Poděkování patří v první řadě společnosti SAKO Brno a.s., která realizaci a průběh celé stáže umožnila přístupem svých technologických prostor. Výzkumný materiál vznikl za podpory Evropské unie a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy. Projekty: Nové kreativní týmy v prioritách vědeckého bádání; registrační číslo projektu CZ.1.07/2.3.00/30.0055 NETME Centre – New technologies for Mechanical Engineering, registrační číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0002

LITERATURA

- [1] Kostakis, G., Mineralogical composition of boiler fouling and slagging deposits and their relation to fly ashes: the case of Kardias power plant. J Hazmat 185, 1012 až 1018. (2011)
- [2] Baxter, L.L., Ash deposition during biomass and coal combustion: a mechanistic approach. Biomass Bioenergy 4, 85–102. (1993)
- [3] Pfrang-Stotz, G., Reichelt, J., Seifert, H., Belagsbildung und Korrosion in Abfallverbrennungsanlagen. In: Thomé-Kozmien-sky, K.J. Optimierung der Abfallverbrennung, Band 1. Neuruppin. TK Verlag, S. 525–538. (2004)
- [4] Karásek M.: Spalovenské kotle – místní provozní řád (PS 102 – kotelná)
- [5] Webové stránky společnosti SAKO Brno a.s. – dostupno na: www.sako.cz
- [6] Nielsen HP. Deposition and high temperature corrosion in biomass fired boilers [Dissertation]. Denmark: Technical University of Denmark; (1998)
- [7] Guanyi Chen, Nan Zhang, Wenchao Ma, Vera Susanne Rotter, Yu Wang: Investigation of chloride deposit formation in a 24 MWe waste to energy plant, Elsevier Fuel 140, 317–327 (2015)
- [8] ČSN P CEN/TS 15370-1: Tuhá biopaliva – Metoda pro stanovení teploty tání popela – Část 1: Metoda stanovení charakteristických teplot.
- [9] NETZSCH-Gerätebau GmbH: Výstup z programu Proteus Analysis.

Ing. Jiří Moskalík, Ph.D.,
VŠB - Technická univerzita Ostrava
a Energetický ústav FSI VUT Brno

Deposits on heat-exchanging surfaces of a communal waste incinerator boiler

The subject of the article is the formation of deposits on heat exchanger surfaces of a communal waste incinerator boiler. These unwanted deposits forming in flue-gas passes can complicate the operation of all energy facilities than incinerate solid fuel. As regards the energy utilisation of communal waste this applies twofold in view of the diversity of the incinerated material. Generally the silting up of heat-exchanging surfaces worsens the transfer of heat from flue gases into a working substance resulting in the reduction of the facility's efficiency. Further deposits affect the shape and reduce the size of the once-through flue-gas duct. The formation of deposits also increases the roughness of the surface inside the flue-gas duct. These two effects usually increase the pressure loss of flue-gas passes. The final outcome can be an increase in the consumption of the flue-gas fan or decrease in the total amount of flue gases. However the main problem occurs if the degree of silting of the flue-gas routes reaches such a state that the flue gases cannot flow adequately through the boiler resulting in the shutdown of the facility due to the formation of deposits. The first step towards the reduction of the formation of deposits is to determine the most common places and conditions of the formation of deposits. Another part of the research focuses on the mechanism of the formation of growth of layers of unwanted deposits.

Налёт на теплообменных поверхностях котлов для сжигания коммунальных отходов

Предметом обсуждения в статье является образование налета на теплообменных поверхностях котлов для сжигания коммунальных отходов. Нежелательный налет образуется при сжигании твердого топлива и может повредить работе всего энергетического оборудования. В случае энергетического использования коммунальных отходов, принимая во внимание разнородность сжигаемого материала, такой опасный налет появляется в два раза быстрее. Обычно образование налета на теплообменных поверхностях ухудшает передачу тепла от продуктов сгорания рабочему материалу и из-за этого происходит снижение эффективности оборудования. Далее налёты влияют на форму и уменьшают размеры каналов, которыми проходят продукты сгорания. Образование налета повышает шероховатость и неровность поверхности внутри канала для отвода продуктов сгорания. Эти два эффекта снижают силу тяги в каналах. В результате повышаются расходы электроэнергии вентилятора, или снижается количество продуктов сгорания. Но главная проблема появляется тогда, когда в результате образования налета отводные трубы забиты настолько, что продукты сгорания уже не могут проходить в достаточном количестве через котел. В таком случае необходима техническая остановка оборудования. Первый шаг к редукции образования налета — это спецификация мест и условий возникновения этого налёта. Вторая часть исследований касается механизма возникновения и роста слоев нежелательных налетов.