

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave

Ing. László Kosár

Autoreferát dizertačnej práce

**Vývoj inovatívnych konštrukčných riešení meracích zariadení a ich vplyv
na požiarne parametre prachových vzoriek**

na získanie akademického titulu: doktor („philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe: Integrovaná bezpečnosť

v študijnom odbore: 9205 bezpečnostné vedy

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Trnava, 31.05.2025

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave

Ing. László Kosár

Autoreferát dizertačnej práce

**Vývoj inovatívnych konštrukčných riešení meracích zariadení a ich vplyv
na požiarne parametre prachových vzoriek**

na získanie akademického titulu: doktor („philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe: Integrovaná bezpečnosť

v študijnom odbore: 9205 bezpečnostné vedy

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Trnava, 31.05.2025

Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Ústave výrobných technológií Materiálovotechnologickej fakulty (MTF) STU so
sídлом v Trnave

Predkladateľ: Ing. László Kosár
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Ústav integrovanej bezpečnosti
Ulica Jána Bottu 2781/25 917 24 Trnava

Školiteľ: doc. Ing. Richard Kuracina, Ph.D.
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Ústav integrovanej bezpečnosti
Ulica Jána Bottu 2781/25 917 24 Trnava

Oponenti:

Autoreferát bol rozoslaný

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňao.....hod.
na Materiálovotechnologickej fakulte STU so sídlom v Trnave, Ulica Jána Bottu
č. 2781/25, 917 24 Trnava

.....
prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.
dekan MTF STU so sídlom v Trnave

OBSAH

ÚVOD	5
1 CIEĽ PRÁCE	7
2 CHARAKTERISTIKA VZORIEK A PREDBEŽNÁ ANALÝZA	8
2.1 Gravimetrické stanovenie vlhkosti	8
2.2 Distribúcia veľkosti častíc	9
2.3 Sypná hustota	9
2.4 Prchavý obsah	9
2.5 Obsah popola.....	10
2.6 Skenovací elektró nový mikroskop	10
3 TESTOVACIE ZARIADENIA	13
3.1 Godbert–Greenwaldova (G–G) pec na stanovenie MIT rozvíreného prachu 13	
3.2 KV–150M2 komora a 20 l komora pre meranie výbuchových parametrov rozvírených prachov	16
4 TESTOVANIE CHARAKTERISTÍK PRACHOV	16
4.1 Vplyv veľkosti frakcie na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu	16
4.2 Vplyv tlaku vzduchu a hmotnosti vzorky na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu	18
4.3 Vplyv objemu zariadenia na parametre výbuchu	20
4.4 Vplyv typu zapal'ovača na výbuchové parametre	21
PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE.....	23
ZÁVER	24
ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV	25
ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI.....	27

ÚVOD

Horľavé prachy z materiálov ako potraviny, drevo a kovy sú v priemysle bežné a môžu vytvárať výbušné oblaky, keď sa rozptýlia vo vzduchu.

Štandardizované testovacie metódy (ISO, ASTM) hodnotia závažnosť výbuchu za kontrolovaných podmienok, ale prehliadajú vplyvy rôznych zdrojov zapálenia, konštrukcie komôr a rozvírovacích systémov. Vplyv týchto neštandardných faktorov zostáva nedostatočne preskúmaný.

Výbuchy prachu, plynu a hybridných zmesí predstavujú vážne a rozšírené nebezpečenstvo v spracovateľskom priemysle, ako sú chemické továrne, rafinérie, smaltovne, lakovne, mlyny alebo sklady na mleté produkty a iný horľavý prach, atď. (Mannan, 2013). Incidents môžu viesť k vážnym škodám na technológiách, k úrazom a ohrozeniu zdravia a života pracovníkov, ako aj k vážnym škodám na životnom prostredí. Takéto incidents v minulosti spôsobili mnoho úmrtí a zranení, čo zdôraznilo potrebu adekvátneho testovania vlastností výbuchu prachu, aby sa zabezpečil bezpečný návrh procesu a následne aj jeho prevádzka. Často sú následkom aj také veľké škody na majetku, ktoré súvisia s poškodením či zničením závodu. Od vzniku spracovateľského priemyslu sa odborníci neustále snažia vyvíjať účinnejšie preventívne a ochranné opatrenia proti týmto typom explózií (Khan a Abbasi, 1999; Mannan, 2013).

Aby sa predišlo potenciálnemu nebezpečenstvu, je nevyhnutné prijať vhodné technologické, technické a preventívne opatrenia. K tomu je však potrebné detailne poznať požiarno-technické vlastnosti skúmaných prachov. Medzi ne patrí maximálny tlak výbuchu ($P_{\max}$) a výbuchová konštanta K_{st} (charakteristická rýchlosť nárastu tlaku), ktoré kvantifikujú závažnosť výbuchu, ako aj limity vznietenia, ako je minimálna teplota vznietenia (MIT), minimálna iniciačná energia (MIE) a dolná medza výbušnosti (DMV). Štandardné skúšobné metódy (napr. STN EN ISO/IEC 80079-20-2:2016 pre prach MIT, EN 14034-1:2004+A1:2011 pre $P_{\max}$ a K_{st}) používajú na stanovenie týchto hodnôt kontrolované špeciálne prístroje (Godbert-Greenwaldova pec pre MIT, guľové alebo iné komory na skúšky výbuchom). Väčšina publikovaných údajov sa však zameriava na konkrétne materiály v ideálnych laboratórnych podmienkach.

Existujúci výskum stanovil typické správanie mnohých prachov, ale tiež zdôrazňuje variabilitu medzi testovacími nastaveniami. Namerané parametre môže ovplyvniť najmä typ zapal'ovacieho systému a účinnosť rozptylu vzorky. Napríklad, rôzne pyrotechnické zapal'ovače alebo metódy elektrického zapal'ovania môžu dodávať rôzne energetické impulzy a zle rozptýlený oblak prachu sa nemusí vznietiť homogénne. V literatúre sú obmedzené informácie o tom, ako takéto testovacie premenné kvantitatívne menia výsledky. Podobne, zatiaľ čo normy špecifikujú konštrukciu prístrojov, skutočné zariadenia (napr.

komora KV-150M2) môžu byť upravené tak, aby sa zlepšil výkon v špecifických prípadoch, ale systematické štúdie takýchto úprav sú zriedkavé.

Hlavným cieľom tejto dizertačnej práce je analyzovať vybrané požiarno-technické parametre prachových materiálov a preskúmať vplyv určitých faktorov na tieto parametre. Zároveň sa práca zameriava na pozorovanie a hodnotenie správania sa vybraných vzoriek pri rôznych experimentálnych podmienkach.

1 CIEĽ PRÁCE

Primárnym cieľom práce je preskúmať niektoré požiarno–technické vlastnosti prachových látok a vplyv vybraných parametrov na tieto charakteristiky. Rovnako je cieľom práce aj pozorovať a hodnotiť správanie sa charakteristik vybraných vzoriek v rôznych podmienkach.

Počas výskumu je plánované použitie troch rôznych modifikovaných zariadení. Modifikácia týchto zariadení znamená, že majú neštandardné (tzn. nie bežné) konštrukčné vyhotovenie, niektoré riešenia sú unikátne aj na svetovej úrovni:

- Komora KV –150M2 –UIBE (365 –litrová) a štandardizovaná 20 l Kuhner AG komora na testovanie požiarno–technických charakteristík, ktorými sú:
 - Dolná medza výbušnosti DMV,
 - výbuchový tlak $P_{\max}$,
 - maximálna rýchlosť nárastu tlaku $(dp/dt)_{\max}$ a z nej vyplývajúca výbuchová konštanta K_{st} .
- Godbert – Greenwaldova (G – G) pec na testovanie minimálnej teploty vznietenia MIT pri rôznych podmienkach.

Vzhľadom na obsiahlosť uvedeného cieľa, pre jeho dosiahnutie boli stanovené čiastkové ciele práce. V rámci dizertačnej práce sú navrhnuté nasledovné čiastkové štúdie/ciele:

1. Výber, príprava a charakterizácia testovaných vzoriek – cieľom je zabezpečiť široké spektrum práškových látok z rôznych zdrojov, ako sú potraviny, kovy, prírodné produkty, palivá a polyméry (napr. cukry, mletá paprika, horčík, bukový prach, Lycopodium, nitrocelulóza atď.). Každá vzorka bude analyzovaná z hľadiska veľkostnej distribúcie častíc, vlhkosti, hustoty, obsahu popola a vhodnosti na meranie.

2. Príprava a štandardizácia experimentálnych podmienok – zahŕňa presné určenie množstva vzorky a dokumentovanie vstupných parametrov pred každým meraním. Cieľom je zabezpečiť reprodukovateľné podmienky merania vrátane zabezpečenia optimálnej koncentrácie prachu a homogenity vzoriek.

3. Optimalizácia výbuchovej komory KV – 150M2 – skúma sa vplyv typov zapalovačov (vrátane netradičných riešení ako explodujú wire, pyrotechnických zapalovačov s KNO_3 , $KClO_3$ alebo s nitrocelulózu), vplyv rôznych objemov komory (porovnávací štúdiá), spôsobu a tvaru mechanizmu rozvírenia.

4. Hodnotenie vplyvu zvolených premenných na MIT – skúmajú sa faktory ako vlhkosť, veľkosť častíc, koncentrácia prachu.

5. Porovnanie nameraných údajov s referenčnými hodnotami – výsledky získané v experimentoch budú porovnané s hodnotami z akreditovaných výskumných centier a literatúry. Cieľom je overiť spoľahlivosť upravenej metodiky a identifikovať prípadné odchýlky spôsobené konštrukčnými alebo prevádzkovými rozdielmi v zariadení.

2 CHARAKTERISTIKA VZORIEK A PREDBEŽNÁ ANALÝZA

Aby boli výsledky testovania aplikovateľné vo všeobecnej rovine, bola vybraná široká škála materiálov s rôznymi vlastnosťami (sytná hustota, vlhkosť, veľkosť častíc, pôvod látky), reakčnými mechanizmami a princípmi horenia. Pre prach boli zvolené také rôznorodé materiály, ako sú potraviny, napr. korenie, rôzne druhy cukrov, výbušná látka nitrocelulóza, prírodné produkty ako drevo, plavún obyčajný (*Lycopodium clavatum*) a práškové kovy.

Vzorky boli zakúpené od komerčných dodávateľov ako bežná komodita (napr. cukry a paprika pre potravinársky priemysel), prípadne od dodávateľov chemických látok (práškové kovy s čistotou (najmenej 99,5 a 99,8 %) pre chemickú výrobu), vzorky dreva sa získavajú najmä z drevospracujúcich podnikov, kde sú drevné piliny alebo prach výrobným odpadom.

Charakteristika vlastností jednotlivých skúmaných vzoriek nie je jednotná, preto pri všetkých vzorkách prachu boli vykonané fyzikálne analýzy. Výsledky týchto analýz sú hodnotené nižšie. Všetky vybrané vzorky sú uvedené v Tabuľke 1.

Tabuľka 1 Názvy vybraných vzoriek

• Sorbitol	• Nitrocelulóza	• Lycopodium clavatum
• Maltitol	• Hliník	• Sladká paprika
• Maltodextrín	• Horčík	• Paprika feferónka
• Dextrín	• Buk	• Serrano chilli paprika
		• Cayenne chilli paprika

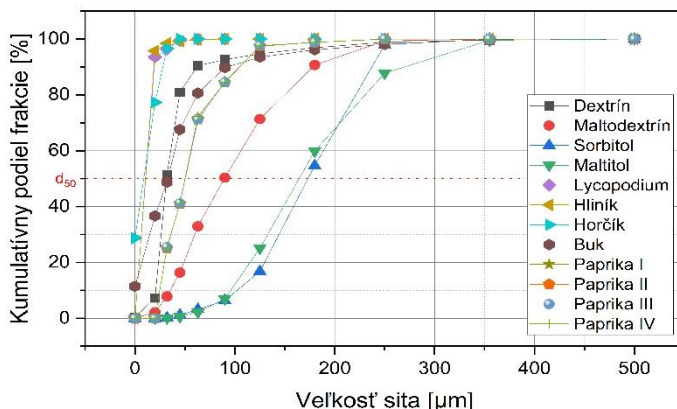
2.1 Gravimetrické stanovenie vlhkosti

Vlhkosť skúmaných vzoriek drevných prachov sa stanoví gravimetricky podľa STN 49 0103:1979 Drevo – Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach. ČSN EN ISO 21660–3: 2021 Tuhé alternatívne palivá –

Stanovenie obsahu vody metódou sušenia v sušiarňi – Časť 3: Voda v analytickej vzorke pre všeobecný rozbor. Hmotnostná vlhkosť je zvyčajne označená ako w alebo M_{ad} , je vyjadrená ako pomer hmotnosti vody vo vzorke k hmotnosti pevnej fázy prachu v percentách

2.2 Distribúcia veľkosti častíc

Veľkosť častíc je jedným z najdôležitejších parametrov, ktorý ovplyvňuje výbušné vlastnosti prachu. Pretože sa veľkosť a tvar častíc vo vzorkách prachu značne líši, vzorky sa pripravili mletím (nožový a guľový mlyn Retsch PM – 100CM pre buk a paprika). Distribúcia veľkosti častíc každej vzorky sa stanovoval pomocou sitovej analýzy (EN 933 – 1:2012) na vibračnej preosievačke Retsch AS200. Namerané distribúcie veľkosti častíc sú zobrazené na Obrázku 1 a pre každú vzorku, a stredné priemery vzorky sú uvedené v Tabuľke 2.



Obrázok 1 Distribúcia veľkosti častíc vybraných vzoriek prachu

2.3 Sypná hustota

Sypná hustota sa vzťahuje na hmotnosť známeho objemu prášku, ktorý sa určí po tom, čo sa nechá voľne spadnúť do stacionárnej nádoby a potom sa za špecifikovaných podmienok poklepe. Hmotnosť prášku vydelená jeho objemom po teste udáva sypnú hustotu. Zvyčajne sa vyjadruje v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ alebo $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (STN EN ISO 23145–1:2016). Výsledky merania sú uvedené v Tabuľke 2.

2.4 Prchavý obsah

V súvislosti s výbuchmi prachu sa materiály s vysokým obsahom prchavých látok ľahko vznietia a spôsobujú výbuchy vysokej intenzity. Dôvod tohto javu

možno vysvetliť tak, že prachy s vyšším obsahom prchavých látok produkujú za rovnakých podmienok viac horľavého plynu, čo prispieva k horeniu v plynnej fáze (Li a kol.,2016). Stanovenie obsahu prchavých látok bolo vykonané v súlade s normou EN 15148:2009. Obsah prchavých látok vo vzorkách prachu sa pohyboval medzi 77,95 hm. % a 99,99 hm. %. Obsah prchavého materiálu stanovený pre každú vzorku prachu je uvedený v Tabuľke 2.

2.5 Obsah popola

Obsah popola je nehorľavý zvyšok, ktorý zostane po spálení vzorky za kontrolovaných podmienok. Vyjadruje sa ako percento z celkovej hmotnosti (EN 14775:2009). Výsledky merania sú uvedené v Tabuľke 2.

Tabuľka 2 Fyzikálne vlastnosti vybraných prachov

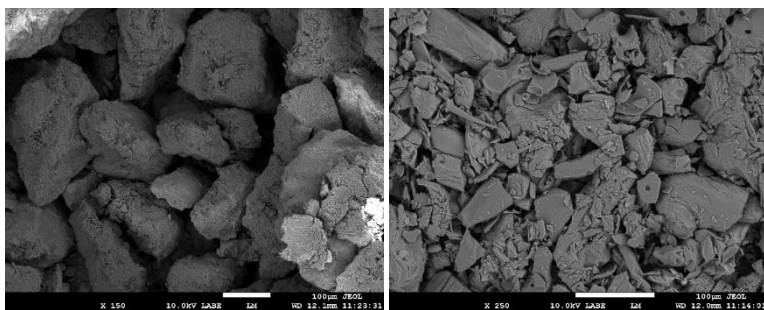
Vzorka prachu	Veľkosť častíc [μm]	Obsah vlhkosti [hmot. %]	Sypná hustota [kg·m ⁻³]	Prchavý obsah [hmot. %]	Obsah popola [hmot. %]
d50					
Sorbitol	173,39	0,27	726,27	99,99	0,05
Maltitol	164,23	0,07	915,29	99,17	0,03
Maltodextrín	89,81	4,86	682,45	96,81	0,03
Dextrín	32,08	7,76	911,86	91,36	0,34
Lycopodium	10,60	4,19	320,38	92,79	0,79
Hliník	11,67	0,22	1083,33	–	–
Horčík	8,69	0,51	702,81	–	–
Bukové drevo	32,34	6,13	218,22	83,85	0,50
Sladká paprika	50,37	4,92	532,14	78,25	7,90
Paprika feferónka	50,29	1,62	510,67	80,08	6,43
Serrano chilli paprika	50,30	1,65	516,05	77,95	7,99
Cayenne chilli paprika	50,07	3,58	551,75	80,01	6,86

2.6 Skenovací elektró nový mikroskop

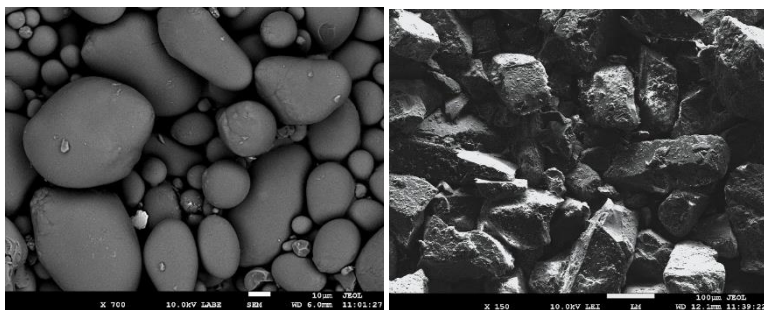
Na vizualizáciu povrchovej štruktúry prachových častíc sa používa skenovací elektrónový mikroskop (SEM). Služí prevažne na topografickú analýzu rôznych materiálov, najmä veľmi malých objektov či objektov s detailmi, ktoré bežný optický mikroskop nerozpozná. Obrázky poskytujú pohľad na tvar častíc, aglomeračné správanie a veľkosť pórov každej vzorky prachu. Súhrnne povedané, snímky SEM poskytujú rozhodujúci pohľad na to, ako morfológia častíc, aglomerácia a pórovitosť môžu priamo ovplyvniť vznietenie, rýchlosť horenia a

účinnosť spaľovania materiálov. Tieto vlastnosti ovplyvňujú ich potenciálne nebezpečenstvo pri požiarnych scenároch.

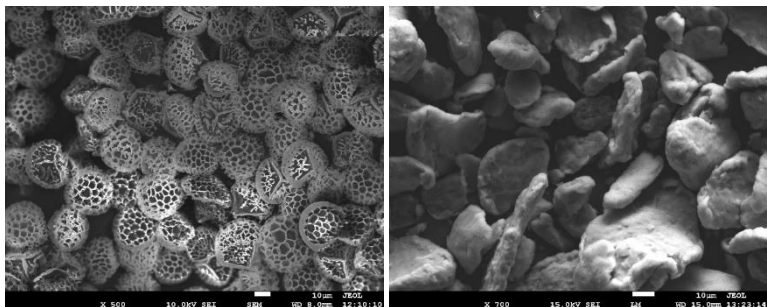
Morfológia častíc bola pozorovaná pomocou vysokorozlišovacieho rastrovacieho elektrónového mikroskopu JEOL JSM 7600F (MTF, UMAT) pri zväčšeniach 150× až 3000×. Vzorky vo forme prášku (vzorky od A po I sú uvedené na Obrázkoch 2 až 6) boli za účelom zvýšenia vodivosti naparené tenkou vrstvou amorfného uhlíka, okrem hliníka a horčíka, ktoré boli aj pôvodne vodivé. Vzorky boli pozorované v režime sekundárnych a späťne odrazených elektrónov.



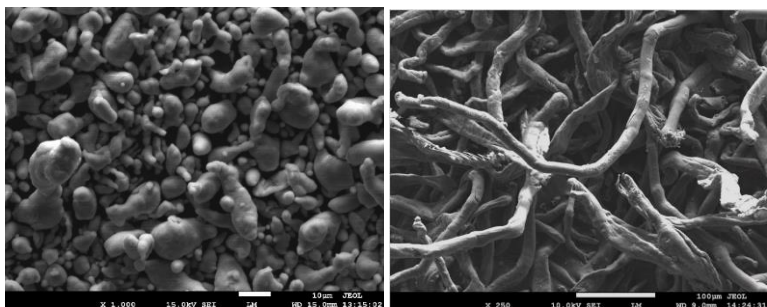
Obrázok 2 Morfológia častíc vzorky sorbitolu a maltodextrínu.



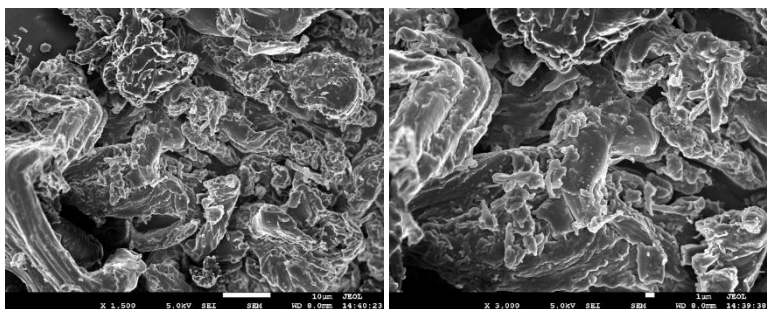
Obrázok 3 Morfológia častíc vzorky dextrínu a maltitolu.



Obrázok 4 Morfológia častíc vzorky Lycopodia a hliníka.



Obrázok 5 Morfológia častíc vzorky horčika a nitrocelulózy.



Obrázok 6 Morfológia častíc vzorky buka.

Zhrnutie:

- Nepravidelné a drsné častice pravdepodobne horia rýchlejšie kvôli ich zväčšenému povrchu a pórovitosti.

- Hladké, guľovité častice zvyčajne horia pomalšie kvôli ich menšiemu povrchu a kompaktnej štruktúre.
- Aglomerácia môže ovplyvniť spaľovanie obmedzením prúdenia vzduchu a oneskorením vznietenia, ale menšie častice alebo častice s vysokou pórovitosťou môžu podporiť rýchlejšie spaľovanie.

3 TESTOVACIE ZARIADENIA

Účelom testovacích zariadení je skúmať správanie sa práškov pod vplyvom špecifických podmienok, pričom sa aplikujú rôzne podmienky merania, ktoré môžu ovplyvniť výsledky.

Aby sme mohli objektívne vyhodnotiť skúšobné vzorky, máme k dispozícii technické normy, ktoré poskytujú pracovný postup a tým zabezpečujú opakovateľnosť. Pomocou nameraných a vyhodnotených parametrov môžeme potom lepšie navrhnúť a prakticky aplikovať ochranu proti požiaru a výbuchu.

Požiarne vlastnosti horľavých práškov sú založené na stanovení rôznych parametrov po ich vznietení. Na základe toho sa sleduje intenzita a rýchlosť vznietenia/výbuchu, vplyv koncentrácie prášku, zmeny teploty a tlaku na proces vznietenia.

Táto práca sa nezaoberala všetkými požiarnymi vlastnosťami všetkých vzoriek. Hlavnými zariadeniami použitými na získanie najdôležitejších výsledkov základného výskumu boli Godbert–Greenwaldova pec, výbuchová komora KV–150M2 a 20 l komora (Kuhnerov prístroj).

3.1 Godbert–Greenwaldova (G–G) pec na stanovenie MIT rozvíreného prachu

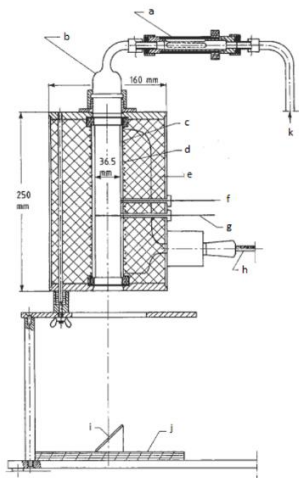
Ako je uvedené v technickej norme STN EN ISO/IEC 80079-20-2:2016, existujú dve zariadenia, ktoré je možné použiť na určenie minimálnej teploty vznietenia rozvírených prachov. Častejšie používanou z nich je Godbert–Greenwaldova pec.

Pracovný postup vychádza z tejto normy, ale keďže ide o novšiu verziu už zastaranej normy STN EN 50281-2-1:2002, sa nezaobrá podrobným vyhotovením konkrétnych častí zariadenia. Zariadenie používané na UIBE bolo vyrobené podľa tejto normy. Od roku 2016 je však platná norma STN EN ISO/IEC 80079-20-2:2016, v ktorej je testovacie zariadenie opísané len nevyhnutnými parametrami. Týmto parametrom zariadenie na UIBE vyhovuje, a rozmery jeho súčasti sú preto s ňou v súlade.

Jadrom experimentálneho usporiadania je Godbert–Greenwaldova pec (G–G), špecializované zariadenie určené na presné meranie minimálnej teploty vznietenia.

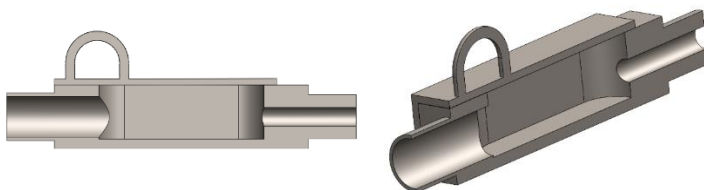
Táto vertikálna rúrková pec pozostáva z kremennej trubice umiestnenej vertikálne, pričom jej spodný koniec je vyvedený do okolitého vzduchu. Teplota v zariadení je meraná kombináciou termočlánkov a regulovaná regulátorom teploty. Toto zabezpečuje stabilnú reguláciu teploty a stabilný a presný proces ohrevu. Trubica je vyhrievaná elektrickou špirálou, pričom maximálna teplota testovania je 600 °C. Trubica má dĺžku 21 cm a priemer 35 mm, pričom jej vnútorný objem je 230 cm³. Trubica je osadená vertikálne na ocelovom plášti, ktorý je izolovaný sklenenou vatou. Pod spodným okrajom trubice je umiestnené zrkadlo. Zrkadlo je kľúčovou súčasťou, ktorá umožňuje priame vizuálne pozorovanie plameňa vo vnútri pece. Regulačný termočlánok je umiestnený v blízkosti vnútornej steny trubice a je pripojený k regulátoru teploty, ktorý zaznamenáva teplotu pece a na jej základe reguluje teplotu trubice. Tento systém umožňuje presné sledovanie a kontrolu procesu počas experimentov.

Schematický diagram vyhrievanej pece a súvisiaceho systému na meranie teploty vznietenia rozvíreného prachu je uvedený na Obrázku 7.

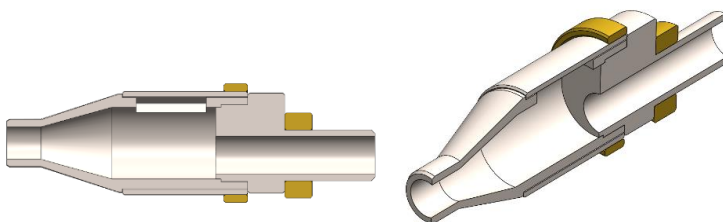


Obrázok 7 Prierez Godbert–Greenwaldovej pece (G–G) na stanovenie minimálnu teplotu vznietenia oblakov prachu (Eckhoff, 2016).

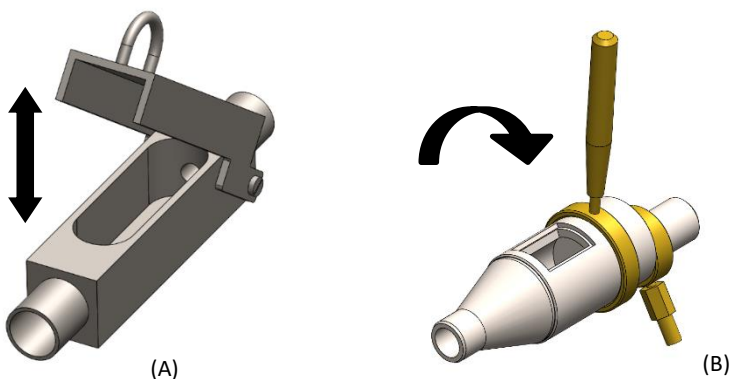
Pri meraniach boli použité dva odlišné zásobníky na vzorky prachu. Prvý skonštruovaný v súlade s pôvodnou normou STN EN 50281-2-1:2002, je znázornený na Obrázku 8. Druhý zásobník je na mieru navrhnutá kužeľová konštrukcia, ktorej prierez je znázornený na Obrázku 9. Na základe už spomínanej normy a pomocou vlastných meraní sme vytvorili 3D model zásobníkov (Obrázok 10) na prach v programe Solidworks.



Obrázok 8 3D prierez pôvodného zásobníka (A) na vzorku prachu.



Obrázok 9 3D prierez kužeľového zásobníka (B) na vzorku prachu.



Obr. 10 3D modely zásobníkov (A) a (B) v otvorenom stave/otvorenej polohe

3.2 KV–150M2 komora a 20 l komora pre meranie výbuchových parametrov rozvírených prachov

Na určenie výbuchových charakteristík sa použila výbuchová komora s objemom 365 l (KV–150M2, vyrobená OZM Research a upravená na Materiálovotechnologickej fakulte v Trnave) a guľovitá komora s objemom 20 l (umiestnená na Fakulte bezpečnostného inžinierstva VŠB Technickej univerzity v Ostrave, Česká republika, vyrobená spoločnosťou Kuehner AG). Merania sa uskutočnili podľa normy EN 14034 (STN EN 14034:2004+A1:2011).

Podmienky merania výbuchových charakteristík sú zhrnuté v Tabuľke 3.

Tabuľka 3 Podmienky merania výbušných charakteristík v KV–150M2 a 20 l Kuhner AG

	KV–150M2	20 l Kuhner AG
Objem [l]	365	20
Vzorkovacia frekvencia [Hz]	50 000	5 000
Tlak zásobníku vzduchu [bar·g]	10	20
Zapalovač	Sobbe	Sobbe
Energia zapalovača	2 × 5 kJ	2 × 5 kJ
Vyhodnotenie údajov	Aplikácia MATLAB	Softvér Kuehner KSEP 7.0
Teplota	21 °C ± 2	20 °C ± 2

4 TESTOVANIE CHARAKTERISTÍK PRACHOV

4.1 Vplyv veľkosti frakcie na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu

V rámci experimentálnej časti práce bola vykonaná modifikácia Godbert–Greenwaldovej pece, ktorá slúži na stanovenie minimálnej teploty vznietenia (MIT) rozvíreného prachu. Dôvodom tejto úpravy bola skutočnosť, že pri použití štandardnej komory často zostáva v priestore pre vzorku nezanedbateľné množstvo nerozptýleného prachu, čím môže byť ovplyvnený výsledok merania. Nový kužeľový zásobník zabezpečil účinnejšie rozvírenie vzorky a lepšie podmienky na meranie vznietivosti. Vplyv tejto úpravy bol vyhodnotený v sérii testov, pričom sa porovnávali výsledky získané s pôvodným a upraveným zásobníkom.

Na overenie vplyvu frakčného zloženia bukového prachu na MIT boli pripravené štyri frakcie (20–32 µm, 32–45 µm, 45–63 µm a 63–90 µm) a merania prebiehali pri hmotnostiach vzorky 0,1; 0,2 a 0,3 g $\pm$ 5 % s konštantným disperzným tlakom 50 kPa. Minimálna teplota vznietenia bola stanovená podľa metodiky STN EN ISO/IEC 80079-20-2:2016.

Tabuľka 4 Minimálna teplota vznietenia (MIT) prachu z bukového dreva s pôvodným zásobníkom prachu (A) a s novým kuželovým zásobníkom prachu (B).

Veľkosť frakcie	Teplota [°C]					
	(hmotnosť vzorky 0,1 g; tlak vzduchu 50 kPa)		(hmotnosť vzorky 0,2 g; tlak vzduchu 50 kPa)		(hmotnosť vzorky 0,3 g; tlak vzduchu 50 kPa)	
	A	B	A	B	A	B
20 – 32 µm	370	340	360	330	360	320
32 – 45 µm	370	340	360	330	360	320
45 – 63 µm	370	330	360	320	350	320
63 – 90 µm	350	320	350	320	350	320

Výsledky ukázali, že tvar zásobníka mal štatisticky významný vplyv na výslednú MIT ($F = 106,02 > F_{\text{krit}} = 4,30$; $p < 0,05$), pričom nový kuželový zásobník znižoval MIT o 30–40 °C. Naopak, veľkosť častíc nevykázala štatisticky významný rozdiel v MIT medzi frakciami ($F = 0,49 < F_{\text{krit}} = 3,01$; $p > 0,05$), čo môže súvisieť s relatívne malým rozsahom zvolených frakcií. Grafické porovnania potvrdili, že najnižšie MIT boli zaznamenané pri frakcii 63–90 µm a pri najvyššej dávke prachu.

Výsledky experimentov taktiež potvrdili, že vyššia hmotnostná dávka prispieva k nižšej MIT, čo súvisí s vyššou koncentráciou paliva v oblaku. Fyzikálne vlastnosti prachu, ako je nízka synpá hustota bukového dreva, zabezpečili dlhšie zotrvanie častíc vo vzduchu a tým zlepšili podmienky na vznietenie. Porovnanie s kovovými prachmi (hliník, horčík) ukázalo výrazne vyššiu MIT pre tieto materiály, čo je spôsobené vyššou hustotou a kratším časom zotrvania častíc v horúcej zóne.

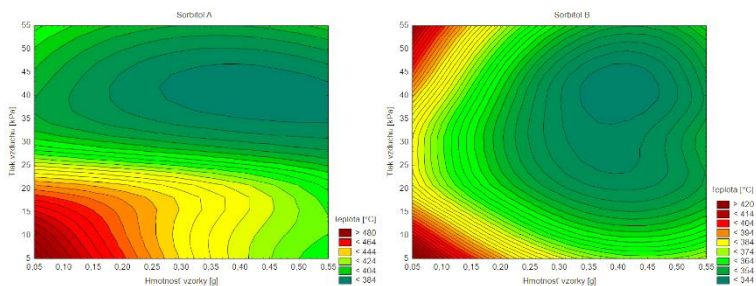
Chemické zloženie bukového prachu, najmä vysoký obsah prchavých látok (okolo 84 %), výrazne prispieva k jeho ľahkej vznietivosti. Vplyv vlhkosti bol zohľadnený teoreticky – jej vyšší podiel zvyšuje MIT, zatiaľ čo suchý prach je považovaný za nebezpečnejší z hľadiska rizika vznietenia.

Záverom možno konštatovať, že úprava zariadenia viedla k výraznému zlepšeniu experimentálnych podmienok a k spoľahlivejšiemu stanoveniu MIT. Nový zásobník umožnil účinnejšie rozptýlenie prachu, čím sa dosiahli konzistentnejšie a reprezentatívnejšie výsledky v súlade s normovanou metodikou.

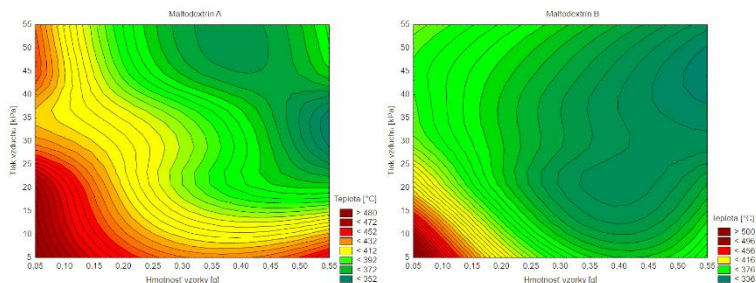
4.2 Vplyv tlaku vzduchu a hmotnosti vzorky na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu

V rámci experimentálnej časti dizertačnej práce bol skúmaný vplyv tlaku vzduchu a hmotnosti vzorky na minimálnu teplotu vznietenia (MIT) rozvíreného prachu v upravenej Godbert–Greenwaldovej peci. Pre testovanie boli použité rôzne hmotnosti prachu ($0,1\text{--}0,5\text{ g} \pm 5\%$) a disperzné tlaky (10, 20, 30 a 50 kPa), pričom merania boli vykonané pre sedem rôznych prachových vzoriek. Výsledky MIT boli zaznamenané ako najnižšia teplota, pri ktorej došlo k zapáleniu prachu, znížená o 20 K na korekciu teplotného rozdielu v peci.

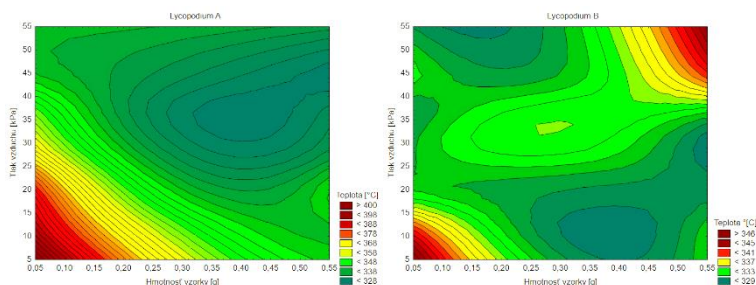
Experimenty ukázali, že so zvyšujúcou sa hmotnosťou prachu dochádza vo všeobecnosti k poklesu MIT, keďže vyššia koncentrácia častíc v oblaku zlepšuje podmienky pre vznietenie. Podobne, zvýšenie tlaku vzduchu viedlo k lepšiemu rozvíreniu prachu, čím sa znížila potrebná teplota na jeho zapálenie. Tieto trendy boli potvrdené aj kontúrovými grafmi predikcie MIT, vytvorenými pomocou softvéru STATISTICA 14. Obrázky nižšie (11–13) zobrazujú niekoľko príkladov.



Obrázok 11 Vplyv tlaku vzduchu a hmotnosti vzorky na teplotu vznietenia rozvíreného prachu sorbitola s pôvodným zásobníkom prachu (A) a s novým kužeľovým zásobníkom prachu (B)



Obrázok 12 Vplyv tlaku vzduchu a hmotnosti vzorky na teplotu vznietenia rozvíreného prachu maltodextrín s pôvodným zásobníkom prachu (A) a s novým kužeľovým zásobníkom prachu (B)



Obrázok 13 Vplyv tlaku vzduchu a hmotnosti vzorky na teplotu vznietenia rozvíreného prachu Lycopodium s pôvodným zásobníkom prachu (A) a s novým kužeľovým zásobníkom prachu (B)

Porovnanie organických a kovových prachov ukázalo významné rozdiely. Organické prachy ako lycopodium, sorbitol, maltodextrín, dextrín či maltitol sa vznietili pri podstatne nižších teplotách (330–420 °C), čo súvisí s vysokým podielom prchavých látok a dobrou dispergovateľnosťou. Lycopodium napríklad dosiahlo MIT už pri 330 °C vďaka extrémne nízkej hustote a malej veľkosti častíc. Naopak, kovové prachy (horčík, hliník) vykazovali výrazne vyššie MIT (430–580 °C), pričom ich zápalnosť bola silne závislá od tlaku a hmotnosti vzorky. Hliník sa pri nižších tlakoch a dávkach vôbec nevznietil, zatiaľ čo horčík sa zapálil už pri 430 °C v optimálnych podmienkach (jemné častice, dobrá disperzia).

Výrazným faktorom ovplyvňujúcim MIT bola geometria zásobníka. Porovnanie pôvodného a kužeľového zásobníka ukázalo, že kužeľový tvar zabezpečil rovnomernejšie rozptýlenie prachu a nižšiu MIT v takmer všetkých prípadoch (o 10–90 °C). Tento efekt bol najvýraznejší pri nízkych dávkach a

tlakoch, kde pôvodný zásobník nezabezpečil dostatočné rozvírenie. V prípade dextrínu sa rozdiely medzi zásobníkmi pohybovali až do 180 °C, čo poukazuje na význam správnej konštrukcie dávkovacieho systému.

Z hľadiska fyzikálnych a chemických vlastností prachu sa ako kľúčové ukázali sytná hustota, veľkosť častíc, obsah prchavých látok a vlhkosť. Prachy s vyššou vlhkosťou alebo hustotou (napr. dextrín) vykazovali vyššie MIT z dôvodu horšej disperzie a nutnosti spotrebovať teplo na odparenie vody. Naopak, suché prachy s malými časticami (napr. maltodextrín, lycopodium) dosahovali nižšiu MIT vďaka efektívnejšiemu ohrevu a zápalu.

Celkové výsledky potvrdzujú, že MIT rozvíreného prachu nie je konštantná hodnota, ale výrazne závisí od experimentálnych podmienok – najmä od tlaku, hmotnosti dávky, fyzikálno-chemických vlastností prachu a geometrie zásobníka. Optimalizáciou týchto parametrov možno výrazne ovplyvniť bezpečnosť technologických procesov a navrhnuť zariadenia s ohľadom na minimalizáciu rizika vznietenia prachových oblakov.

4.3 Vplyv objemu zariadenia na parametre výbuchu

V rámci dizertačnej práce bol analyzovaný vplyv objemu skúšobného zariadenia na výbuchové parametre prachových vzoriek, konkrétne mletej papriky. Merania boli vykonané v dvoch zariadeniach – štandardnej 20-litrovej guľovej komore na Fakulte bezpečnostného inžinierstva VŠB-TU Ostrava a vo väčšej výbuchovej komore KV-150M2 s objemom 365 litrov na MTF STU. V oboch prípadoch boli zisťované maximálny výbuchový tlak ($P_{\max}$) a výbuchová konštanta (K_{st}) pri rôznych koncentráciách vzoriek, pričom každý typ papriky dosahoval maximálne hodnoty pri inej koncentrácii. Tento fakt poukazuje na významnú závislosť výbuchových parametrov od konkrétneho zloženia prachovej vzorky, čo je dôležité z hľadiska preventívnych opatrení v potravinárskom priemysle.

Výsledky ukázali, že v 20 l komore boli dosiahnuté $P_{\max}$ v rozsahu 6,3–6,9 bar a K_{st} v rozsahu 36,9–51,0 bar·m·s⁻¹. V 365 l komore boli zaznamenané o niečo nižšie hodnoty – $P_{\max}$ v rozsahu 5,94–6,38 bar a K_{st} v rozsahu 28,5–38,7 bar·m·s⁻¹. Hoci sa maximálne výbuchové tlaky v oboch zariadeniach líšili len o približne 10 %, rozdiel vo výbuchových konštantách bol až 27 %, čo potvrdzuje výrazný vplyv objemu zariadenia a jeho konštrukcie na priebeh výbuchu.

Rozdiely vo výsledkoch sú spôsobené nielen rozdielnym objemom komôr, ale aj rozdielnym mechanizmom rozvírenia a zapálenia prachu. V 20 l komore

dochádza po aktivácii zapalovača k rovnomernému zapáleniu celého prachového oblaku, čím sa urýchľuje propagácia horenia a zvyšuje rýchlosť nárastu tlaku. V 365 l komore je však horúci zapalovací oblak rozptýlený len v časti komory, a preto sa zvyšná časť prachového oblaku vznieti až následným šírením plameňa. Tento fakt vedie k pomalšiemu nárastu tlaku a nižšej výbuchovej konštante (Spitzer et al., 2021).

Výsledky experimentov taktiež poukázali na vplyv fyzikálnych vlastností prachu, ako sú zhukovanie častíc či lepivosť na steny zariadenia, ktoré môžu ovplyvniť účinnosť rozvírenia. Kým v 20 l komore môže trenie vzorky v tryske rozvírovacieho systému brániť rovnomernej disperzii, v 365 l komore je tento efekt eliminovaný priamym uložením vzorky na rozvírovací tanier.

Na základe získaných údajov možno konštatovať, že výbuchové parametre prachových zmesí sú výrazne ovplyvňované nielen charakterom samotného prachu, ale aj objemom a konštrukciou skúšobného zariadenia, spôsobom rozvírenia a mechanizmom zapálenia. Tieto zistenia podčiarkujú potrebu individuálneho posúdenia výbuchového rizika pre každý typ materiálu a technologický proces.

4.4 Vplyv typu zapalovača na výbuchové parametre

V dizertačnej práci bol skúmaný vplyv rôznych typov zapalovačov na výbuchové parametre a dynamiku horenia rozptýlenej nitrocelulózy. Testované boli komerčný zapalovač Sobbe, nitrocelulóзовý zapalovač, tri pyrotechnické zapalovače (na báze $\text{KNO}_3 + \text{C} + \text{Mg}$ a $\text{KClO}_3 + \text{Mg}$) a dva zapalovače typu exploding wire (s Kanthalovým a volfrámovým drôtom).

Zapalovače sa odlišovali spôsobom horenia, dosahom zapalovacieho oblaku, teplotou a dynamikou vznietenia. Najvyššiu teplotu plameňa dosahoval Sobbeho zapalovač (4500 – 4600 °C), zatiaľ čo nitrocelulóзовý zapalovač mal najnižšiu teplotu (300 – 400 °C). Exploding wire generoval rozžeravené častice kovu, ktoré pôsobili lokálne bez klasického plameňa.

Najrýchlejšie a najintenzívnejšie vznietenie nitrocelulózy bolo pozorované pri použití zapalovača typu 3 ($\text{KClO}_3 + \text{Mg}$), ktorý dosiahol najvyššie hodnoty maximálneho tlaku a výbuchovej konstanty (K_{st}). Tento typ zapalovača vyvolal najkratší čas do vznietenia (o 17 – 24 ms skôr než štandardný zapalovač) a rýchlejšie dosiahol maximálny tlak. Vysoká rýchlosť horenia zmesi a prudké šírenie plameňa spôsobené zapalovacím oblakom prispeli k rýchlej propagácii horenia.

Druhý najrýchlejší priebeh horenia vykazoval štandardný komerčný zapaľovač Sobbe, ktorého hodnoty slúžili ako referenčné. Treťou najrýchlejšou reakciou sa vyznačoval zapaľovač typu 2 (na báze stlačenej nitrocelulózy), ktorý však dosahoval nižšie hodnoty K_{st} a oneskorené časy iniciácie v porovnaní so Sobbeho zapaľovačom.

Pyrotechnický zapaľovač typu 4 ($KNO_3 + C + Mg$) mal najnižšiu rýchlosť horenia zo všetkých testovaných pyrotechnických zmesí, čo sa prejavilo oneskoreným začiatkom horenia a nižšími hodnotami K_{st} . Napriek tomu bol tento typ považovaný za bezpečnejší na manipuláciu.

Zapaľovače typu exploding wire (typ 5 – Kanthal, typ 6 – volfrám) vykazovali najpomalšiu odozvu. Vzhľadom na lokálny charakter zapálenia a malý zapaľovací oblak došlo k postupnému šíreniu plameňa v objeme komory, čo spôsobilo oneskorenie v dosiahnutí inflexného bodu a maximálneho tlaku o desiatky až stovky milisekúnd. Napriek pomalej iniciácii dokázali tieto zapaľovače pri vyšších koncentráciách dosiahnuť relatívne vysoké hodnoty K_{st} .

Výsledky preukázali, že typ zapaľovača má zásadný vplyv na výbuchové parametre nitrocelulózy a dynamiku horenia. Najvýraznejší rozdiel sa pozoroval pri výbuchovej konštante K_{st} , ktorá sa v porovnaní so štandardným zapaľovačom líšila až o ± 50 %. Vhodný výber zapaľovača je preto kľúčovým faktorom pri navrhovaní experimentálnych meraní výbuchových charakteristík a pri posudzovaní rizík v reálnych technologických aplikáciách.

PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

Predkladaná dizertačná práca sa zaoberá vplyvom rôznych neštandardných testovacích podmienok a vlastností vzoriek na vybrané požiaro–technické parametre prachov. V práci sa sleduje nielen ich vplyv, ale aj možnosti optimalizácie testovacích postupov a metodík, aby bolo možné získať charakteristiky a parametre, ktoré sú v lepšom súlade s podmienkami, ktoré sa dosahujú alebo vyskytujú v bežnej priemyselnej praxi.

Prínosom dizertačnej práce v pedagogickom procese je odhalenie nových poznatkov a vplyvov týchto podmienok na výsledné testované charakteristiky. Napriek bežne prijímaným a predpokladaným axiómom, ako je to, že čím je menšia častica, tým má „väčšie“ výbuchové parametre, je možné konštatovať, že takéto tvrdenia nemusia byť absolútne platné. Preto je testovanie požiaro–technických parametrov a výsledky, metódy a postupy dôležitou súčasťou požiarneho inžinierstva alebo teórie výbuchov, ktoré sú súčasťou pedagogického procesu na MTF STU.

Viaceré významné výsledky, ktoré boli pozorované počas riešenia tejto dizertačnej práce boli publikované vo významných časopisoch a na konferenciách. Tieto výsledky sú významné pre presnejšie a optimálnejšie testovanie prachov, čo má v konečnom dôsledku za následok efektívnejšie získavanie výsledkov. V rámci výskumu tak boli na základe riešenia tejto dizertačnej práce vykonané dôležité zmeny testovacích zariadení, ako je zmena rozvírovacej nádoby pre stanovenie MIT rozvíreného prachu, vypracovanie efektívnejšieho postupu pre testovanie, hodnotenie a meranie veľkosti častíc prachových vzoriek, vlhkosti alebo sypnej hustoty či možnosti výberu efektívneho typu zapaľovača. Výsledky riešenia predkladanej dizertačnej práce sú tiež veľkým prínosom pre priemyselnú prax. V laboratóriu je možné testovať vzorky prachov, ale na základe výsledkov tejto práce je možné lepšie prispôbiť podmienky testovania reálnym podmienkam vo výrobe – či už je to presnejším určením MIT rozvíreného prachu, alebo aj presnejším určením výbuchových parametrov ako je výbuchový tlak alebo výbuchová konštanta. Nezískajú sa hodnoty, ktoré sú odtrhnuté od reality, ale hodnoty, ktoré kopírujú podmienky výroby a charakteristiky prachu a tým umožňujú lepšie a efektívnejšie s týmito hodnotami pracovať. Výsledkom je efektívnejšia protivýbuchová prevencia, ktorá správne chráni priemyselnú výrobu a najmä chráni pracovníkov pri ich pracovnej činnosti. Takéto presnejšie a efektívnejšie testovanie má pozitívne ekonomické dôsledky, ktorých výsledkom môže byť významná úspora finančných prostriedkov alebo zlepšenie vplyvov technológií na životné prostredie.

ZÁVER

Vo výrobnom priemysle sú výbuchy rozvírených prachov známe už viac ako storočie. Napriek dlhoročnému úsiliu o ich prevenciu a identifikáciu kľúčových ovplyvňujúcich faktorov zostáva viacero aspektov výbuchového správania prachov nejasných. Testovanie prachov prebieha často podľa zastaraných metód, ktoré môžu generovať výsledky s vysokou mierou neistoty. Preto je potrebné prehodnotiť a inovovať testovacie prístupy tak, aby zodpovedali súčasným technologickým a bezpečnostným požiadavkám.

Dizertačná práca sa zameriava na preskúmanie vplyvu rôznych parametrov na minimálnu teplotu vznietenia (MIT) prachových oblakov. Skúmané boli materiály ako buk, sorbitol, maltodextrín, dextrín, maltitol, lykopódium, hliník a horčík. Ukázalo sa, že tlak vzduchu, hmotnosť vzorky a geometria nádoby majú výrazný vplyv na MIT, pričom rôzne materiály reagujú odlišne v závislosti od ich fyzikálnych vlastností.

Najväčšie rozdiely sa prejavili pri nízkych tlakových úrovniach a malých vzorkách, kde dochádzalo k zhoršenému rozvíreniu a vyšším hodnotám MIT. Naopak, optimalizácia týchto parametrov viedla k výraznému zníženiu MIT, najmä pri použití kónickej nádoby, ktorá zabezpečila lepšiu homogenitu oblaku. Organické prachy sa vznietili pri nižších teplotách ako kovové, pričom lykopódium vykazovalo najnižšiu hodnotu MIT. Kovové prachy, najmä hliník, si vyžadovali vysoké teploty vznietenia a boli veľmi citlivé na rozptyl a geometriu nádoby.

Pri výbuchových parametroch ako P_{max} a K_{st} sa preukázalo, že rozdiely v zložení aj metóde zapálenia výrazne ovplyvňujú výsledky. Napríklad rôzne typy korenín dosahovali rôzne maximá v závislosti od koncentrácie, a zapalovače mali zásadný vplyv na dynamiku výbuchu. Ukázalo sa, že pyrotechnické zapalovače generujú vyššie hodnoty K_{st} než napr. exploding wire.

Záverom možno konštatovať, že výbušné vlastnosti prachov nemožno hodnotiť izolovane len na základe ich typu. Výsledky testovania závisia od viacerých vonkajších a vnútorných podmienok, ktoré musia byť pri návrhu bezpečnostných opatrení zohľadnené. Táto práca potvrdzuje potrebu aktualizácie skúšobných metód, vývoja nových testovacích zariadení a zohľadnenia typovej podobnosti prachov pri hodnotení rizika. Výsledkom je presnejšie a spoľahlivejšie stanovenie bezpečnostných parametrov, ktoré podporuje účinnú protivýbuchovú prevenciu v priemyselnej praxi.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

ČSN EN ISO 21660-3:2021. Tuhá alternatívni paliva - Stanovení obsahu vody metodou sušení v sušárně - Část 3: Voda v analytickém vzorku pro obecný rozbor. Praha: Český normalizační inštitút, 2021.

Eckhoff, R. K. (2016). Explosion Hazards in the Process Industries. Explosion Hazards in the Process Industries, 1–559. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03887-7>

EN 14775:2009. Pevné biopalivá – Stanovenie obsahu popola. Brusel: CEN, 2009.

EN 933-1:2012. Skúšky na stanovenie geometrických charakteristík kameniva – Časť 1: Stanovenie zrnitosti – Sitový rozbor. Brusel: CEN, 2012

Khan, F. I., a Abbasi, S. A. (1999). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(5), 361–378. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(98\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(98)00062-X)

Li, Q., Wang, K., Zheng, Y., Ruan, M., Mei, X., a Lin, B. (2016). Experimental research of particle size and size dispersity on the explosibility characteristics of coal dust. *Powder Technology*, 292, 290–297. <https://doi.org/10.1016/J.POWTEC.2016.01.035>

Mannan, S. (2013). Lees' Process Safety Essentials: Hazard Identification, Assessment and Control. *Lees' Process Safety Essentials: Hazard Identification, Assessment and Control*, 1–547. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20231-5>

Spitzer, S., Askar, E., Krietsch, A., a Schröder, V. (2021). Comparative study on standardized ignition sources used for explosion testing. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 71, 104516. <https://doi.org/10.1016/J.JLP.2021.104516>

STN 49 0103:1979. Drevo – Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 1979.

STN EN 14034:2004+A1:2011. Stanovenie vlastností zvráteného prachu pri výbuchu.

STN EN 50281-2-1- Elektrické zariadenia do priestorov s horľavým prachom. Časť 2-1: Skúšobné metódy. Metódy na stanovenie minimálnych teplôt vznietenia prachu. Norma vydaná dňa 1. 6. 2002.

STN EN ISO 23145-1:2016. Jemná keramika (pokročilá keramika, pokročilá technická keramika) – Určovanie sypnej hustoty keramických práškov – Časť 1: Hustota po zhutnení (ISO 23145-1:2007). Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 2016.

STN EN ISO/IEC 80079-20-2/AC – Výbušné atmosféry. Časť 20-2: Vlastnosti materiálov – Skúšobné metódy

5 ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

- ADC01 KOSÁR, László [25 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [30 %] - KURACINA, Richard [30 %] - SPITZER, Stefan H. [5 %] - MYNARZ, Miroslav [5 %] - BOHDAN, Filipi [5 %]. Study of the Safety Characteristics of Different Types of Pepper Powder (*Capsicum L.*). In *Fire*. Vol. 7, iss. 7 (2024), s. 1-14. ISSN 2571-6255 (2023: 3 - IF, Q1 - JCR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/fire7070229 ; SCOPUS: 2-s2.0-85199868104 ; WOS: 001278506400001 ; CC: 001278506400001. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADC
- ADC02 KURACINA, Richard [35 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [35 %] - KOSÁR, László [15 %] - SAHUL, Martin [15 %]. Study into influence of different types of igniters on the explosion parameters of dispersed nitrocellulose powder. In *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 83, (2023), s. 1-13. ISSN 0950-4230 (2023: 3.6 - IF, Q2 - JCR Best Q). V databáze: DOI: 10.1016/j.jlp.2023.105017 ; SCOPUS: 2-s2.0-85149361849 ; WOS: 000952135000001 ; CC: 000952135000001. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADC
- ADC03 KURACINA, Richard [15 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [15 %] - BURANSKÁ, Eva [40 %] - KOSÁR, László [5 %] - RANTUCH, Peter [5 %] - BLINOVÁ, Lenka [5 %] - MĚŘINSKÁ, Dagmar [5 %] - GOGOLA, Peter [5 %] - JURINA, František [5 %]. Study into the Fire and Explosion Characteristics of Polymer Powders Used in Engineering Production Technologies. In *Polymers*. Vol. 15, iss. 21 (2023), s. 1-19. ISSN 2073-4360 (2023: 4.7 - IF, Q1 - JCR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/polym15214203 ; SCOPUS: 2-s2.0-85176499515 ; WOS: 001121067000001 ; CC: 001121067000001. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADC
- ADC04 SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [30 %] - KURACINA, Richard [30 %] - SAHUL, Martin [25 %] - MYNARZ, Miroslav [5 %] - LEPIK, Petr [5 %] - KOSÁR, László [5 %]. Influence of the Pyrotechnic Igniter Composition Aging on Explosion Parameters of Dispersed Dusts. In *Applied Sciences*. Vol. 11, iss. 22 (2021), s. 1-11. ISSN 2076-3417 (2021: 2.838 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.507 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/app112210728 ;

SCOPUS: 2-s2.0-85119273660 ; WOS: 000727337800001 ; CC: 000727337800001.

Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADC

ADE Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch

- ADE01 KOSÁR, László [30 %] - KURACINA, Richard [30 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [30 %] - KOBETIČOVÁ, Hana [10 %]. Determination of the minimum ignition temperature of ground sweet pepper produced by the food industry. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava: Řada bezpečnostní inženýrství*. Vol. 18, iss. 1 (2023), s. 14-20. ISSN 1801-1764 (P) (2023). V databáze: DOI: 10.35182/tses-2023-0002. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADE

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

- AFD01 KOSÁR, László [25 %] - HOLEC, Adam [25 %] - KURACINA, Richard [25 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [25 %]. Hodnotenie vplyvu veľkosti častíc kyseliny acetylsalicylovej na požiarotechnické charakteristiky. In *Pokrok v požiarom a bezpečnostnom inžinierstve 2023 : recenzovaný zborník pôvodných vedeckých prác z XII. ročníka medzinárodnej vedeckej konferencie , 19. - 20. 10. 2023, Trnava*. Trnava : AlumniPress, 2023, S. 122-130. ISBN 978-80-8096-300-2. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- AFD02 KOSÁR, László [40 %] - KURACINA, Richard [30 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [30 %]. Study of Minimum Ignition Temperature of Beech Wood Dust Clouds Using Different Types of Dispersers. In *Wood & Fire Safety 2024 : 10th International Scientific Conference on Wood & Fire Safety 2024, 12-15 May 2024, Štrbské Pleso, Slovakia*. 1. vyd. Cham : Springer Nature, 2024, S. 241-248. ISBN 978-3-031-59176-1. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-031-59177-8_28 ; WOS: 001274239000028. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- AFD03 KURACINA, Richard [35 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [35 %] - KOSÁR, László [30 %]. Štúdium vplyvu veľkosti častíc múky na teplotu vznietenia rozvíreného prachu. In *Advances in Fire & Safety Engineering 2021 : 10. medzinárodná vedecká konferencia, 21. október 2021, Zvolen, SR*. 1. vyd. Zvolen :

Technická univerzita, 2021, S. 56-64. ISBN 978-80-228-3284-7.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

AFD04 KURACINA, Richard [33,33 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [33,33 %] - KOSÁR, László [33,33 %]. Výskum a meranie výbuchových parametrov rozvírených prachov na Slovensku. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce : XXXV. medzinárodná konferencia, 09. - 11.11.2022, Štrbské Pleso, SR*. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2022, S. 67-74. ISBN 978-80-553-4172-9.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

AFD05 KURACINA, Richard [40 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [40 %] - KOSÁR, László [10 %] - BURANSKÁ, Eva [10 %]. Určenie horľavosti prachu modifikovanou Hartmannovou trubicou. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce : XXXVI. medzinárodná konferencia, 13. - 15. 11. 2023, Štrbské Pleso, Vysoké Tatry, SR*. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2023, S. 31-35. ISBN 978-80-553-4442-3.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

AFD06 KURACINA, Richard [45 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [45 %] - KOSÁR, László [10 %]. Study of Resistivity of Beech Wood Dust Depending on Particle Size. In *Wood & Fire Safety 2024 : 10th International Scientific Conference on Wood & Fire Safety 2024, 12-15 May 2024, Štrbské Pleso, Slovakia*. 1. vyd. Cham : Springer Nature, 2024, S. 233-240. ISBN 978-3-031-59176-1. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-031-59177-8_27 ; WOS: 001274239000027.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

AFD07 KURACINA, Richard [25 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [25 %] - KOSÁR, László [25 %] - BURANSKÁ, Eva [25 %]. Vplyv prítomnosti vzduchu a jeho pohybu na rezistivitu prachových vzoriek. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce a prevencia závažných havárií [Zborník príspevkov] : XXXVII. medzinárodná konferencia, 13. - 15.11.2024, Štrbské Pleso, Vysoké Tatry, SR*. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2024, S. 60-66. ISBN 978-80-553-4726-4.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

- AFD08 SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [25 %] - KURACINA, Richard [25 %] - KOSÁR, László [25 %] - ŠKVARKA, Marián [25 %]. Štúdium vplyvu zapaľovača na dynamiku výbuchu rozvíreného prachu. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce : XXXV. medzinárodná konferencia, 09. - 11.11.2022, Štrbské Pleso, SR*. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2022, S. 146-153. ISBN 978-80-553-4172-9.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- AFD09 SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [40 %] - KURACINA, Richard [40 %] - BURANSKÁ, Eva [10 %] - KOSÁR, László [10 %]. Požiarnotechnické parametre horľavých prachov a ich význam pre prax. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce : XXXVI. medzinárodná konferencia, 13. - 15. 11. 2023, Štrbské Pleso, Vysoké Tatry, SR*. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2023, S. 102-109. ISBN 978-80-553-4442-3.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- AFD10 SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [45 %] - KURACINA, Richard [45 %] - KOSÁR, László [10 %]. Explosion Parameters of Cellulose Based Materials. In *Wood & Fire Safety 2024 : 10th International Scientific Conference on Wood & Fire Safety 2024, 12-15 May 2024, Štrbské Pleso, Slovakia*. 1. vyd. Cham : Springer Nature, 2024, S. 257-262. ISBN 978-3-031-59176-1. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-031-59177-8_30 ; WOS: 001274239000030.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- AFD11 SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [34 %] - KURACINA, Richard [33 %] - KOSÁR, László [33 %]. Štúdium výbušnosti plynov, prachov a hybridných zmesí. In *Advances in Fire & Safety Engineering 2024 : Recenzovaný zborník pôvodných vedeckých prác z XIII. ročníka medzinárodnej vedeckej konferencie Advances in Fire and Safety Engineering, 14. - 15. október 2024, Zvolen, SR*. 1. vyd. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2024, S. 219-225. ISBN 978-80-228-3443-8.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- AFD12 SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [20 %] - KURACINA, Richard [20 %] - KOSÁR, László [20 %] - BURANSKÁ, Eva [20 %] - WEINMANN, N. [20 %]. Skúšobné laboratórium protivýbuchovej prevencie - prehľad metód pre stanovenie požiarnych a výbuchových parametrov prachu. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce a prevencia*

závažných havárií [Zborník príspevkov] : XXXVII. medzinárodná konferencia, 13. - 15.11.2024, Štrbské Pleso, Vysoké Tatry, SR. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2024, s. 129-136. ISBN 978-80-553-4726-4.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

BDF Odborné práce v ostatných domácich časopisoch

BDF01 KURACINA, Richard [34 %] - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] [33 %] - KOSÁR, László [33 %]. Výskum a meranie výbuchových parametrov rozvírených prachov. In *Strojárstvo - Strojírenství*. Roč. 28, č. 5 (2024), s. 52-54. ISSN 1335-2938. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BDF

BEE Odborné práce v zahraničných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)

BEE01 KURACINA, Richard - SZABOVÁ, Zuzana [Turňová, Zuzana] - KOSÁR, László. Explosion parameters of air dispersed nitrocellulose ignited by exploding wire. In *NTREM '23 : Proceedings of the 25th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials, 19. - 21. 04. 2023, Pardubice*. 1. vyd. Pardubice : University of Pardubice, 2023, S. 373-381. ISBN 978-80-7560-459-0 (print). Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: BEE

Štatistika podľa kategórie publikačnej činnosti do roku 2021

ADC	Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch	4
ADE	Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch	1
AFD	Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách	12
BDF	Odborné práce v domácich zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)	1
BEE	Odborné práce v zahraničných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)	1
Súčet		19