

Prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.  
VŠB – TU Ostrava, Fakulta Strojní  
Institut dopravy, 342  
Ústav dopravních a procesních zařízení  
708 33 Ostrava – Poruba  
Česká republika

## OPONENTSKÝ POSUDEK

Habilitační práce: **Výskum vybraných procesov spracovania partikulárných materiálov**  
Autor: **Ing. Peter Peciar, Ph.D.**

Habilitační práce pojednává o vybraných procesech v oblasti sypkých hmot. Konkrétně se jedná o proces homogenizace, jednoosé lisování a kompaktaci prášků. Detailně popisuje aspekty teoretické, doplněné experimentálními výsledky, případně simulacemi pomocí DEM a MKP metody. Práce je přehledně členěna do 6 kapitol, má 117 stran, obrázky a tabulky mají jednotnou grafickou úpravu. Toto členění považují za přehledné, vhodně zvolené. Práce je psána srozumitelně.

Úvodní kapitola stručně seznamuje s obecně známým celkovým procesem výroby tablet. Tento vědní obor studuje, mimo jiné, podmínky, za nichž se léčiva a excipienty transformují na pevné formy (tablety). V této práci jsou studovány jednotlivé kroky (vybrané procesy), teoretické základy a vhodné procesní podmínky. Součástí úvodní kapitoly je také definice sypké hmoty resp. partikulárního materiálu: „O partikulárním materiálu lze hovořit až v tom případě, kdy objem největších částic vyskytujících se v látce je zanedbatelný oproti celkovému objemu látky“. *Původ této definice není zcela zřejmý.*

Další kapitola pojednává o homogenizaci partikulárního materiálu. Z procesního hlediska byly v práci řešeny dvě základní otázky – kinetika procesu a energetická náročnost. Na teoretické úrovni jsou srovnávány rozdíly mezi partikulárním materiálem a kapalinou, kdy při homogenizaci partikulárních hmot samozřejmě není matematicky možné částice nahradit spojitým prostředím v podobě ideální tekutiny. Přehledně jsou uvedena konstrukční řešení mísících zařízení.

Prášky, jak je uvedeno, jsou citlivé na historii zatížení jednotlivých částic v průběhu operací před lisováním (nebo jiným procesem). Vlastnosti prášků při mísení ve větších objemech (vyšší hodnoty napětí) se významně odlišují od vlastností prášků připravovaných v malých objemech, kde napětí dosahují téměř zanedbatelných hodnot. Je uvedeno, že tento jev závisí na charakteristikách povrchového napětí, tvaru částic, frakčním složení, pórovitosti a reologických vlastnostech (str. 14). *Bylo by možné jednotlivé závislosti nastínit?*

Kapitola vhodně ukazuje matematické odvození Mohrovy kružnice pomocí hlavních napětí. Do problematiky je zahrnut také tvar mezní křivky (str. 18). *Dotazem může být - jakou korelační rovnici je nejčastěji nahrazen třetí z uvedených případů, tj. kdy křivka neprochází počátkem souřadného systému?*

V kapitole 2.2 jsou uvedeny 3 nejnámější modely teoretického výpočtu sil působících na lopatku, které zohledňují mechanicko-fyzikální vlastnosti (str. 20). *Přes jejich časté použití by bylo vhodné doplnit k nim odkazy, ze kterých bylo čerpáno.*

Oceňuji, v práci použitý termín, „ideální sypké hmoty“. Za praktické v této části dále považuji definici hloubky ponoření lopatky  $z/B$  tzv. bezrozměrné ponoření (str. 21). *Mohla by být doplněna konkrétní hloubka pro obrázek 2.5? Jistě by bylo diskuzně přínosné, jaké ponoření se využívá v průmyslu - a.) farmaceutickém, b.) potravinářském, c.) stavebním? Jsou výrazné rozdíly v jednotlivých oborech? (Souvislosti s redlerem)*

V podkapitole „DEM metoda“ autor stručně uvádí využití této metody při řešení technických problémů. Bylo by zajímavé uvést několik příkladů, případně odkazů (str. 23). Druhá fáze výpočtů je zaměřena na interakce mezi částicemi a další. *Jaký typ interakcí (částice-částice, částice-okolní prostředí) byl zvolen v případě simulace experimentů v komoře homogenizátoru?*

### Kontaktní údaje:

Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava  
17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba  
tel.: +420 597 321 283, fax: +420 596 916 490, e-mail: [id.fs@vsb.cz](mailto:id.fs@vsb.cz)

Porovnání experimentálních dat s modelem vykazovalo dobrou shodu (str. 26). *Je možné závěry matematicky podložit?*

V poslední části druhé kapitoly jsou znázorněny výstupy počítačové simulace procesu homogenizace. Tyto robustní simulační programy určené pro partikulární látky (EDEM) mají významné místo v budoucnosti mechaniky partikulárních hmot. Oceňuji obsah této podkapitoly. Zároveň je však nutná znalost parametrů vstupujících do simulací určených na základě stanovení mechanicko-fyzikálních vlastností. Jedním ze zařízení pro tato stanovení je práškový reometr Freeman FT4, který je bez detailnějšího popisu uveden na str. 29. *Obrázky 2.15 jsou graficky velmi pěkně zpracovány, jejich interpretace však není zcela zřejmá.*

Třetí kapitola pojednává o procesu tabletování prášků. Je odvozen výpočet hlavních napětí v tabletě, přehledně shrnutý a vysvětleny rovnice lisování a znázorněno jejich použití. Experimentální měření jsou doplněna o popis vlastního modelu lisovacího přípravku. *Zdroje obrázků 3.2 až 3.4 nejsou zcela zřejmé.*

V popisu experimentálního materiálu (str. 51) bylo možné očekávat také SEM fotografii slisované tablety MCC Avicel PH102 spolu se stearanem hořečnatým z důvodu informace distribučního rozložení minimálního množství lubrikantu v plnivu. Tento obrázek přišel na řadu až na str. 70, kde je toto rozložení zcela zřejmé. Oceňuji vývoj metodiky.

Není zřejmý odkaz, z kterého bylo čerpáno při uvedení teorie parametru  $ff$  tj. flow function (tokové funkce). Hodnota parametru rozděluje prášky do jednotlivých režimů toku. Klasické hranice definované Dietmarem Schulzem (práce Flow Properties of Powder and Bulk Solids) jsou hodnoty 1,2,4 a 10. Toto dělení samozřejmě výsledky neovlivní, vzhledem k výsledným hodnotám  $ff$  pro MCC Avicel PH 102 (3,79) a MgSt (9,51). Obrázek 3.19 popisuje příklad Mohrovy kružnice. Lze vyčíst také efektivní úhel vnitřního tření, který je dán tečnou k Mohrově kružnici. Z odkazu [14] není zcela zřejmý zdroj tohoto obrázku, v kterém se o tečnu nejedná. (Obr. 3.20 a 3.21 – vůbec neinterpretuje, nevysvětluje...)

Proces lisování a jeho průběh ovlivňuje krystalický tvar, velikost částic a zrn, pórovitost, teplota tání a v neposlední řadě vlhkost použitého materiálu a prostředí. Vhodně je popsáno použití Heckelovy a Kawakitovy rovnice právě v souvislosti s vlhkostí použité celulózy. Za zajímavý závěr lze považovat také konstatování, že vliv stearanu hořečnatého nebyl pomocí rovnic prokázán. (Obr. 3.34 – bychom čekali opačný trend???)

V souvislosti s vlhkostí je uvedeno, že rostoucí vlhkost materiálu má přímý vliv na tepelnou kapacitu směsi  $c_p$  (str. 65). *Zabýval jste se touto otázkou dále, případně mohl byste uvést, jaký by byl experimentální postup?*

Jak již bylo zmíněno, v rámci práce bylo studováno také rozložení teplot v tabletě. K tomuto účelu byla použita termokamera Fluke Ti32 (str. 77). *Jakým způsobem byla kalibrována?*

Čtvrtá kapitola je věnována procesu kompaktace (suché granulace), kde je vyráběn produkt v podobě nekonečného pásu, který je dalšími operacemi dále zpracováván. Výzkum byl věnován převážně toku materiálu v násypce a pohybu sypkého materiálu mezi válci. Řešeny byly procesní parametry, nastavení a optimalizace s cílem maximálního výkonu. Detailně jsou vypracovány teoretické základy procesu. Experimentální část kapitoly je věnována šesti vstupním surovinám pro výrobu hnojiv. Jsou uvedena naměřená data. Efektivní hodnota úhlu vnitřního tření homogenizovaného materiálu vyšla  $50,5^\circ$  (str. 97, obr. 4.9). *Jak si vysvětlujete tuto relativně vysokou hodnotu?*

Za prakticky přínosné považuji navržený postup při návrhu procesních parametrů pro laboratorní kompaktaci.

Závěr nemá klasický charakter, kde bývají zhodnoceny dosažené cíle či shrnuty poznatky vyplývající z práce, ale sestává z příkladu aplikace teoretických znalostí a laboratorních zkoušek studovaných procesů v návrhu technologické linky pro výrobu hnojiv.

Seznam použité literatury obsahuje 43 položek. Často je v odkazech uvedeno Peciar et al. – používáno v případě, že je autorů více než tři. Obvykle se uvádí maximálně tři a za ně se přidá označení „et al“. Pravděpodobně je to zvyklost vztážená na pravidla univerzity. V rámci použité literatury je citováno 11 zdrojů na práce autora – konferenční a publikační příspěvky, užité vzory, atd. Z toho je patrné, že autor dokáže výsledky svého výzkumu publikovat v požadované kvalitě.

Předložená práce má vysokou odbornou úroveň, vhodné členění a grafické zpracování. V textu je minimum gramatických chyb. Práce je aktuální a je vědeckým přínosem pro oblast mechaniky partikulárních hmot a praktickou inženýrskou činnost. Jsou v ní představeny současné trendy z oblasti simulací (DEM, MKP metoda) procesu tabletování a homogenizace prášků. Náměty na další výzkum (kapitola 5) svědčí o vědecké erudici a dalším zvyšování úrovně dané tematiky.

Je evidentní časová náročnost práce, nejen z hlediska značného množství provedených experimentů, ale také z hlediska implementace procesů do počítačových simulací.

Na základě komplexního hodnocení konstatuji, že předložená habilitační práce odpovídá požadavkům řízení k udělení vědecko-pedagogického titulu docent v studijním oboru procesního inženýrství Strojní fakulty STU v Bratislavě.

V Ostravě 9. 5. 2018



prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

