

Oponentský posudek

Disertační práce ing. Jiřího Štefanici

Název práce: "Predikční modely NO_x pro fluidní kotle"

Oponent: Doc. Ing. Karel Svoboda, CSc., Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Praha 6

Úvod a obecné poznámky

Disertační práce ing. J. Štefanici vypracovaná na Ústavu energetiky FS ČVUT Praha je druhou opravenou verzí disertační práce a je zaměřena na problematiku modelování NO_x emisí ze spalování různých paliv ve fluidních kotlech. Práce obsahuje 105 stran textu a dvě přílohy shrnující vybrané výsledky. V práci je zmíněno 72 literárních odkazů. Menší část odkazů, jen asi 24 referencí, je z novější doby, publikovaných po roce 2005.

Předložená disertační práce je mírně užitečná, ale stále to není dostatečně adekvátní studie predikčních modelů pro emise NO_x ze zařízení s fluidní vrstvou (fluidními kotle). Také výsledky měření emisí NO_x na menším pilotním zařízení s fluidní vrstvou při spalování uhlí a dřevní biomasy byly korelovány pouze částečně úspěšně s důležitými provozními podmínkami, přičemž některým důležitým experimentálním datům (jako např. uhlíkový nedopal v cyklonovém popílku, vertikální profil teplot) nebyla věnována pozornost.

Uváděná literatura, i když byla doplněna, vykazuje stále jistý nedostatek informací např. o vertikálním teplotním profilu v zařízení s fluidním spalováním pro paliva s různým obsahem prchavé hořlaviny a neobsahuje dostatečnou informaci o vlivu místa dávkování paliva na vertikální teplotní profil a na důležité emise (CO, NO_x, N₂O). Stále chybí zmínka (literární reference, nebo vlastní rozbor) o termodynamice a rovnovážných koncentracích NO, NO₂ a NO_x ve spalinách ve vztahu k důležitým provozním parametrům (teplota, koncentrace kyslíku, koncentrace redukcujících plynů). Také není věnována žádná pozornost teplotě hořících částic ve fluidní vrstvě a ve freeboardu (oblasti nad hustší fluidní vrstvou), která je obecně vyšší než naměřená teplota fluidní vrstvy a závisí např. na koncentraci kyslíku, sdílení tepla ve fluidní vrstvě (nebo ve spalinách), reaktivitě paliva, atd.

Chybí relevantní literatura, úvahy a vlastní naměřená data o vertikálním teplotním profilu v zařízení s bublající fluidní vrstvou a stupňovitým přívodem spalovacího vzduchu při spalování paliv s různým obsahem prchavé hořlaviny a o vlivu stupňovitého přívodu vzduchu na obsah nedopalu v popílku.

Teoretický i praktický přínos předložené práce je v důsledku výše uvedených faktorů spíše menší, průměrný až podprůměrný.

Dosažení stanovených cílů disertační práce:

- Detailní analýza modelů popisujících tvorbu NO_x ve fluidních kotlech, včetně dimenzionální analýzy,
- Příspěvek k návrhu a stavbě experimentální aparatury, na které by se daly získat užitečná data k závislosti emisí NO_x na provozních parametrech,
- Výběr vhodného predikčního modelu pro emise NO_x z fluidního spalování

Cíle stanovené v disertační práci byly splněny spíše částečně.

V rámci empirických modelů a dimenzionální analýzy, ani jedna z uvedených korelací pro předpověď NO_x emisí nebyla původně vyvinuta pro podmínky fluidního spalování. Pohlova empirická korelace pro předpověď emisí NO_x byla vyvinuta pro podmínky práškového spalování uhlí. Její využitelnost u fluidního spalování vyžaduje určitě přepracování a změny parametrů. Geometrické parametry zařízení s fluidní vrstvou nejsou vzaty v úvahu v těchto rovnicích. Adekvátní návrh pilotního zařízení s bublající fluidní vrstvou by měl uvažovat spíše nezávislý zdroj sekundárního vzduchu nebo aspoň možnost přidání dusíku k primárnímu vzduchu k zachování

rychlosti plynů v hustší fluidní vrstvě během proměnného rozdělení spalovacích vzduchů. Jedna charakteristická teplota, hlavně pro případ spalování bio-paliv s dávkováním paliva na vrstvu shora nabízí spíše nedostatečnou informaci o teplotě (teplotním profilu) a jejím vlivu na emise NO_x. Vertikální profily teplot ve fluidním kotli (aspoň 3 charakteristické teploty po výšce) měly být zohledněny. Dobrý návrh pilotního zařízení by měl také uvažovat dvě různé vertikální pozice přívodu sekundárního vzduchu.

Formální aspekty disertační práce jsou na průměrné, až podprůměrné úrovni. Prezentace Ph.D. práce v angličtině je sice velmi cenná, ale kvalita anglického textu mohla být lepší (zvláště když je to druhá verze Ph.D. práce). Na několika místech je chybně uvedeno lime stone místo limestone. Některé referenční odkazy chybí: např. na str. 32 dole chybí odkaz na mechanismus redukce NO navržený v práci de Soeteho, na str. 48 chybí odkaz na korelaci od Fenimore a na str. 50 chybí odkaz na Makinovu metodu. V referencích chybí např. relevantní článek: Sher F. et al.: Experimental investigation of woody and non-woody biomass combustion in a bubbling fluidized bed combustor focusing on gaseous emissions and temperature profiles. Energy 141, 2069-2080 (2017).

V literární části je pozornost věnována stávajícím předpisům pro NO_x emise. Tyto ovšem budou již brzy zpřísněny (nové připravované emisní normy) – což mohlo být také uvedeno.

V Apendixu 2, str. 115 jsou na obrázcích špatně uvedeny průtoky vzduchu. Hodnoty R^2 pod 0.2 znamenají náhodný proces s prakticky žádnou využitelnou korelací emisí NO_x na sledovaných parametrech.

Některé další nepřesnosti, vynechání nebo chyby v textu

Str.17, 5. řádek: má být správně . . . compared to coal particles for grate combustion . . .

Str. 41, popis SNCR: mohlo být zmíněno, že v případě použití močoviny pro SNCR dochází ke vzniku také N₂O, kromě dusíku.

Str. 72: u charakteristiky uhlí měl být uveden také obsah prchavé hořlaviny.

Str. 76: v rovnici 107 mají být rozdíly ($x_{stř} - x_i$) umocněny na druhou.

Otázky k Ph.D. práci:

- 1) Na čem závisí poměr NO₂/NO a N₂O/NO ve spalinách? Jakým jednoduchým opatřením se dají snížit emise N₂O ze spalovacích procesů ?
- 2) Zjišťoval jste, aspoň orientačně, uhlíkový nedopal v částicích popílku zachycených v cyklonu při spalování uhlí a dřeva ?
- 3) Máte představu čím (jakými faktory) mohla být způsobena nestabilita emisí NO_x a CO u některých experimentů ?
- 4) Jaké máte vysvětlení pro klesající emise NO_x s rostoucí charakteristickou teplotou ve fluidní vrstvě (např. obr. 35 a 36)
- 5) Který empirický model (s jak upravenými nebo stanovenými parametry) byste doporučil pro předpověď emisí NO_x ze spalování ve fluidní vrstvě a proč ?

Závěr: doktorská disertační práce ing. Jiřího Štefanicy (i když je to již druhá, upravená a doplněná verze) je stále spíše na mírně podprůměrné než průměrné odborné úrovni. Pravděpodobně však vyhovuje požadavkům Ministerstva školství ČR na Ph.D. disertace a tedy je asi vhodná k obhajobě.

V Praze 3. 5. 2020

Doc. Ing. Karel Svoboda, CSc.,

Ústav Chemických Procesů AV ČR, v.v.i., Praha 6