

Prof. Ing. Karol Balog, PhD.  
Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality  
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, STU  
E-mail: karol.balog@stuba.sk

## Oponentský posudok na dizertačnú prácu

**Doktorand:** Ing. Jiří Šustek

**Názov práce:** Rychlé metody predikce parametrů ventilovaných výbuchů ve 3D geometrii

**Pracoviško:** Univerzita Pardubice  
Fakulta Chemicko-technologická  
Ústav energetických materiálů

**Študijný program:** P2832 Chémie a chemické technológie  
**Študijný odbor:** Organická technológia

### 1 Úvod

Predložená dizertačná práca má 101 strán vrátane literatúry a 48 strán príloh. Práca je spracovaná na veľmi dobrej odbornej úrovni. V dizertačnej práci je riešená náročná problematika protivýbuchovej ochrany, výpočet ventilačných plôch a maximálnych výbuchových tlakov pri ventilovanom výbuchu.

Doktorand na základe komplexného a z odborného hľadiska náročného prieskumu a analýzy súčasných vedecko-technických poznatkov o nádobách nekompletne zaplnených výbušnou zmesou v okamžiku iniciácie, prináša nové poznatky využiteľné pre vypracovanie metódy pre výpočet maximálneho vygenerovaného pretlaku v priebehu ventilovaného výbuchu plynu. V rámci doktorandskej práce boli vykonané náročné veľkorozmerné skúšky v štole Štramberg a zo získaných experimentálnych poznatkov boli nastavené konštanty kódu AutoReaGas. Bolo vykonaných viac než 200 simulácií pre rôzne objemy plynnej zmesi, rôzne odolnosti ventilačného panelu a rôzne veľkosti ventilačnej plochy.

Dizertačná práca svojim obsahom a výsledkami prispieva k rozvoju vedného odboru a študijnému programu a taktiež novému náhľadu na možnosti využívania navrhovanej metodiky pre výber najvhodnejšieho vzťahu pre daný plyn, tvar nádoby a objem.

### 2 Stanovenie cieľov dizertačnej práce a ich vedecký základ

Doktorand vo svojej dizertačnej práci vytýčila náročný cieľ, a to na základe analýzy súčasných teoretických a experimentálnych poznatkov, vykonaných veľkorozmerných skúšok a simulácií pomocou AutoReaGas o priebehu ventilovaných výbuchov, navrhnúť vzťah použiteľný pre výpočet maximálneho tlaku v priebehu ventilovaného výbuchu a taktiež pre návrh ventilačnej plochy. Zároveň vzťah musí riešiť tlak na otvorenie ventilu a uvažovať s hmotnosťou ventilačného panelu. Stanovené ciele sú v súlade s požiadavkami kladenými na

tento typ práce. V práci použité metodiky majú vedecký základ a rešpektujú požiadavky bezpečnostného inžinierstva.

### 3 Aktuálnosť dizertačnej práce

Dizertačná práca je aktuálna tak z hľadiska potreby rozvoja vedeckých základov bezpečnostného inžinierstva ako aj zvýšených spoločenských požiadaviek na ochranu životov ľudí a majetku. Navrhnutá metóda má prínos nielen vedecký, ale je aj novým inžinierskym nástrojom umožňujúcim šetriť veľké finančné prostriedky, ktoré je nutné vynakladať na reálne veľkorozmerné experimenty.

### 4 Zvolené metódy spracovania habilitačnej práce

Metódy spracovania dizertačnej práce boli zvolené adekvátne k stanovenému cieľu. Kladne hodnotím, že v rámci dizertačnej práce boli vykonané náročné a rozsiahle štúdiá a analýzy pre výpočet maximálneho vygenerovaného pretlaku v priebehu ventilovaného výbuchu plynu za podmienok čiastočného zaplnenia objemu plynom. Na základe získaných poznatkov boli vykonané náročné experimentálne skúšky v štole Štramberg a z poznatkov týchto experimentov boli definované konštanty simulačného kódu AutoReaGas a následne bolo vykonaných 200 simulácií.

### 5 Splnenie stanovených cieľov

Doktorand vytýčené ciele splnil na veľmi dobrej odbornej úrovni. Je nutné vysoko hodnotiť zvládnutie náročných analýz publikovaných experimentov, ktoré vyžadovali dobrú teoretickú znalosť z oblasti teórie výbuchu plynov a taktiež vykonané experimentálne veľkorozmerné skúšky. Výsledky práce sa dajú využiť ako východiská pre ďalší aplikačný výskum. Veľmi si cením vykonané experimenty a vykonané simulácie pomocou AutoReaGas, ktoré sú ojedinelé a taktiež výsledky prác sú v určitých smeroch priekopnícke, najmä z hľadiska prístupu k overovaniu publikovaných vzťahov zaoberajúcich sa ventilovanými výbuchmi.

Doktorandom navrhnutá metóda je porovnateľná výpočtovými metódami používanými v zahraničí poprednými svetovými odborníkmi a hľadiska nákladovosti získaných poznatkov je vhodnejšia.

### 6 Záver hodnotenia a odporúčanie

Doktorand preukázal pri riešení dizertačnej práce schopnosť tvorivo pracovať, spôsobilosť spracúvať získané vedecké a technické informácie a využívať všeobecné zákonitosti v praxi na odbornom a vedeckom základe. Predložená práca spĺňa podmienky ustanovené pre dizertačnú prácu.

*Predložená dizertačná práca, ktorú spracoval Ing. Jiří Šustek na tému „Rychlé metody predikce parametrů ventilovaných výbuchů ve 3D geometrii“ spĺňa požiadavky kladené na dizertačnú prácu a preto odporúčam, aby menovanému po úspešnej obhajobe bol udelený akademický titul doktor, v skratke “Ph.D.” v doktorskom študijnom odbore Organická technológia.*

06.01.2014

Prof. Ing. Karol Balog, PhD.

Ing. Milan Černín , CSc.

Ostrava

### Oponentní posudek disertační práce

Doktorand: Ing. Jiří Šustek

Název práce: Rychlé metody predikce parametrů ventilovaných výbuchů ve 3D geometrii

Téma doktorské práce se zaměřením na definování velikosti odlehčení pro ochranu proti vnitřním účinkům tlaku při výbuchu plynu, považuji za aktuální a závažné, a to jak z teoretického, tak praktického hlediska.

Předložená disertační práce obsahuje celkem 150 stran a je členěna do 9 kapitol. Pro potřeby praxe a rozvoj vědního oboru se jako nejvýznamnější jeví kapitola 5 a 6 včetně uvedených tabulek v příloze.

V kapitole „Publikované vztahy“ doktorand, na základě dostupných literárních podkladů, byl nucen se vyrovnat s celou řadou neúplných informací publikovaných v odborné literatuře, které jsou převážně vztaženy jen pro danou konfiguraci experimentů. Rovněž zvolené metodiky experimentálních měření jsou častou zátíženou systémovou chybou hodnocení, případně jsou nedostatečně definovány podmínky, za kterých jsou experimentální měření prováděna. Nutno rovněž zdůraznit obtížnost aplikování některých výpočetních postupů, u nichž chybí definice platnosti, což v mnoha případech vede k nereálným výsledkům.

Výběr nejvhodnějších výpočetních vztahů zaměřených na ventilované výbušné procesy v kubických nádobách (prostorách), v nichž výbušné plynné systémy nevyplňují zcela vymezený prostor – tzv. metanové vrstvy, byl proveden velmi objektivně se zaměřením na jejich praktické využití. Tento výběr svědčí o vysoké odbornosti doktoranda.

Je všeobecně známo, že turbulence výbušného systému výrazně zvyšuje jeho rychlost hoření. Jistý problém nastává, že mnozí autoři podávají různý výklad k hodnotám turbulentního korekčního

faktoru či turbulentnímu parametru a rozdílná interpretace může vést k záměně s tzv. ventilačním koeficientem  $K$ . Domnívám se, že je žádoucí tyto skutečnosti blíže vysvětlit.

Pro zpřesnění některých citací doporučuji sjednotit symboliku ( $K_G$  – výbuchová konstanta na index deflagrace – str. 29) a doplnit některé matematické výrazy o dosazované jednotky (str. 42).

Zařazením do disertační práce kapitoly „Publikované experimenty“ považuji za velmi účelnou, neboť lze posoudit do jaké míry jsou různá experimentální měření ovlivněna konkrétním zkušebním zařízením a metodikou zkoušek. Variabilní uspořádání různých zkušebních zařízení, způsoby přípravy výbušných systémů, situování proměnlivé iniciační mohutnosti jen podtrhují složitost řešení daného problému. Je zřejmé, že bez výrazných odborných znalostí nelze přejímat jakákoliv publikovaná data, aniž budou odborně analyzována.

Kapitola „Simulovaná data“ doplňuje výběr možného použití řešení dané problematiky. Je zřejmé, že bez kalibračních konstant, zjištěných in situ, se výpočetní programy neobejdou. Výrazný počet simulací provedených programem AutoReaGas výrazně přispěl k rozšíření poznatků. Je otázkou, zda simulace programem Ventex (dříve Explode) by nebyla úspěšnější.

Při zkoumání nejvhodnějších výpočetních vztahů, doktorand definoval velmi přísné a rozsáhlé požadavky na výstupní vztahy, což potvrzuje, že se nechtěl vyhnout náročným analýzám a simulacím. Pro další postup řešení byly vybrány vztahy, které ve svých výsledcích podhodnocují vypočtené hodnoty, což z bezpečnostního hlediska považuji za správné řešení.

Při úpravách výpočetních vztahů 100 až 104 byl použit poměr laminární rychlosti hoření směsi metan – vzduch, k laminární rychlosti hoření konkrétní směsi v nádobě, jako ekvivalent laminárních rychlostí. Jelikož u uhlovodíků rychlosti hoření jsou nevýrazné a jejich hodnoty nejsou příliš velké, je na zvážení, zda užitím „ekvivalentů“ výbuchových tepel, či rychlosti nárůstu tlaku, by nedošlo ke zpřesnění výpočtů.

Velmi pečlivé zpracování kapitoly 5 je spojeno s rozsáhlými výpočetními soubory a jejich zatříděním do specifických skupin. Tento kvalifikovaný postup byl proveden na základě rozsáhlých znalostí doktoranda, uvážíme-li, že při hodnocení nekomplexních souborů experimentálních měření byl nucen využívat celou řadu navazujících souvislostí.

Na základě analýzy a shrnutí výsledků z předcházejících kapitol, byly vyspecifikovány nejvhodnější výpočetní vztahy a tyto zařazeny do tzv. pavouků pro objektivnější výběr jejich použití.

Nejpropracovanější doporučení pro volbu nejvhodnějšího vztahu je zaměřeno na výbušný systém metan – vzduch, což je také dáno nejrozsáhlejšími soubory měření, která jsou k dispozici.

Jak správně doktorand uvádí, je dosud velmi nedostatečně prozkoumána oblast výbuchových přeměn metanových vrstev v kubických nádobách větších rozměrů. Je to také dáno vznikem velmi složitého tlakového pole, které je ovlivňováno jak primární vlnou dopadající na okolní stěny, tak vzájemnou interferencí odražených vln, což ve svých důsledcích se odráží na velmi složitých výpočetních postupech. Domnívám se, že se zřetelem na stávající nekontrolované výstupy metanu na povrch v Ostravsko-karvinském revíru a vzniklé havarijní situace v zaplynované bytové výstavbě, by tato problematika zasluhovala větší pozornost.

Při obhajobě disertační práce navrhuji, aby doktorand zodpověděl následující dotazy:

- Jaké důvody rozhodovaly pro zvolení programu AutoReaGas a jaké má přednosti proti programu např. Ventex?
- Při úpravách vztahů 100 – 104 byl použit „ekvivalent“ laminární rychlosti hoření. Došlo by ke zpřesnění výpočtů při použití ekvivalentů výbuchových tepel, či rychlosti nárůstu tlaku, které více ovlivňuje koncentrace výbušných systémů?
- Které z deklarovaných výpočetních postupů by bylo možno použít při řešení havarijních situací v případech, kdy prostory mají přibližně okolo 100 m<sup>3</sup> (haly, sklady, bytová výstavba).

### **Závěr hodnocení a doporučení**

- Disertační práce je zpracována přehledně a je správně logicky rozdělena do kapitol s dobrou návazností. Tabulky, grafy a obrázky velmi dobře popisovanou problematiku doplňují. Přes několik formálních nepřesností a překlepů působí tato práce kultivovaně.
- Aktuálnost zvoleného tématu vyplývá již z názvu disertační práce a jednotlivých kapitol. Řešení dané problematiky charakterizuje trvale aktuální problém ve vztahu s rizikovými technologickými procesy.

- Zvolené metodické postupy při řešení daných problematik, jsou adekvátní možnostem a podmínkám, které měl doktorand k dispozici. Disertační práce potvrzuje schopnosti doktoranda samostatně a cílevědomě řešit složité problematiky na vědecké úrovni.
- Rozsáhlá literární rešerše, do které jsou zahrnuty i publikace příbuzných oborů a publikace doktoranda, potvrzuje jeho široké znalosti.
- Nově získané poznatky budou nejen cenným přínosem pro daný vědní obor, ale také pomůckou při řešení havarijních situací.
- Protože doktorand prokázal při řešení zadané práce schopnost tvořivě vědecky pracovat, analyticky zpracovávat technické informace a využívat vzájemné ovlivňující zákonitosti, předloženou disertační práci

**doporučuji přijmout k obhajobě.**



Ostrava, 17. 11. 2013

Ing. Milan Černín, CSc.