

AKTIVNÍ SNÍŽENÍ ROZSAHU EROZNÍCH ÚČINKŮ NA PONOŘENÉ TEPLOSMĚNNÉ PLOŠE FLUIDNÍHO KOTLE - VÝVOJ A PROVOZNÍ NASAZENÍ

ACTIVE REDUCING EXTEND OF EROSION ON THE IMMERSSED HEAT EXCHANGE SURFACE IN FLUIDIZED BOILER – DEVELOPMENT AND REAL OPERATION.

Jan Andreovský a Petr Mareš

United Energy a.s., Teplárenská 2, Most Komořany, 434 03

Abstrakt

Príspevek shrnuje zkušenosti a výsledky z vývoje a reálného provozu opatření, které aktivním způsobem snižuje rozsah eroze na ponořené teplosměnné ploše fluidního kotle teplárny United Energy a.s.

The paper collected experiences and results from development and real operation equipment that reduced the erosion on the immersed heat exchange surface by active way. The equipment is developed and used in fluidized boiler power plant United Energy a.s.

Úvod

Teplárna Komořany společnosti United Energy a.s. provozuje 8 fluidních kotlů. Nominální parametry kotle jsou 154 t/h resp. 138 t/h páry při přetlaku 7.5 MPa a teplotě 490 °C. Jedná se o parní kotel s tzv. stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou ve spalovací komoře. Průřez spalovací komory kotle je cca 80 m², distribuce fluidizačního média je zajištěna talířovými tryskami s částečnou perforací. Kotel je navržen a realizován s ponořenou teplosměnnou plochou ve fluidní vrstvě, která slouží jako výparník nuceného cirkulačního okruhu kotle. Ponořením nebo odkrytím plochy výparníku, tj. zvýšením nebo snížením výšky fluidní vrstvy, je regulován výkon kotle. Výparník je koncipovaný jakou trubkový, přičemž na vnější straně výměníku je fluidní vrstva spalovací komory a uvnitř trubek proudí parovodní směs. Ve spalovací komoře každého kotle je instalováno 9 svazků (věží) na přední straně kotle a 9 svazků (věží) na zadní straně kotle. Pro svazek se používá výraz ložový had, neboť svým tvarem připomínají tělo hada. Jeden svazek je sestaven z přímých úseků trubek a kolen v celkové délce cca 61 m. Celkově je v loži instalováno cca 1.1 km délky trubek což odpovídá cca 308 m² otápené plochy. Nominální výchozí tloušťka stěny trubky a kolene ložového hadu je 12.5 mm, vnější průměr trubky ložového hadu je 88.9 mm, použitý materiál je 13CrMo44 (ekvivalent ČSN 15 021). Pohled do fluidního lože s ložovými hady je zobrazen na obr 1.

Kotel je provozován s odsířením ve fluidní vrstvě a dále s reinjektáží úletového popílku. Reinjektáž popílku je zaváděna zejména z důvodů zvýšení efektivity odsíření a dosažení nominálních parametrů kotle ve vybraných provozních oblastech kotle. Odsíření je zajištěno dávkováním drceného vápence do spodních partií fluidní vrstvy (tzv. pod vrstvu). Dodávka vápence a reinjektovaného popílku pod vrstvu je zajištěna nízkotlakou pseudopravou prostřednictvím inketážních trysek ponořených ve fluidním loži.

Fluidní vrstva lože spalovací komory o provozní teplotě cca 790 – 850 °C je tvořena směsí produktů po spalování a odsíření, paliva a spalin. Dominantní prvky chemické skladby ložové vrstvy vyjádřené v oxidické formě jsou SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, CaSO₄ a další. Obecně se jedná o tvrdý materiál, který má vysokou abrazivní a erozivní schopnost. Ložový materiál je ve fluidním stavu v neustálém pohybu a interakcí s okolím způsobuje erozivní úbytek okolního prostředí. Ve spalovací komoře tedy dochází k erozivnímu úbytku fluidních trysek, vyzdívek kotle a zejména ložových hadů. Na ložových hadech jsou exponovány erozí spodní řady a kolena. Ložové hady napadeny erozí jsou zobrazeny na obr. 2. Z výchozí tloušťky

12.5 mm stěny dojde v některých místech ložových hadů k úbytku na tloušťku k úrovni až 5 mm. Tloušťka stěny je pravidelně kontrolována v případě podkročení přípustné tloušťky je realizována úseková výměna ložových hadů, většinou 1. a 2. exponovaná řada všech 18 svazků. Z pohledu údržby se jedná o relativně složitou a nákladnou akci a tedy případné snížení rychlosti erozního úbytku materiálů je přínosné jak z pohledu ušetřených údržbových nákladů v rámci životnosti kotle, tak z pohledu zvýšení ročního provozního vytížení kotle.

Analýza problematiky eroze ve fluidní vrstvě.

V roce 2015 byl zjištěn relativně rychlý úbytek tloušťky stěny ložového hadu od nasazení do provozu. Původním referenčním měřítkem byl pouhý čas od nasazení nových ložových hadů do doby podkročení přípustné tloušťky. Byly uskutečněny dílčí rozborů pro potvrzení shodné jakosti použitých materiálů v průběhu provozu kotle a následně byla zpětně analyzována zátěž spalovací komory z pohledu průchodu materiálu. V období od nasazení r. 2009 do 2015 došlo k navýšení zátěže tuhými zbytky po spalování z průměrných 8.6 t/h kotel na 12.1t/h což je navýšení o 40%. Toto zjištění odpovídalo trendu zkrácení životnosti resp. zvýšení erozního úbytku ložových hadů a zároveň je i v souladu podle viz [1] s fyzikálním popisem faktorů ovlivňující erozní úbytek W_0 .

$$W_0 = \frac{M \cdot v^n \cdot \cos^2 \alpha}{6\varphi y} \quad (1)$$

kde

- M [kg] je celková hmota dopadlých částic
- v [m.s-1] je dopadová rychlost
- n [1] je empirický (materiálový) exponent, pro kovy 2.05 – 2.43
- α [°] je úhel nárazu
- φ [1] je poměr mezi délkou a hloubkou rýh
- y [N] je horizontální složka síly mezi částicí a erodovaným materiálem

Při fyzické obhlídce erozního opotřebení byla zjištěna významná nerovnoměrnost úbytku ložových hadů na jednotlivých svazcích. Některé svazky nebo části svazků byly s nepatrným úbytkem a naopak jiné svazky měly vysoké úbytky jak plošné tak lokální. Byl vysloven předpoklad, že fluidního pole spalovací komory vykazuje nerovnoměrnosti pravděpodobně v oblasti rychlostí a bylo přistoupeno k matematicko – fyzikálnímu modelování poměrů ve fluidním loži. Byl vytvořen model prostoru spalovací komory se svazky, stěnami spalovací komory, dnem lože se vstupem fluidizačního média a ponořenými injektážními tryskami. Pro výpočtový model prostoru spalovací komory byly nastaveny vstupní a okrajové podmínky. Výpočet byl uvažován jako stacionární.

Simulací prostoru lože spalovací komory bylo zjištěno, že příčina nerovnoměrnosti a vysokých lokálních úbytků materiálů je způsobena provozem ponořených injektážních trysek viz obr. 3. Injektážní trysky zajišťují vysoký hmotový přísun materiálu do lože pomocí pseudopravy. V případě zastavení dodávky materiálu proudí přes trysky trvale dopravní médium, které slouží jako chlazení. Prostřednictvím provozu injektážních trysek dominují v loži dva efekty zvyšující erozi na ložových hadech:

- Výtoková rychlost materiálu a dopravního vzduchu do lože několikanásobně převyšuje rychlost fluidizace a proud urychleného materiálu z injektážních trysek dopadá na exponované teplosměnné plochy, kde zvyšuje erozní úbytek.

- V případě, že je odstavena dodávka materiálu do lože, proudí přes trysky vysokou rychlostí vzduch. Výtoková rychlost vzduchu výrazně převyšuje rychlost fluidizace a proud vytékajícího vzduchu do lože deformuje proudění v loži směrem k teplosměnným plochám. Teplosměnné plochy jsou tak opětovně účinkem výtokové rychlosti proudu vzduchu vystaveny zvýšené expozici erozí.

Závěry zjištění simulace byly následně verifikovány se skutečností. Dosažená shoda reality a simulace se pohybuje na úrovni cca 70% - 80% v daném případě byla považována za dostatečnou pro další postup prací.

Aktivní snížení erozních účinků na ponořené teplosměnné ploše.

Na základě zjištěných příčin bylo přistoupeno k hledání řešení snížení erozních účinků. Pozornost byla zaměřena zejména na aktivní snížení eroze tedy účinné ovlivnění samotných příčin. Přestože podstata minimalizace příčin je zřejmá, reálný způsob provedení se potýká s protichůdnými požadavky na chod technologie. Výsledné řešení tak musí být kompromisním řešením z několika úhlů pohledu. Aktivní opatření musí snížit:

- Plochu zasaženou erozí
- Množství materiálu dopadající na teplosměnnou plochu
- Účinek výtokové rychlosti

Při hledání optimálního řešení bylo simulováno a hodnoceno několik variant v rámci optimalizační úlohy. Přehled řešených a optimalizovaných variant je uveden níže a v tabulce č 1. Mimo vlivu do rychlostních poměrů spalovací komory bylo opatření hodnoceno z pohledu složitosti a citlivosti technického provedení a empirických zkušeností z provozu.

Hodnocené a optimalizované varianty:

- Revize počtu trysek – spočívá v porovnání resp. hmotové bilanci skutečného provozu a provozovaného zařízení.
- Zahnutí a prodloužení injektážních trysek – trysky jsou prodlouženy směrem do středu lože a zahnuty o cca 30° - 40° ve směru příčné cirkulace lože.
- Zahnutí a zkrácení injektážních trysek – trysky jsou zkráceny cca do poloviny délky ložových hadů a zahnuty o cca 30° - 40° ve směru příčné cirkulace lože.
- Prodloužení a zahnutí trysek směrem nahoru – trysky jsou prodlouženy směrem do středu lože a pod úrovní konce ložových hadů zahnuty o cca 30° - 40° ve směru toku spalin.
- Injektážní trysky zůstávají svými rozměry a na výtok je instalován deflektor proudu. Je řešeno několik variant tvaru deflektoru a optimalizována poloha deflektoru. Výtokový proud a materiál naráží do překážky po výtoku z injektážní trysky.
 - Plochý deflektor – řešena i optimální vzdálenost od výtoku.
 - Prstencový deflektor
 - Kuželový deflektor

Výsledná použitá varianta byla zvolena revize počtu trysek a zbylých 8 injektážních trysek bylo osazeno plochým deflektorem. Vyrobená sestava 8 deflektorů byla nasazena do testovacího provozu jednoho kotle.

Provozní nasazení

Ploché deflektory jsou trvale nasazeny od 10/2015 a jejich provozní expozice se pohybuje v oblasti cca 9800 provozních hodin. Úbytek ložových hadů (LH) je hodnocen v závislosti na tuhých zbytcích po spalování (TZS), které prošly fluidním ložem. Původní provoz bez deflektorů vykazoval:

- Průměrný měrný úbytek **78 kt_{TZS}/1mm_{LH}**
- cca 56% exponovaných kolen vykazuje úbytek materiálu vyšší než 40% původní tloušťky (průchod 390kt_{TZS})

Provoz s plochými deflektory vykazuje:

- Průměrný měrný úbytek **218 kt_{TZS}/1mm_{LH}**
- Cca 49% kolen je označeno jako kolena se zvýšenou erozí s tím, že erozní opotřebení probíhá ve zpomaleném trendu, tzn. úbytek o cca 64% nižší oproti stavu bez deflektorů (průchod 98 kt_{TZS})
- Existují lokální místa (cca 1- 3 místa v loži), kde dochází k opotřebení původním trendem.

Přestože byl kladen důraz na jednoduché řešení, dochází při provozu s deflektory k jejich vlastní poruše. Tento stav byl primárně způsoben časovým omezením a kompromisní volbou materiálu pro testovací provoz. Poruchy nejsou způsobeny konstrukčním řešením ale spíše výběrem materiálu deflektorů a stavem nosných injektážních trysek. Materiál deflektorů (17 255) pracuje ve fluidním loži při teplotě 790 – 850 a jeho mechanické vlastnosti jsou již pro tento provoz nedostatečné.

Závěr

V teplárně United Energy a.s. byl uskutečněn vývoj a provozní nasazení opatření, které aktivně snižuje erozivní účinky fluidního lože na ponořené teplosměnné ploše. Vývoj řešení byl směřován do identifikace příčin a následného návrhu optimálního řešení. Jako optimální řešení byl zvolen plochý deflektor před ústím trysky, který vytváří umělou překážku proudu injektovaného materiálu a pseudopravního vzduchu do lože. Instalací deflektoru dojde ke sražení injektovaného materiálu do prostoru lože a ke snížení rychlosti v proudu dopravního vzduchu. Řešení a rozměry jsou navrženy optimálně tak, aby byla zachována funkčnost injektážních trysek a zároveň byla snížena erozní zátěž ponořené teplosměnné plochy. Řešení je provozně nasazeno v režimu testování na jednom kotli. Během 2 letého provozu kotle s instalovaným opatřením bylo dosaženo poklesu erozního úbytku o cca 64%. Trvalé „průmyslové“ řešení se předpokládá s využitím materiálu s vyšší teplotní odolností.

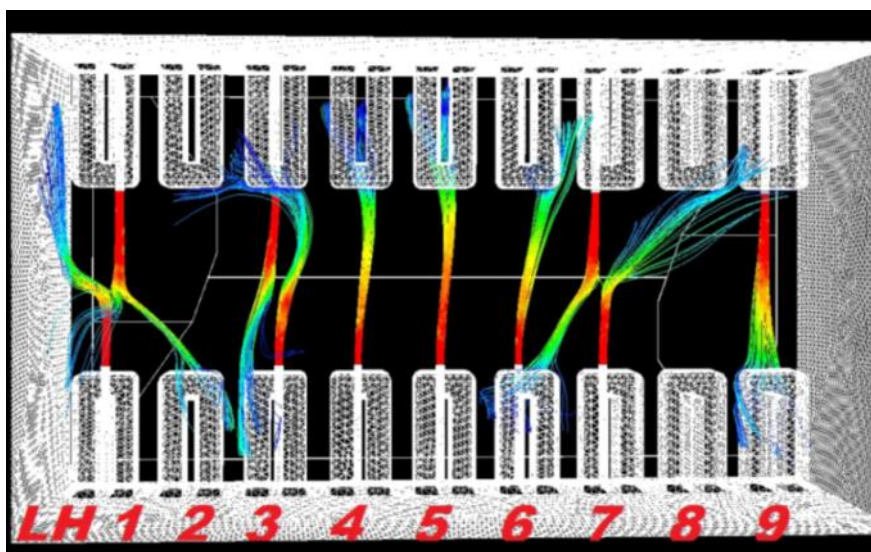
Tabulky a obrázky



Obr.1 Pohled do spalovací komory odstaveného kotle



Obr. 2 Erozní opotřebení ložových hadů.



Obr. 3 Simulace prostoru lože se zvýrazněním proudnic injektážních trysek.

Tab.1 Přehled variant a jejich nasazení

Varianta	Ovlivnění rychlostních poměrů	Technická proveditelnost a citlivost	Použití – výsledek
Revize počtu nutných trysek	Příznivé – zánik výtokového proudu	Jednoduché	2 z 10 injektážních trysek zrušeny.
Zahnutí a prodloužení trysek	Změna – snížen počet kontaktních míst ale zároveň je přesun do jiných míst s vyšší intenzitou	Jednoduché	Nepoužito
Zahnutí a zkrácení trysek	Změna – snížen rozsah eroze na protilehlých plochách a zvýšena eroze na přiléhajících (blízkých).	Jednoduché	Nepoužito
Prodloužení a zahnutí trysek směrem nahoru	Příznivé – minimalizace ploch	Jednoduché	Nepoužito – výrazné zkrácení doby zdržení materiálu v loži
Plochý deflektor	Příznivé – snížení zasažených ploch a dopadové rychlosti	Jednoduché	Použito
Prstencový deflektor	Příznivé – snížení zasažených ploch a dopadové rychlosti	Jednoduché, ale citlivé na optimální nastavení	Nepoužito
Kuželový deflektor	Příznivé – snížení zasažených ploch a dopadové rychlosti	Jednoduché ale citlivé na optimální nastavení	Nepoužito

Literatura

- [1] Andreovský, J., Mareš, P. (2016): *Provozní zkušenosti s opatřeními proti abrazi a erozi instalovaných na technologii v United Energy a.s.*, Sborník z 11. Konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách. Místo vydání: Západočeská univerzita v Plzni – Vydavatelství
- [2] Andreovský, J., Mareš, P. Rajlich, D. (2016): *Zařízení pro snižování erozivních účinků fluidní vrstvy na ponořené teplosměnné ploše stacionárního fluidního kotle*, Užité vzor 29626. Místo vydání: Praha