



---

## Trysky pro distributor vzduchu fluidního kotle v úpravě pro spalování biomasy

Jan HRDLIČKA<sup>1, \*</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav energetiky, Technická 4, 166 07 Praha 6

\* **Email:** jan.hrdlicka@fs.cvut.cz

---

*Příspěvek se zabývá problematikou teploty vrstvy v kotli se stacionární fluidní vrstvou při úpravě na (spolu-)spalování biomasy. Řešena je možnost snížení tepelného zatížení vrstvy změnou tlakové ztráty distributoru fluidačního vzduchu a následně možnosti zvětšení výšky fluidní vrstvy bez nutnosti zásahu do primárního vzduchového ventilátoru.*

**Klíčová slova:** fluidní kotel, biomasa, distributor, trysky, tlaková ztráta, tepelné zatížení

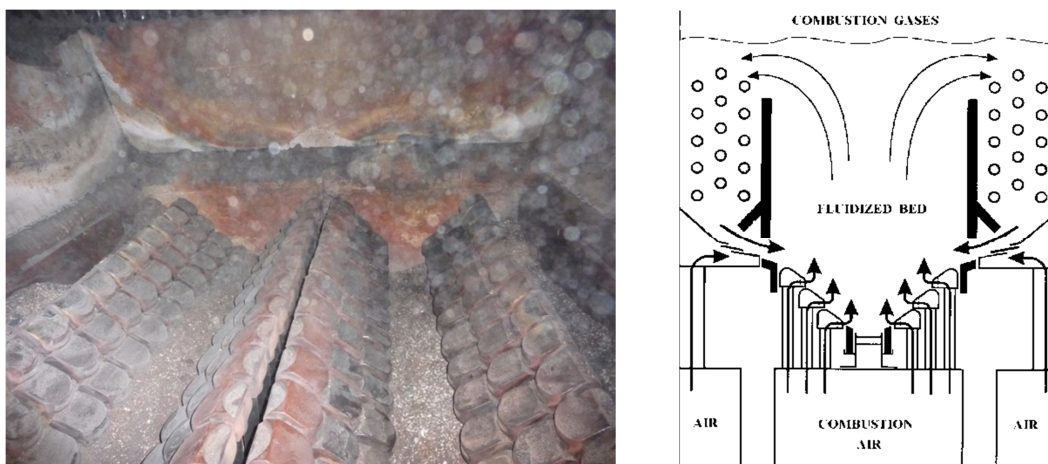
---

### 1 Úvod

Spalování biomasy v kotlích s fluidní vrstvou je stále aktuálním tématem, zejména v souvislosti s neustále rostoucím tlakem na využívání obnovitelných zdrojů energie. V ČR je obecně potenciál OZE relativně omezený a biomasa je prakticky jediným obnovitelným zdrojem, který má stále relativně velký potenciál k vyššímu využití, zejména v oblasti zbytkové a odpadní biomasy. V roce 2013 byla ukončena podpora spoluspalování biomasy ve velkých kotlích, čímž se zvětšil volný potenciál biomasy, který je nyní předmětem zájmu především menších teplárenských a výtopených provozů. Ty čelí postupnému snižování emisních limitů, kdy kritickým rokem je především rok 2018, kdy se změna emisních limitů dotkne zdrojů v kategorii 5-50 MW tepelného příkonu [1]. Řada provozů tak bude nucena kotle rekonstruovat či stavět nové. Fluidní technologii, zejména fluidní kotle se stacionární fluidní vrstvou pro nižší výkony, tak vzhledem k efektivním možnostem řízení emisí pravděpodobně čeká významnější rozvoj.

### 2 Stávající stav fluidního kotle

Tématem tohoto příspěvku je konkrétní technické řešení úpravy trysek distributoru vzduchu uhelného fluidního kotle se stacionární vrstvou, kde bude v budoucnu docházet ke spoluspalování, případně i k samostatnému spalování biomasy. Jedná se o parní bubnový kotel o výkonu 12 t/h při 330°C a 22,5 bar (asi 7,8 MW), u kterého je použit dvojitý žlabový distributor vzduchu, jehož fotografie a schéma [2] jsou na následujícím obrázku 1.



Obr. 1 Distributor vzduchu fluidního kotle

Jedná se o modifikovaný dvojitý žlabový distributor s tryskami, které jsou vybaveny regulačními kuželkami. Modifikace v tomto případě znamenala vypuštění vnitřní cirkulace a vnořených teplosměnných plochy (viz schéma vpravo na obr. 1), což znamenalo radikální snížení možného tepelného zatížení fluidní vrstvy. V rámci identifikace provozního stavu kotle při spalování uhlí bylo při nominálním tepelném výkonu provedeno měření profilu teploty fluidní vrstvy po její výšce, které jinak není v rámci provozního měření k dispozici. Zjištěné teploty byly v rozsahu 1060 – 1074°C, což je pro fluidní kotel extrémně vysoká teplota. Při výšce fluidní vrstvy (inertním materiálem byl vlastní uhelný popel) cca 40 cm bylo tepelné zatížení vrstvy přibližně 4,5 MW/m<sup>3</sup>, což tyto teploty vysvětluje. Při spalování biomasy však není možné fluidní kotel provozovat při těchto teplotách, neboť by mohlo dojít k aglomeraci popelovin biomasy a tím k nucenému odstavení kotle z provozu.

### 3 Úpravy trysek distributoru

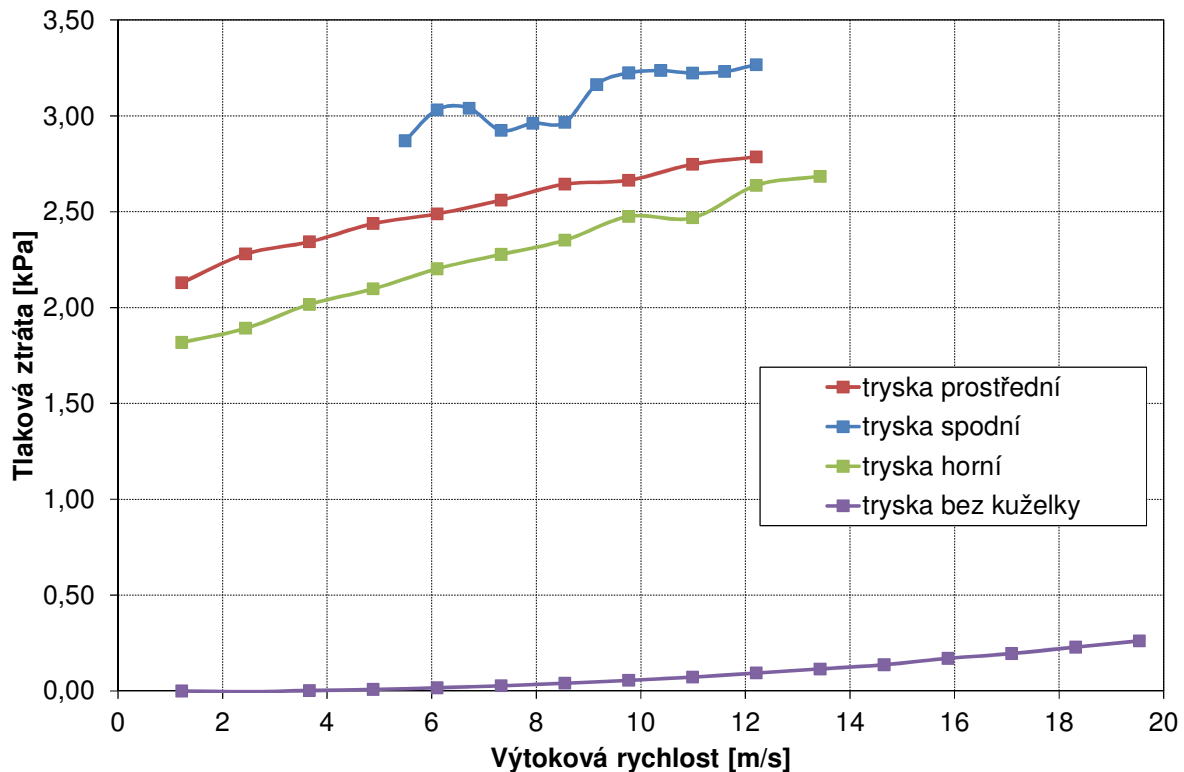
Zdánlivě jednoduchými kroky snížení tepelného zatížení vrstvy a tím i její teploty při maximálním výkonu bez konstrukčního zásahu do kotle je buď zvýšení přebytku spalovacího vzduchu anebo zvýšení její výšky. Obě tyto možnosti jsou však značně limitovány.

Zvýšení přebytku spalovacího vzduchu s sebou přináší negativní efekt zvýšení komínové ztráty a tím pokles účinnosti kotle. Druhým efektem tohoto zásahu je zvýšení fluidační rychlosti. Na kotli bylo provedeno měření průtoku primárního (fluidačního) vzduchu, které ukázalo, že v případě nominálního výkonu je fluidační rychlost na přibližně 6-ti násobku mezní rychlosti fluidace. Její další zvyšování by znamenalo větší úlet lehčích částic a tím zvýšení mechanického nedopalu i otěru teplosměnných ploch. Dalším efektem tohoto zásahu je rychlejší abraze trysek distributoru. Současná výtoková rychlost v ústí trysek je přibližně 25 m/s a její další zvýšení bude dále zkracovat životnost trysek, která je již nyní pouze cca 2 roky.

Zvýšení výšky vrstvy je velice efektivním způsobem ovlivnění tepelného zatížení, resp. tepelného výkonu fluidní vrstvy. Někdy se řízení výšky vrstvy používá přímo k řízení tepelného výkonu kotle. Větší výška vrstvy však znamená vyšší tlakovou ztrátu. U uhelné vrstvy přibližně platí, že každých 10 cm vrstvy zvyšuje její tlakovou ztrátu o přibližně 1 kPa. Měření na kotli ukázalo, že další zvyšování výšky není možné, protože potřebné pokrytí vyšší tlakové ztráty je mimo provozní možnosti primárního vzduchového ventilátoru. Pozornost tedy byla upřena na vlastní distributor, který k celkové tlakové ztrátě samozřejmě také



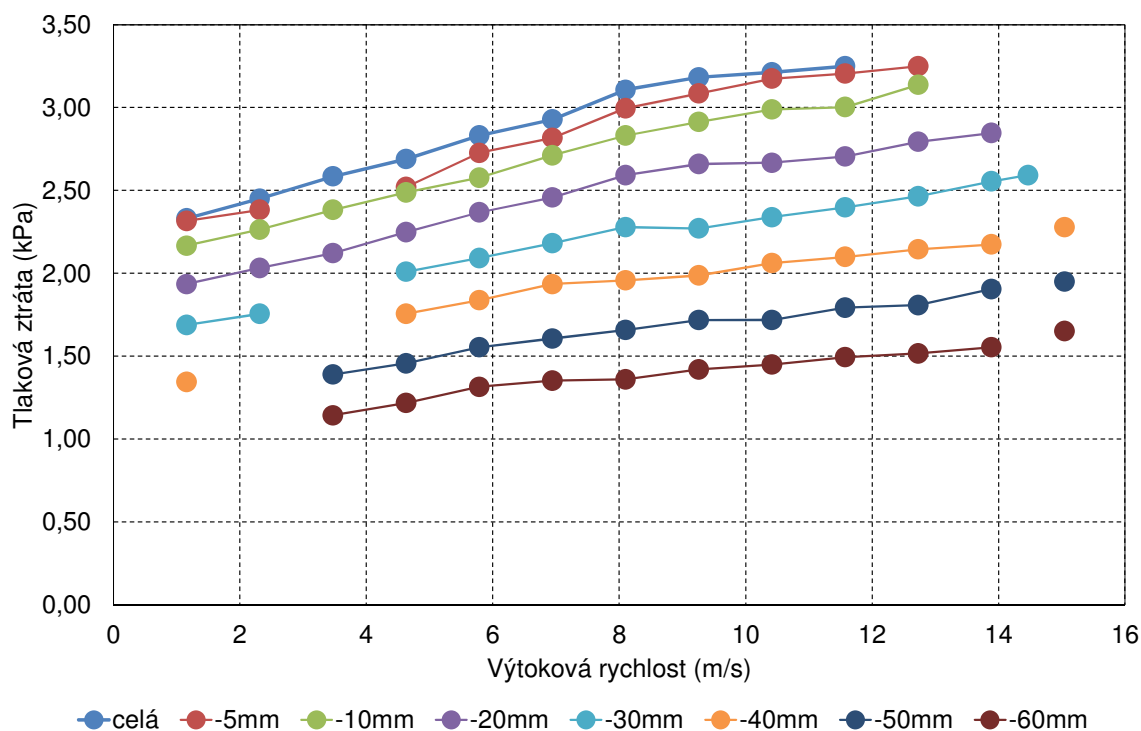
významně přispívá. Byly vyřezány a v laboratoři proměřeny trysky z každé řady distributoru, přičemž byla sledována závislost jejich tlakové ztráty na průtoku, resp. výtokové rychlosti vzduchu. Tryska se sestává z vlastní hlavice a z přívodní trubky. V přechodu mezi hlavicí trysky a přívodní trubkou je umístěna regulační kuželka, pomocí které lze nastavit požadovanou tlakovou ztrátu trysky. Naměřené závislosti jsou uvedeny v grafu na obrázku 2.



Obr. 2 Výsledky měření závislosti tlakové ztráty trysek kotle na výtokové rychlosti vzduchu

Rozsah měření v laboratoři neumožňoval měření při výtokové rychlosti 25 m/s, nicméně při extrapolaci naměřených hodnot lze dojít k výsledku tlakové ztráty celého distributoru na 3,3 kPa a celé vrstvy 7,1 kPa, což je přesně horní hranice možností vzduchového ventilátoru. Graf dále ukazuje, že pořadí umístění trysek ve stávajícím distributoru je nesprávné. Aby distributor správně fungoval, je potřeba, aby tryska v nejnižší řadě měla nejnižší tlakovou ztrátu. Vyšší řada trysek musí mít tlakovou ztrátu oproti předchozí níže položené řadě vyšší přesně o tlakovou ztrátu odpovídající výšce vrstvy mezi nimi, aby byla zajištěna rovnoměrná fluidace.

Hlavním úkolem bylo tedy snížit tlakovou ztrátu distributoru a stanovit správné délky regulačních kuželek uvnitř trysek pro jednotlivé řady distributoru. Byla připravena rozebíratelná tryska umožňující výměnu regulační kuželky (ta je jinak uvnitř uzavřena a nelze ji bez destrukce trysky vyjmout), která byla vestavěna do měřicí tratě sestávající se z ventilátoru s kontinuálně měnitelnými otáčkami, rotometru a tlakového diferenčního snímače. Výchozí délka kuželky 105 mm byla postupně zkracována o 10 mm, přičemž byla opět zjišťována závislost tlakové ztráty trysky na průtoku vzduchu, resp. výtokové rychlosti. Výsledek experimentu je na obrázku 3.



Obr. 3 Měření trysky se zkracovanou regulační kuželkou

Zajímavostí měření byly nestacionární stavy, kdy docházelo k vibracím kuželky a nebylo možné změřit stabilní průtok. Tyto stavy jsou v grafu označeny přerušovanými spojovacími čarami. V následující tabulce 1 pak jsou vypočteny kumulované úbytky tlakové ztráty v závislosti na zkrácení regulační kuželky.

Tab.1. Kumulovaná změna tlakové ztráty trysky v závislosti na zkrácení regulační kuželky

| úbytek délky (mm)                    | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| kumulovaný úbytek tlak. ztráty (kPa) | 0,07 | 0,25 | 0,51 | 0,83 | 1,11 | 1,41 | 1,69 |

Ve výsledku tedy dává zkracování regulační kuželky trysky variabilitu ve změně tlakové ztráty až do přibližně 1,70 kPa a umožňuje tak zvýšení fluidní vrstvy téměř o 20 cm.

#### 4 Závěr

Analýza stávajícího stavu distributoru fluidního kotle ukázala, že pro přechod na spalování biomasy je problémem především příliš vysoká dosahovaná teplota fluidní vrstvy, která může být problematická z hlediska aglomerace popelovin biomasy, zejména zemědělské, i případně externího materiálu fluidní vrstvy. Jednoduché možnosti jejího snížení bez konstrukčního zásahu do kotle, a to zvýšení přebytku spalovacího vzduchu nebo zvýšení výšky vrstvy, nejsou možné mimo jiné z důvodu nedostatečně dimenzovaného vzduchového ventilátoru. Laboratorní experiment s demontovanými tryskami dále ukázal, že délky regulačních kuželek



jsou nesprávně nastavené vzhledem k pozici v jednotlivých řadách a neumožňují tak rovnoměrnou fluidaci. Celková zjištěná tlaková ztráta distributoru byla 3,3 kPa. Jako řešení byl navržen experiment, při kterém byla zjištěna závislost tlakové ztráty trysky na délce regulační kuželky, a podle jeho výsledků byly navrženy nové délky kuželek. Celková úspora tlakové ztráty distributoru po výměně všech trysek za nově navržené činí asi 1,7 kPa, což umožňuje zvýšení výšky fluidní vrstvy o přibližně 20 cm. Toto zvýšení znamená možnost snížit tepelné zatížení vrstvy asi o 2 MW/m<sup>3</sup> a tím významně i teplotu fluidní vrstvy na běžné hodnoty 800 – 900°C.

## Poděkování

Autor děkuje Ing. Matějovi Obšilovi z firmy Uchytíl, s.r.o. za umožnění zveřejnit částečné výsledky spolupráce mezi firmou Uchytíl, s.r.o. a Ústavem energetiky FS ČVUT v Praze.

## Použitá literatura

- [1] Vyhláška 415/2012 Sb. *Sbírka zákonů České republiky*.
- [2] Hrdlička, F. a Dlouhý, T. *Co-firing of coal and biomass with high water content*. Praha : 2002. 45th IEA Fluidized Bed Conversion.