



Posudek disertační práce Ing. Martina Adamčíka

„Limit Modes of Particulate Materials Classifiers“

Předložená disertační práce se zabývá procesem klasifikace jemných částic pomocí větrného třídiče s rotorem. Práce zahrnuje experimentální studii vlivu procesních parametrů na efektivitu třídění, experimentální analýzu tokového pole pomocí PIV a výpočetní analýzu tokového pole a trajektorií částic v třídíči pomocí CFD. Z práce je zřejmé, že autor se procesu dlouhodobě detailně věnoval a získal množství experimentálních i výpočetních dat. K práci mám následující dotazy a komentáře:

1. V kap. 2 jsou na obr. 2-5 poměrně hezky znázorněny principy činnosti gravitačních a odstředivých třídičů. Bohužel totéž nelze říci o obr. 6 a 7 v kap. 3, z nichž princip činnosti třídiče s rotorem příliš zřejmý není. Vzhledem k tomu, že celá práce pojednává právě o třídíči s rotorem a kapitola 3 je prvním místem v disertaci, kde je tento typ třídiče samostatně popsán, považoval bych za důležité věnovat náležitou péči jasnému schematickému znázornění a vysvětlení principu činnosti tohoto aparátu minimálně na stejné úrovni, jak to bylo provedeno v kapitole 2 pro gravitační a odstředivé třídiče.
2. V úvodní pasáži kap. 3 se o třídičích první a druhé generace praví, že jsou „centrifugal“ resp. „cyclone“, a následně je uvedeno, že v porovnání s nimi („Compared to its predecessors...“) je třídič třetí generace založen na vyvolání odstředivé síly („...which can exert a radial forced centrifugal field...“). Odstředivá síla ale působí i v odstředivce a v cyklonu. Co přesně měl autor na mysli?
3. Rovnice a symboly v této disertační práci místy působí trochu neučesaně. Například v rovnicích 4.2-4.5 a následně v rovnicích 9.26-9.30, které se týkají bilanci hybnosti, je pro tutéž veličinu používáno několik verzí symbolů: odstředivá i odporová síla jsou chvíli skalární a jinde zase vektorové veličiny, relativní rychlost je jednou v_a a podruhé v_{rel} , rychlost jako taková je buď $\dot{v}$ nebo $\dot{u}$, součinitel odporu je jednou c_d , podruhé C_d a potřetí C_D , velikost částice je jednou vyjádřena poloměrem a jindy průměrem, který je značen buď D_p nebo d_p , atd. V rovnici 4.5 je hmotnost částice v některých členech ponechána jako m_p a jinde rozepsána jako $\frac{\pi D_p^3}{6} \rho_p$, v rovnici 9.26 je pak odporová síla vztažena na hmotnost částice (jedná se tedy o zrychlení), ale v následných rovnicích 9.27 a 9.30 se o ní mluví pouze jako o síle a je pro ní používán standardní symbol F_D . V části týkající se CFD jsou složky vektoru rychlosti a prostorové souřadnice chvíli značeny systémem (u,v,w) resp. (x,y,z) a chvíli zase systémem u_j resp. x_j , libovolně se mísí skalární, vektorové a tenzorové veličiny a jejich složky, je nesprávně aplikován symbol pro skalární součin, atd. Pokud by toto vše bylo pouze nepozorností autora, šlo by to možná ještě částečně omluvit. Místy jsem se ale nemohl ubránit otázce, zda tento způsob nakládání se symboly není důsledkem hlubšího nepochopení významu jednotlivých rovnic a členů v nich. Prosím tedy autora, zda by v rámci obhajoby pro jistotu mohl například vysvětlit, jak z rovnice 9.5 vznikne po časovém zprůměrnění rovnice 9.11, nebo detailně objasnit význam rovnice 9.15 a jednotlivých členů v ní.

4. V části popisující použité experimentální zařízení (kap. 7, obr. 45) mi příliš nesedí rozměry rotoru. Jsou všechny kóty skutečně v mm, jak je uvedeno v legendě k obrázku? Dále v popisu zařízení chybí některé kóty – například geometrie části E, která je jistě z hlediska separace částic též relevantní.
5. Ve specifikaci provozních parametrů třídače (kap. 7, tab. 16) jistě dává smysl uvádět otáčky klasifikačního rotoru, ale v případě vstupního vzduchu bych za logičtější volbu považoval objemový průtok (případně rychlost) a u vstupního materiálu jeho hmotnostní tok. Frekvence motoru nedává ani u jednoho z těchto parametrů žádnou představu o tom, jaké jsou ve skutečnosti materiálové toky třídačem. Mohl prosím autor prezentovat převodovou tabulku, která by uožnila přepočet hodnot z tab. 16 na reálné parametry třídače?
6. Mohl by prosím autor specifikovat, s jakou přesností měřil velikost částic a s jakou opakovatelností získal zastoupení částic v jednotlivých velikostních třídách? Počínaje tabulkou 23 (kap. 8) se zdá, že velikost částic byla měřena s přesností na 1 nm a zastoupení ve velikostních třídách bylo opakovatelné na úrovni 0.01 %. Je tomu skutečně tak?
7. Jen pro úplnost, buď v kapitole 7.9 nebo u jednotlivých tabulek ve výsledkové části by bylo žádoucí uvést, zda se jedná o distribuci početní, objemovou, případně jinou. Předpokládám objemovou, ale na příslušných místech práce to není uvedeno.
8. Nekonzistentní terminologie se bohužel netýká pouze rovnic (viz. bod 3), ale také veličin, na nichž je postaveno vyhodnocení účinnosti třídače. V kapitole 4.1.1 je sice nadefinována selektivita ΔS , ale ve výsledkové části již o ní není zmínka; naopak se objevuje pojem by-pass. Totéž platí pro hojně používaný pojem Trompova křivka, který pod tímto jménem není nikde v práci řádně nadefinován.
9. V kapitole 4.1 jsou definována kritéria účinnosti třídače a ta jsou pak vyhodnocena ve výsledkové části (kap. 8.4). Postrádám však kritickou diskusi toho, zda jsou získané hodnoty v souladu s trendy uváděnými v literatuře a s teoretickým očekáváním (kap. 4). Odpovídá např. hodnota d_{50} očekávání na základě obvodové rychlosti rotoru a průtoku vzduchu třídačem (rov. 4.4)? Pokud se odchyluje od teoretického očekávání, jakým je to směrem a čemu to lze připsat?
10. Někeré grafy ve výsledkové části (např. hodnoty d_{50} v obr. 123 a 124, nebo hodnota obtoku v obr. 126-b) jsou naškálvány tak, že působí dojmem velkých rozdílů. V grafech však nejsou uvedeny chybové úsečky. Pro představu, jaký je zhruba rozptyl dat při opakované realizaci experimentu s tímž nastavením vstupních parametěrů? Jakým způsobem autor validoval svou experimentální metodologii a jakým způsobem stanovil, na jaké hladině významnosti je korektní prezentovat výsledná data?
11. Mohl by prosím autor popsat, jak přesně konstruoval Trompovu křivku? Trompovy křivky prezentované v disertační práci zjevně používají jinou diskretizaci velikostních tříd než výchozí granulometrická data. Podle jakých vzorců byl prováděn přepočet a na základě jakých kritérií byla zvolena diskretizace do velikostních tříd? V úvodní teoretické části se o ničem takovém nepojednává.
12. Mohl by prosím autor dále popsat, jak přesně postupoval při konstrukci redukované Trompovy křivky, z níž následně vyhodnocoval hodnotu d_{50} ? Jakým způsobem prováděl extrapolaci na nulu a jakou závislost prokládal regresi sigmoidní křivky? A nebo pouze odřízl frakci pod $1\ \mu\text{m}$?
13. Trompova křivka obsahuje v rozsahu $1\text{--}10\ \mu\text{m}$ 4 velikostní třídy, další nejbližší velikostní třída je pak $20\ \mu\text{m}$. Na kolik platných číslic má smysl uvádět hodnoty v tabulce 29?
14. V názvu disertační práce a souhrnné výsledkové sekci 8.4 se hovoří o „limitních režimech“, ale popravdě z grafů na obr. 122–128 se nezdá, že by se třídač ve studovaném rozsahu parametrů dostal na jakýkoli limit. Většina křivek monotónně klesá nebo roste. Jedním z limitních režimů by byl např. režim s nulovými otáčkami klasifikačního rotoru, kdy se by se měl třídač chovat jako cyklon.

Dalším zajímavým limitním případem by byla jakási obdoba totálního refluxu v rektifikační koloně, tj. režim s velmi nízkým celkovým průtokem částic třídíčem ale vysokou zádrží uvnitř. Mohl by autor zaspekulovat, jak by vypadaly Trompovy křivky v těchto případech?

15. Mohl by autor detailně zdůvodnit, na základě čeho zvolil hodnoty normálových restitučních koeficientů 0,2, 0,9 a 0,5 pro jednotlivé části třídíče, jak je uvedeno v kap. 9.10.3, 9.10.4, resp. 9.10.6? Je pro BaSO_4 hodnota normálového restitučního koeficientu řízena spíše materiálovými vlastnostmi částic, nebo povrchu, na který naráží? Je tato volba restitučních koeficientů podložena nějakou teorií nebo experimentem a pohybují se elastické vlastnosti jednotlivých částí třídíče v poměru 0,2-0,9-0,5?
16. Jakým způsobem byla provedena validace CFD části práce? Co bylo referenčním řešením a jaká byla akceptační kritéria?
17. Obecně lze u tohoto typu práce doporučit, aby hodnoty všech fyzikálních i numerických parametrů použitých v simulacích byly shrnuty v jedné přehledné tabulce spolu s citací literárního zdroje, z něhož pocházejí, nebo s odkazem na příslušnou kapitolu disertační práce, kde je popsáno, jak byly stanoveny.
18. Přímé porovnání změřených a vypočtených rychlostních profilů (obr. 160) dopadá poměrně příznivě, nicméně zejména při vyšších otáčkách rotoru a pro záporné rychlosti lze pozorovat jisté odchylky. Mohl by prosím autor diskutovat, čím by mohly být způsobeny?
19. V samotném závěru práce (kap. 12) je uvedeno, že turbulentní struktury mezi lopatkami rotoru mají negativní dopad na klasifikaci částic v třídíči, a že tyto poznatky dávají základ k případnému redesignu třídíčů. Nevyplývá však toto alespoň částečně již z literární rešerše (kap. 4.2.2., obr. 21 a 23)?
20. Zatímco rotor s poměrně dobrou účinností zajišťuje to, aby do jemné frakce nepronikaly hrubé částice, neméně zajímavým parametrem je též podíl jemných částic, které pronikají do frakce hrubé. V některých aplikacích je odstranění prachového podílu z částic dokonce hlavním požadavkem. Z porovnání granulometrie vstupního materiálu (obr. 58) s vlastnostmi hrubé frakce (tab. 28 a obr. 125) vyplývá, že prachový podíl v hrubé frakci zůstal relativně vysoký a navíc se nezdá být příliš závislý na studovaných parametrech procesu – tedy alespoň z úhlu pohledu, který nabízí obr. 125. Mohl by autor diskutovat, která část třídíče rozhoduje o účinnosti odstranění jemných částic z hrubé frakce, a jakým způsobem by bylo možno tuto účinnost vylepšit?

Seznam mých dotazů a komentářů je sice dlouhý, ale to je částečně dáno tím, že studovaná problematika je komplexní a práce obsahuje velké množství výsledků získaných za použití netriviálních experimentálních a výpočetních postupů.

Celkově bez nejmenších pochybností doporučuji práci k obhajobě a oceňuji zejména skutečnost, že autor dokázal kombinovat praktickou inženýrskou a projektovou práci s prací vědeckou.

V Praze, 25. listopadu 2017



prof. Ing. František Štěpánek, PhD