Vplyv granulometrického zloženia prachu cumaru na riziko iniciácie

Miroslava VANDLÍČKOVÁ, lveta MARKOVÁ^{*}, Stanislava GAŠPERCOVÁ, Katarína HOLLÁ

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostního inžinierstva,ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, e-mail: miroslava.vandlickova@fbi.uniza.sk, iveta. markova@uniza.sk, stanislava.gaspercova@fbi.uniza.sk, katarina.holla@fbi.uniza.sk * korespondenční autor

Súhrn

Príspevok sa zaoberá analýzou granulomertickej skladby frakcií drevného brúsneho prachu cumaru (Dipteryx odorata) pripraveného pomocou ručnej vibračnej brúsky Makita 9556CR 1400W, sandpaper. Za účelom selektovania percentuálnych podielov jednotlivých frakcií (<63; 63; 71; 200; 315; 500 μm) vzoriek drevného prachu sa vzorky sitovali na automatickom vibračnom sitovacom stroji Retsch AS 200 control. Tento typ exotickej dreviny bol vybraný s ohľadom na jeho využitie pri výrobe podlahových krytín, nábytku a interiérových dekoratívnych predmetov.

Cieľom článku je prezentácia granulometrického zloženia prachu cumary a sledovanie vplyvu frakcií na správanie sa prachu pri jeho tepelnom zaťažení.

Výsledky ukazujú rozdielne správanie pri termickej degradácií jednotlivých frakcií počas ich tepelného zaťaženia. Teplota vznietenia rozvíreného prachu bola stanovená na 410 °C pre frakciu 500 µm a so zmenou veľkosti častíc sa znížila na 370 °C (frakcia 71 µm). Výsledky ukazujú rozdielne správanie pri termickej degradácií jednotlivých frakcií počas ich tepelného zaťaženia. Dôsledok zníženia teploty iniciácie je v zmene rozmerov a plochy prachových častíc. So zmenšujúcim sa rozmerom drevných prachových častíc narastá riziko tvorby výbušnej prachovzdušnej zmesi v pracovnom prostredí a klesá hodnota minimálnej teploty vznietenia.

Riziko iniciácie bolo sledované aj metodou termickej analýzy (TGA – termogravimetrická analýza), kde sa potvrdil dvojstupňový termický rozklad dreva. Prvé zmeny (sušenie) nastávajú pri 67 °C, maximálnu rýchlosť rozkladu sledujeme pri 329 °C a v druhom stupni pri 447 °C.

Kľúčové slová: cumaru, drevný prach, teplota iniciácie

Úvod

Prach je definovaný ako malé pevné častice v atmosfére, ktoré sa usadzujú vlastnou váhou, ale ktoré môžu zostať rozprášené/rozvírené vo vzduchu nejaký čas^{1,2}. Pod pojem prach je vo všeobecnosti možné zahrnúť rozomleté pevné látky označované ako púder, múčka, prášok, úlomky vlákien apod.³. Drevný prach, ako vedľajší produkt pri spracovaní dreva ^{4,5,6,7,8,9}, zohráva negatívnu úlohu pri posudzovaní nebezpečenstva vzniku požiaru ^{10,11} alebo výbuchu ^{12,13,14,15,16}. Ďalším významným, ale nežiadúcim efektom je vplyv drevného prachu na ľudský organizmus ^{3,17}.

Negatívny účinok drevného prachu je ovplyvnený veľkosťou častíc. Frakcie s väčšou veľkosťou majú tendenciu sa usádzať ^{16,18,19}. Početnosť mikrofrakcií (<100 µm) evokuje vznik rozvírenej formy prachu. Vo výrobnom procese vznikajú takmer výlučne prachy polydisperzné, obsahujúce častice rôznych veľkostí ^{4,20}. Granulometrickou analýzou sa zisťuje stupeň rozdrvenia základného materiálu, ktorý je jednou z charakteristických schopností prachu vytvárať disperznú sústavu ²¹. Sitovaním je vytváraný súbor častíc do jednotlivých veľkostných intervalov, odkiaľ sa potom príslušným postupom odvodí kumulatívna krivka zrnitosti ²².

Prach sa vyskytuje v pracovnom prostredí vo forme ako usadený (aerogel) a rozvírený (aerosól). Uvedené formy môžu ľahko meniť stav z usadeného na rozvírený (napr. vibráciami, otrasmi alebo prúdom vzduchu)^{3, 23}. Požiarne nebezpečenstvo drevného prachu závisí od jeho formy. Usadený drevný prach má sklon k samovznieteniu a bezplameňovému horeniu (tleniu). Bezplameňové horenie (tlenie) je nebezpečné kvôli produkcii veľkého množstva splodín horenia, predovšetkým oxidu uhoľnatého.

Nebezpečnejšou formou z hľadiska protipožiarnej bezpečnosti je rozvírený prach, ktorý je zdrojom rizika explózie ^{23, 24}. Horľavý prach v rozvírenom stave je schopný prudko oxidačne reagovať a táto reakcia má charakter výbuchu a za určitých podmienok môže tento dej prejsť až do detonácie ^{3,20}. Kľúčový parameter hodnotiaci nebezpečenstvo vzniku iniciácie rozvíreného prachu je teplota vznietenia. Sleduje sa v predpísanom skúšobnom zariadení (v peci) podľa EN 50281-2-1: 2002 ², kde je rozvírená vzorka drevného prachu vystavená pôsobeniu sálavého tepla. Teplota vznietenia rozvíreného prachu je najnižšia teplota horúcej vnútornej strany pece, pri ktorej dôjde k vznieteniu rozvíreného prachu vo vzduchu vnútri tejto pece ³.

Cumaru (*Dipteryx odorata*) patrí do skupiny amazonských drevín ^{25,26} a používa sa pri výrobe podlahových krytín, nábytku a interiérových dekoratívnych predmetov ^{27,28}. Drevo tohoto stromu má netradičnú červenooranžovú farbu a zaujímavú kresbu ^{29,30,31}. V porovnaní s európskym drevom sú tropické dreviny tvarovo stálejšie z dôvodu rastu vo vyššej relatívnej vlhkosti vzduchu a v stálejších klimatických podmienkach. Tropické dreviny sú viac homogénne (nie je taký výrazný rozdiel medzi letným a jarným drevom) než európske dreviny ^{32,33}. Tropické drevo má vyššiu hustotu a vyššiu tvrdosť, a preto sú menej náchylné na opotrebovanie ^{34,35}. Tropické dreviny majú vyššiu životnosť a sú vhodné aj pre umiestnenie do vlhkého prostredia. Preto sa tropické drevo často využíva do exteriérov napr. ako drevená podlaha na terasy, stoly, stoličky, obklady bazénov a podobne ³⁵. Zvýšená odolnosť proti poveternosti ho predurčuje na použitie ako fasádneho obkladu drevených stavieb ^{36,37}. V súčasnosti sa exotické dreviny čoraz častejšie spracovávajú v našich podmienkach a to prináša tvorbu ich drevného prachu. O parametroch posudzujúcich riziko vznietenia cumaru dreva a jeho prachu je málo poznatky.

Tropická drevina cumaru je v centre pozornosti ^{38,39,40,41}. Soriano a kol. ⁴² stanovil hustotu cumaru v rozpätí 1060 – 1070 kg.m⁻³. Cumaru (*Dipteryx odorata*) patrí do skupiny tvrdých drevín.

Cieľom príspevku je analýza drevného prachu Cumaru (*Dipteryx odorata*) prostredníctvom granulomertickej sitovej analýzy, identifikácia morfologickej štruktúry a stanovenie vybraných fyzikálnych vlastností. Jednou z experimentálne skúmaných charakteristík hodnotiacich požiarne riziko drevných prachov bola aj teplota vznietenia, ktorá bola stanovená pre rôzne frakcie drevného prachu cumaru. Zároveň je cieľom príspevku sledovať vplyv veľkosti častíc rozvíreného prachu na zmenu minimálnych teplôt vznietenia.

Metodika a materiály

Výskum zvolených parametrov cumaru vyplýva z požiadaviek slovenských spracovateľov, ktorí zaradili uvedenú drevinu do ponuky predávaného tovaru a dochádza k spracovaniu a úprave uvedenej dreviny v našich prevádzkach.

Východiskový tvar vzoriek Cumaru (*Dipteryx odorata*) (Obrázok 1) boli hranoly o rozmeroch 152 mm (dĺžka) x 38 mm (šírka) x 38 mm (výška). Vzorky boli vysušené na vlhkosť cca 8 ÷ 10 % a pripravené v drevárskej dielni súkromnej firmy, ktorá vyrába interiérové prvky.



Obrázok 1: Vzorka Cumaru (Dipteryx odorata)

Brúsené boli vzorky cumaru (*Dipteryx odorata*) (Obrázok 2) pomocou ručnej kotúčovej brúsky Makita 9556CR 1400W, brúsny papier K36, pričom vznikal drevný prach. Vzorky pripravoval skúsený odborník na brúsenie, aby sa proces brúsenia, čo sa týka prítlaku brúsiaceho prostriedku na povrch dielca, rýchlosti brúsenia ako aj smeru brúsenia (krížové), čo najviac priblížil realite. Nabrúsený prach bol zbieraný do zásobníka na kotúčovej brúske, odkiaľ bol následne presypaný do sklenenej hermeticky uzavretej nádoby, aby sa nezvyšovala vlhkosť získaného prachu. Po každom brúsení bol zásobník vyčistený a brúsenie sa opakovalo 3x. Z každej dreviny bol získaný prach o hmotnosti 300 g ako základ pre granulometrickú analýzu.



Obrázok 2: Pripravený experimentálny materiál - drevný prach cumaru

Fyzikálne vlastnosti drevných prachov a sitová analýza

Vlhkosť vzoriek drevného prachu bola stanovená gravimetricky a sypná hustota drevných prachov bola stanovená podľa ISO 23145-1⁴³ (Tabuľka 1). Vzorky boli vystavené prostrediu približnému stolárskej dielni, aby sa dosiahli čo najreálnejšie výsledky. Toto prostredie predstavovalo uzatvorený priestor s teplotou 22 °C, tlakom prostredia 91 870 Pa a relatívnou vlhkosťou miestnosti 39 %.Následne boli vzorky prachov umiestnené do sklenených hermeticky uzavretých nádob a boli prenesené na testovanie vlhkosti váhovou metódou. Testovanie vlhkosti bolo vykonané podľa EN 13183-1⁴⁴.

Sitová analýza bola vykonaná na sitovacom stroji Retsch AS 200 podľa ISO 3310-1:2007-03 ⁴⁵. Vrecko sa po každej drevine vyčistilo použitím priemyselného vysávača. Na základe sitovej analýzy boli jednotlivé druhy drevných prachov rozdelené do šiestich frakcií (500 μ m, 315 μ m, 200 μ m, 100 μ m, 71 μ m, 63 μ m a < 63 μ m). Sitá boli odvážené spolu s navážkou drevného prachu na laboratórnych váhach s presnosťou váženia 0,001 g. Postup merania bol vykonaný s hmotnosťou navážky 30 g v 5 meraniach, po dobu 10 minút.

Určenie tvaru a veľkosti častíc drevných prachov

Stavba dreva môže byť pozorovaná na makroskopickej a mikroskopickej úrovni ⁴⁶. Určenie tvaru a veľkosti častíc drevných prachov bolo realizované mikroskopickou analýzou mikroskopom Nikon Eclipse Ni s kamerou Nikon DS-Fi2. Štruktúra drevných prachov bola sledovaná pod stereomikroskopom Nikon SMZ 1270. Stereomikroskop Nikon SMZ sa používa na pozorovanie trojrozmerných mikroskopických predmetov. Mikroskopické analýzy drevných prachov boli scenované pre frakciu 100 µm.

Stanovenie teploty vznietenia rozvírených prachov

Experimenty boli realizované v skúšobnom zariadení na meranie minimálnych teplôt vznietenia rozvírených prachov, ktoré bolo doplnené automatickými váhami HL 100, ZU, kompresorom na stlačený vzduch EINHELL a zariadením ALMEMO na meranie teploty vo vnútri experimentálneho zariadenia. Postup merania sa realizoval podľa STN EN 50281-2-1². Podrobný popis experimentu a fotodokumentácia je v príspevku Vandličkovej a kol.⁴⁷.

Brúsenie, sitová a gravimetrická analýza a stanovenie teplôt vznietenia sa realizovali v Požiarnochemickom laboratóriu na Katedre požiarneho inžinierstva Fakulty bezpečnostného inžinierstva v Žiline.

Realizácia termogravimetrickej analýzy (TGA)

Termogravimetrická analýzy (TGA) je rýchly spôsob odhadu zmeny lignocelulózového materiálu pri tepelnej degradácii v laboratórnych podmienkach ⁴⁸. Dosiahnuté TG krivky ukazujú vzťah medzi rastom alebo poklesom hmotnosti na teplote. Tepelnou analýzou sa sleduje rýchlosť degradácie, úbytok hmotnosti, zmena teploty rozkladu, zmeny v exotermických a endotermických efektoch atď. Vodorovné časti TG, DTG krivky, sa vyznačujú konštantnou hmotnosťou a strmosť charakterizuje rýchlosť zmeny hmotnosti a prechod maximálneho bodu (dm/dt max)⁴⁹. TG analýza bola uskutočnená na prístroji METTLER STARe SW 9.01, vyhodnocovaná príslušným softwarom na Fakulte bezpečnostního inženýrství TU-VŠB v Ostrave. Z experimentálnych meraní boli získané TG, DTG krivky, ktoré sú prezentované v nasledovných častiach. Úbytok na hmotnosti bol udávaný v percentách z pôvodnej hmotnosti vzorky.

Výsledky a diskusia

Výsledky stanovenia fyzikálnych parametrov prachov cumaru

Príprava vzoriek bola spojená so základným testovaním, a to stanovením hustoty vzoriek dreva (Tabuľka 1) a sypnej hustoty drevného prachu cumaru. Dezintegrácia drevnej hmoty na prach nemení elementárne chemické zloženie ⁵⁰, ale mení pomer veľkosti povrchu k objemu dezintegrovanej častice (príklad Obrázok 1 a Obrázok 2) ako aj hustotu (Tabuľka 1).

Tabuľka 1: Gravimetrické stanovenie huste	ty vzoriek a sypne	ej hustoty drevnýci	h prachov
---	--------------------	---------------------	-----------

Prach Hustota vzoriek [kg.m ⁻³]		Priemerná sypná hustota [kg.m ⁻³]	Vlhkosť [%]
Cumaru	1075,69±12,25	190,30±2,46	5.93±0.05

Výsledky sitovej analýzy

Percentuálne podiely frakcií prachu cumaru (Tabuľka 2) sú prezentované od frakcie 500 µm, keďže vyššie podiely sa pohybovali okolo 1 % u všetkých vzoriek (Obrázok 2), čo je v zhode s výsledkami domácich drevín ^{22,51}.

Vzorko	Vzerka % podiel frakcií vzoriek drevných prachov							
VZUIKa	500 μm	315 μm	200 µm	100 μm	71µm	63 µm	< 63 µm	
Cumaru	1,15	2,78	26,92	36,37	21,14	6,07	5,18	
prach	±0,07	±0,75	±0,78	±1,20	±0,87	±0,59	±0,49	

Tabuľka 2:	Vyhodnotenie %	podielov frakcií	prachu cumaru
------------	----------------	------------------	---------------



Obrázok 2: Kumulatívna krivka prachu Cumaru

Výsledky stanovenia tvaru, veľkosti častíc a mikroskopická analýza prachových častíc Cumaru

Prach je rozdrvená (disperzná) pevná látka a so vzduchom tvorí disperzný systém. Disperzia prachu, tj. veľkosť jeho častíc, sa stanoví sitovou analýzou (granulometricky), ktorá stanoví percentá častíc určitého rozmeru ^{8,9,22}. Cieľom všetkých techník pre určenie veľkosti častíc je poskytnúť jednoduché číslo, ktoré udáva veľkosť častíc. Avšak častice sú trojrozmerné objekty, pre ktoré sa vyžadujú najmenej 3 parametre (dĺžka, šírka a výška) za účelom poskytnutia kompletného opisu. Rozmer častice je daný najdlhšou hranou *d* pravouhlého rovnobežníka opísaného okolo častice, dĺžka *d* je najväčší rozmer, hrúbka je najmenší rozmer, šírka je medziľahlý rozmer ⁵²

Pozorovaný 3D tvar vybraných drevných prachov cumaru (Obrázok 3) pod stereomikroskopom Nikon SMZ 127 bol realizovaný priblížením 0,63 zoom (čo predstavuje 27,72x násobné zväčšenie) 1, 2 a 3 zoom (čo predstavuje 44x, 88x a 132x zväčšenie sledovaného objektu) na uvedenom stereomikroskope. Tvar a štruktúra drevných prachov bola pozorovaná pri všetkých určených veľkostných frakciách.

Účelom analýz je ukázať rozmanitosť tvaru u jednotlivých frakcií. Pre každú frakciu je vybraná séria scenov. Prvá štvorica je monovrstva prachu, zväčšená 0,63; 1; 2 a 3 zoom. Druhá štvorica je 1mm súvislá vrstva prachu pod mikroskopom, opäť zväčšená 0,63; 1; 2 a 3 zoom. Samozrejme, čím menšia frakcia, tým bola príprava monovrstvy väčší problém. Monovrstva frakcie pod 100 μm už nie je čistá (Obrázok 3). Forma častíc sa s veľkosťou mení. Frakcie 500, 315 a 200 μm sú vláknité, skučeravené, článkovité. Frakcia pod 100 μm vytvára zhluky a tvar je ťažko identifikovateľný.

Vizualizácia ukazuje rozdielnosť tvaru a plochy frakcií. Uvedená skutočnosť sa potvrdila aj na zmene hodnoty minimálnej iniciačnej teploty vznitenia rozvíreného cumaru prachu (Tabuľka 3).



Obrázok 3: Scany Cumaru prachu pre frakcie 500, 315, 200 a 100 μm so zväčšením 0.63, 1, 2 a 3 zoom

Skúmané vzorky drevného prachu Cumaru si zachovávajú svoju anatomickú štruktúru. Identifikované častice drevných prachov vzorky Cumaru (Obrázok 4) sú vo veľkostnej frakcii <100 µm. Tvar veľkosti častíc drevných prachov je možné sledovať prostredníctvom mikroskopickej analýzy. Scany ukazujú tvar prachových častíc so zachovaním anatomickej štruktúry ^{46,53}.



Cumaru-100x

Cumaru - 200x

Cumaru - 400x

Obrázok 4: Mikroskopické častice drevného prachu Cumaru Legenda: modrá línia prezentuje veľkosť 100 µm v 2D rozložení

Wang a kol. ⁴¹ sledoval mikroskopické zloženie cumaru s hustotou 941 kg·m⁻³. Vláknové bunky cumaru mali husté bunkové steny, takmer žiadne bunkové lúmeny a hrúbka bunkovej steny vlákien cumaru a taun bola 6,80 a 2,82 µm.

Výsledky stanovenia teploty vznietenia rozvíreného prachu

Je možné konštatovať, že vznietenie drevných prachov v rozvírenom stave má špecifický priebeh ⁵⁴, ktorý môžeme charakterizovať v nasledujúcich fázach:

- 1. Iniciácia výbuchu vo výhrevnej peci po rozprášení prachu,
- 2. čiastočný prepad nespáleného drevného prachu a vznik splodín horenia,
- 3. vznietenie drevného prachu s najintenzívnejším plameňom,
- 4. dohorievanie prachovej zmesi s miernym iskrením a pomalým ústupom vznietenia,
- 5. vyhorenie prachovej zmesi nachádzajúcej sa vo výhrevnej trubici.

Prezentácia maximálneho plameňa bola urobená pre frakcie 500 µm, 315 µm a 71µm. Intenzita plameňa sa menila - rástla so zmenšujúcimi sa veľkosťami častíc. Explózia väčších častíc drevného prachu bola s menšou intenzitou plameňa (Obrázok 5). Podmienky vo výhrevnej peci boli nasledovné: navážka 0,2 g prachu, privádzaný tlak vzduchu 30 kPa, teplota pece 500 °C.



Obrázok 5: Vyšlahnutie plameňa pri vznietení

Výsledky jednotlivých minimálnych teplôt vznietenia vzoriek drevného prachu Cumaru je možné vidieť v tabuľke 3, kde so zmenou veľkosti častice prachu dochádzalo k zmene minimálnej teploty vznietenia.

Tabuľka 3: Stanovenie teploty vznietenia jednotlivých frakcií drevného prachu Cumaru

Frakcie (µm)	500	315	200	100	71	63	< 63
Teplota vznietenia (°C)	410	400	380	380	370	370	370

Pri najväčšej veľkostnej frakcii 500 µm začala minimálna teplota vznietenia na hodnote 410 °C, ktorá sa následne so zmenou veľkosti častíc priamoúmerne znižovala (Obrázok 6). Najvýraznejšia zmena minimálnej teploty v závislosti od veľkosti častíc sa pohybuje od veľkosti pod 200 µm. Najvýraznejší vplyv na zmenu minimálnej teploty majú najjemnejšie častice, konkrétne 71 µm a menej.



Obrázok 6: Vplyv veľkosti častíc vzorky Cumaru na minimálnu teplotu vznietenia

Posudzovanie rizika výbuchu rozvíreného drevného prachu na základe teploty vznietenia je všeobecne uplatňované a akceptované. Ale je potrebné brať do úvahy aj ostatné faktory, ktoré môžu mať významný vplyv na teplotu vznietenia ^{9,12,15,16}.

Výsledky termickej analýzy

Termogravimetria meria hmotnosti vzorky ako funkciu jej teploty pri plynulom ohreve vzorky. Ohrev je z 20 °C na 1000 °C s rýchlosťou ohrevu 10 °C.min⁻¹. Získané údaje (Tabuľka 4) sa zaznamenávajú ako tepelná závislosť straty hmotnosti v dôsledku termickej degradácie vzoriek a štúdiom tohto grafu (Obrázok 7) sa získavajú hlavné parametre, čiže teplota, pri ktorej začínajú degradačné reakcie T_p; maximálna teplota úbytku hmotnosti T_{pmax}, čo predstavuje výťažok prchavých látok z procesu pyrolýzy, a úbytok hmotnosti Δm , zodpovedajúci vzorke tepelne degradovanej ³. C_{rezist} predstavuje percentuálny zostatok vzorky počas daného termického procesu (Tabuľka 4). Analyzovala sa vzorka celej zmesi. Analýza bola robená před sitovaní na jednotlivé frakcie.

Jones a kol. ⁵⁵ realizoval súbor experimentov za účelom hodnotenia rizika vzniku explózie u vybratých druhov biomasy (vzorky olív, slnečnicových semiačkov, miskantusu, drevného prachu ako borovica a jalovec). Spôsob hodnotenia rizika vzniku explózie skúmal na základe aktivačnej energie pre pyrolýzu a stanovenia charakteristických teplôt pomocou TGA analýzy. Konštatuje, že nízke aktivačné energie pyrolýzy zvašujú riziko vznietenia biomasy. Makovická a kol. ⁵⁶, pre vybrané tropické dreviny (Cumaru, Garapa, Ipe, Kempas, Merbau) zisťovali vzťah medzi neizotermickými termogravimetrickými chodmi a stratou hmotnosti dreva pri plameni počas skúšky horľavosti kónickým kalorimetrom. Tiež konštatujú termickú degradáciu v 3 stupňoch, ako je rozklad dreva na samotné prchavé látky, oxidácia uhlíkových zvyškov a tvorba popola.

	Procesy sušenia		Procesy termickej degradácie					
Drevný			I. stupeň					
prach	T _p (°C)	∆m (%)	T _{pmax} (°C)	∆m (%)	T _{pmax} (°C)	∆m (%)	C _{rezist.} (%)	
Cumaru	67	3,68	329	64,37	447	32,08	0,01	

Tabuľka 4: TGA analýza prachu cumaru



Obrázok 7: Termogravimetrická krivka drevného prachu cumaru

Záver

Na základe získaných experimentálnych výsledkov je možné konštatovať nasledujúce:

- Cumaru (*Dipteryx odorata*) ako tropická drevina má porovnateľné fyzikálne vlastnosti s domácimi drevinami. Jeho spracovanie je sprevádzané tvorbou prachových častíc podobného zloženia ako (smrek, dub a buk – najpočetnejšie dreviny v našom prostredí).
- Sitová analýza ukázala percentuálne podiely pre určené frakcie. Najpočetnejšia frakcia bola 100 μm (37 %). Celkový percentuálny podiel častíc < 100 μm bol 69 %.
- Tvar častí zachováva morfológiu dreva a mikroskopia potvrdzuje zachovanie anatomickej štruktúry vlákien drevnej hmoty.
- Teplota vznietenia rozvíreného prachu stanovená v experimentálnych podmienkach pre rozvírený stav začala na 410 °C (frakcia 500 μm) a so zmenou veľkosti častíc sa znížila na 370 °C (frakcia 71 μm).
- V dôsledku plynulého ohrevu 10 °C.min⁻¹ drevného prachu sa sleduje proces vysušenia vzorky už od 67 °C a k termickej degradácií dochádza v dvoch stupňoch. Prvý stupeň nastáva pri teplote 329 °C a druhý pri teplote 447 °C.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vdaka spolupráci s Fakultou bezpečnostního inženýrství TU-VŠB v Ostrave a finančnej podpory Grantového projektu UNIZA č. 12716.

Literatúra

- 1. WHO. Hazard prevention and control in the work environment: Airborne dust. World Health Organization, Geneva 1999
- 2. STN EN 50281-2-1: 2002. Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust. Part 2-1: Test methods. Methods for determining the minimum ignition temperatures of dust; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2002.
- Marková, I.; Očkajová, A. Hodnotenie rizika drevných prachov v pracovnom a životnom prostredí. Vedecká monografia. 1st Ed; Belainum: Banská Bystrica, 2018. p. 124. DOI: 10.24040/2018.9788055713915 (in Slovak)
- Pędzik, M.; Rogoziński, T.; Majka, J.; Stuper-Szablewska, K.; Antov, P.; Kristak, L.; Kminiak, R.; Kučerka, M. Fine Dust Creation during Hardwood Machine Sanding. *Appl. Sci.* 2021, 11, 6602. DOI: <u>https://doi.org/10.3390/app11146602</u>
- 5. Očkajová, A.; Kučerka, M.; Krišťák, Ľ.; Ružiak, I.; Gaff, M. Efficiency of Sanding Belts for Beech and Oak Sanding. Bioresources 2016, 11, pp. 5242 5254
- Dado, M.; Mikusova, L.; Hnilica, R. Laboratory investigations applied to wood dust emmitted by electrical hand-held belt sander. *Management systems in production engineering* 2018, 26(3), pp. 133 – 136. DOI: 10.1515/mspe-2018-0021
- Očkajová, A.; Kučerka, M.; Krišťák, Ľ.; Igaz, R. Granulometric Analysis of Sanding Dust from Selected Wood Species. Bioresources 2018, 13(4), pp. 7481 – 7495. DOI: 10.15376/biores.13.4.7481-7495
- Chladil, J.; Sedlák, J.; Šebelová, E.R.; Kučera, M; Dado, M. Cutting Conditions and Tool Wear when Machining Wood-Based Materials. *Bioresources* 2019, 14(2), pp. 3495 – 3505. DOI: 10.15376/biores.14.2.3495-3505.
- Mračková, E.; Milanko, V. Characteristics of wood particulates as a function of safety parameters. Publisher: CRC Balkema Press, 2016, pp: 487 – 490
- 10. Makovicka Osvaldová, L., Osvald, A. Flame Retardation of Wood. *Adv Mat Res* **2013**, 690 693, pp. 1331 1334.
- Čekovská, H.; Gaff, M.; Osvaldová, L.; Kačík, F.; Kaplan, L.; Kubš, J. Tectona grandis Linn. and its Fire Characteristics Af-fected by the Thermal Modification of Wood. *BioResources* 2017, 12(2), pp. 2805 – 2817.
- Amyotte, P. An Introduction to Dust Explosions. Understanding the Myths and Realities of Dust Explosions for a Safer Workplace. 1st Ed; Elsevier: Oxford, 2013. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/C2011-0-07244-7</u>
- Amyotte, P.R.; Eckhoff, R.K. Dust explosion causation, prevention and mitigation: An overview. Journal of Chemical Health and Safety 2010, 17(1), pp. 15 – 28.
 DOI: <u>http://doi.org/10.1016/j.jchas.2009.05.002</u>
- Žigo, J.; Rantuch, P.; Balog, K. Experimental Analysis of Minimum Ignition Temperature of Dust Cloud Obtained from Thermally Modified Spruce Wood. *Advanced Materials Research* 2014, 919 – 921, pp. 2057 – 2060. DOI: <u>http://doi.org/10.4028/www.scientific.net-/AMR.919-921.2057</u>
- Krentowski, J. Disaster of an industrial hall caused by an explosion of wood dust and fire. *Engineering Failure Analysis* 2015, 56, 403 – 411. DOI: <u>http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.12.015</u>
- Tureková, I. Štúdium iniciačných zdrojov drevných prachov (Study of initiating sources of wood dust). Sborník vědeckých prác VŠB-TU Ostrava, 2009, 4(1), pp. 105 – 116. (in Slovak)

- Top, Y.; Adanur, H.; Öz, M. Comparison of practices related to occupational health and safety in microscale wood-product enterprises. *Safety Science* **2016**, 82, pp. 374 – 381.
 DOI: <u>http://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.014</u>
- Tureková, I.; Balog, K.; Slabá, I. Stanovenie teplôt vznietenia drevných prachov. (Determination of ignition temperatures of wood dust.). *In Sborník přednášek z medzinárodní konference Požární* ochrana 2005. SPBI: Ostrava, 2005, ISBN 80-86634-66-3. (in Slovak)
- 19. Marková, I.; Ladomerský, J.; Hroncová, E.; Mračková, E. Thermal Parameters of Beech Wood Dust. *BioResources* **2018**, 13(2), pp. 3098 3109. DOI: <u>10.15376/biores.13.2.3098-3109</u>
- Marková, I., Hroncová, E., Tomaškin, J., Tureková, E. Thermal Ananlysis of Granulometry Selected Wood Dust. BioResources **2018**, 13(4), pp. 8041 – 8060.
 DOI: <u>10.15376/biores.13.4.8041-8060</u>
- Mračková, E.; Krišťák, Ľ.; Kučerka, M.; Gaff, M.; Gajtanská, M. Creation of Wood Dust during Wood Processing: Size Analysis, Dust Separation, and Occupational Health. *Bioresources* 2016, 11(1), pp. 209 – 222
- 22. Marková, I.; Mračková, E.; Očkajová, A.; Ladomerský, J. Granulometry of selected wood dust species of dust from orbital sanders. *Wood Research* **2016**. 61 (6), pp. 983 992
- 23. Martinka, J.; Rantuch, P. Posúdenie vplyvu veľkosti častíc dubového dreva na teplotu vznietennia rozvíreného prachu. Acta facultatis technicae 2013, 18 (2). pp. 75 82 (in Slovak)
- 24. Martinka, J.; Hroncová, E.; Chrebet, T.; Balog, K. Posúdenie požiarneho rizika termicky modifikovaného smrekového dreva. *Acta Fac. Xylol.* **2013**, 55 (2), pp. 117 128 (in Slovak)
- 25. Pereira, K.M.; Garcia, R.A.; do Nascimento, A.M. Surface roughness of Amazonian woods. *Scientia Forestalis* **2018**, 46(119), pp. 347-356. DOI: 10.18671/scifor.v46n119.02
- Stangerlin, D.M.; Cavalcante, C.F.P.; da Costa, C.A.; Pariz, E.; de Melo, R.R.; Dall'oglio, O.T. Mechanical properties of Amazonian woods estimated by ultrasound waves propagation methods. *Nativa* 2017, 5, pp. 628 – 633.
- 27. Alves, L.L.B.; de Morais, E.R.C.; de Santana, J.C.A.; Faustino, S.J.B.; Hernandez, M.C.R. Growth of cumaru (*Amburana cearensis*) seedlings irrigated with industrial effluent. *Environ. Sci. and Pollut. Res.* **2021**, 28 (17), pp. 20945 20953. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-021-13273-2
- 28. Costa, A.C.S.; Oliveira, A.C.; Pereira, B.L.C.; da Silva, J.R.M.; de Oliveira, M.B.; Xavier, C.N. Quality of tropical hardwood floors [Qualidade de pisos maciços de madeiras tropicais]. *Revista Arvore* **2021**, 45, art. no. e4503, DOI: https://doi.org/10.1590/1806-908820210000003
- 29. Čaro dreva. 2019. Domáce drevo alebo exotika? Available online: <u>https://carodreva.sk/drevo-v-kocke/domace-drevo-alebo-exotika (accessed on 13 june 2019) (in Slovak)</u>
- Van Gemerden, B.S.; Shu, G.N.; Olff, H. Recovery of conservation values in Central African rain forest after logging and shifting cultivation. *Biodiversity and Conservation* 2003, 12(1553). <u>https://doi.org/10.1023/A:1023603813163</u>
- Fan, M.; Ndikontar, M.K.; Zhou, X.; Ngamveng, J.N. Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of wood and cement. *Construction and building materials* 2012, 36, pp. 135 – 140. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.089</u>
- 32. Vigué, J. Dřevo od A do Z. 1st Ed; Rebo Productions CZ: Čestlice, 2006. ISBN: 80-734-531-1 (in Czech)
- e Souza, W.C.S.; Barbosa, L.J.; Soares, A.A.V.; Goulart, S.L.; Protásio, T.P. Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: A subsidy for a more efficient classification. *Cerne* 2019, 25 (4), pp. 451 – 462. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201925042650
- 34. Reinprecht, L.; Kmeťová, L.; Iždinský J. Fungal decay and bending properties of beech plywood overlaid with tropical veneers. *J. Trop. For. Sci.* **2012**, 24(4), pp. 490 497
- Nice decor. Funkcie drevín, odolnosť, porovnanie. Available online: https://www.mitaplus.sk/sk/blog/funkcie-drevin-odolnostporovnanie (accessed on 15 july 2020) (in Slovak)

- *36.* Iringová, A. Revitalisation of external walls in listed buildings in the context of fire protection. *Procedia engineering* **2017**, *195*, pp. 163 170. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.539
- Iringová, A. Impact of fire protection on the design of energy-efficient and eco-friendly building envelopes in timber structures. In *Fire protection, safety and security* 2017, Technical university: Zvolen, 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/415/1/012010
- Stangerlin, D.M.; da Costa, A.F.; Goncalez, J.C.; Pastore, TC..M.; Garlet, A. Monitoring of biodeterioration of three Amazonian wood species by the colorimetry technique. Acta *Amazonica* 2013, 43(4), pp. 429 – 438. DOI: 10.1590/S0044-59672013000400004
- de Melo, B.A.; Molina-Rugama, A.J.; Leite, D.T.; de Godoy, M.S.; de Araujo, E.L. Bioactvity of powder from plant species on production Callosobruchus maculatus (Fabr. 1775) (Coleotera: Bruchidae). *Bioscience Journal* **2014**, 30(3), pp. 346 – 353 Supplement: 1.
- 40. Chipaia, F.D.; Reis, A.R.S.; Reis, L.P.; de Carvalho, J.C.; da Silva, E.F.R. Description anatomical macroscopic wood forest species of eight market in the multicipality of Altamira-PA, Brazil. *Journal of Bioenergy and Food Science* **2015**, 2(1), pp. 18 24
- Eleoterio, J.R.; da Silva, C.M.K. Comparision of dry kiln schedules for Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatoba (Hymenaea spp) and Muiracatiara (Astronium lecointei) obtained by different methods. *Scientia Forestalis* 2012, 40(96), pp. 537 – 545.
- 42. Soriano, J., da Veiga, N. S., & Martins, I. Z. Wood density estimation using the sclerometric method. European Journal of Wood and Wood Products, 2015, 73(6), pp. 753 – 758. DOI:10.1007/s00107-015-0948-3
- 43. ISO 23145-1:2007. Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) Determination of bulk density of ceramic powders — Part 1: Tap density; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2007.
- 44. STN EN 13183-1: 2002. Moisture content of piece of sawn timber. Part 1: Determination by oven dry method; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2002.
- 45. STN ISO 3310-1: 2007. Test sieves. Technical requirements and testing. Part 1: Test sieves of metal wire cloth; Slovak Standards Institute: Bratislava, Slovakia, 2007.
- Wang, Y.; Su, M.; Sun, H.; Ren, H. Comparative studies on microstructures and chemical compositions of cell walls of two solid wood floorings. *Journal of Wood Science* 2018. DOI:10.1007/s10086-018-1743-7
- Vandlíčková, M.; Marková, I.; Makovická Osvaldová, L., Gašpercová, S.; Svetlík, J. Evaluation of African Padauk (Pterocarpus soyauxii) explosion dust. BioResources 2020, 15(1), pp. 401 – 414. DOI: 10.15376/biores.15.1.401-414
- Alfredsen, G.; Bader, T.K.; Dibdiakova, J.; Filbakk, T.; Bollmus, S.; Hofstetter, K. Thermogravimetric analysis for wood decay characterisation. *European Journal of Wood and Wood Products* **2011**, 70, 4, pp. 527 – 530. DOI: https://doi.org/10.1007/s00107-011-0566-7
- Tabari, H.Z.; Rafiee, F.; Habibolah, K.E.; Pourbakhsh, M. 2012. Thermo-chemical evaluation of wood plastic nanocomposite. *Advanced Materials Research* **2012**, 463-464, pp. 565 – 569. DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.565
- 50. Turekova, I.; Turnova, Z.; Harangozo, J.; Kasalova, I.; Chrebet, T. Determination of Ignition Temperature of Organic Dust Layers. *Advanced Materials Research* **2013**, 690 – 693 (1469).
- Osvaldova, L.M.; Kadlicova, P.; Rychlý, J. Fire characteristics of selected tropical woods without and with fire retardant. *Coatings* 2020, 10 (6), art. no. 527. DOI: <u>https://doi.org/10.3390/coatings10060527</u>
- 52. Longauer, J. Sujová, E., 2002: Vybrané vlastnosti tuhých častí, Vedecké štúdie, 9/2000/A, TU vo Zvolene, 2001, ISBN 80-228-1022-3, 66s.
- Alfonso, A.V. et al. lawa list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* **1989**, 10 (3) pp: 219 – 332. Available in: www.iawawebsite.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20ha rdwood%20identification.pdf (accessed on 15 june 2020)

- 54. Zima, V. P.; Kasymov, D. P. Experimental investigation of the effect exerted by a natural fire on wood material. *Journal of engineering physics and thermophysics* **2018**, 91(4), pp. 913 917
- 55. Jones, J.M.; Saddawi, A.; Dooley, B.; Mitchell, E.J.S.; Werner, J.; Waldron, D.J.; Weatherstone, S.; Williams, A. Low temperature ignition of biomass. Fuel Processing Technology **2015**, 134, pp. 372 377. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.02.019
- Osvaldová, L.M.; Janigová, I.; Rychlý, J. Non-isothermal thermogravimetry of selected tropical woods and their degradation under fire using cone calorimetry. *Polymers* 2021, 13 (5), art. no. 708, pp. 1 – 13. https://doi.org/10.3390/polym13050708

Effect of particle size distribution of cumar dust on risk of initiation

Miroslava VANDLÍČKOVÁ, Iveta MARKOVÁ^{*}, Stanislava GAŠPERCOVÁ, Katarína HOLLÁ

Faculty of Security Engineering, University of Žilina, 010 26 Žilina, Slovak Republic e-mail: <u>miroslava.vandlickova@fbi.uniza.s</u>k, <u>iveta.markova@uniza.sk</u> ^{*}corresponding author

Summary

The paper deals with granulometric analysis of selected samples of oriental wood dust Cumaru (Dipteryx odorata) of grinders Makita 9556CR 1400W, sandpaper K36 for the purpose of selecting the percentages of the various fractions (< 63; 63; 71; 200; 315; 500 μ m) of samples of wood dust. Samples of wood were selected with regard to their used in the production of floor coverings, furniture and interior decorative items. Wood dust samples were made using a hand orbital sander Makita 9556CR 1400W and sizing on the automatic mesh vibratory sieve machine Retsch AS 200 control.

The aim of the article is to present the particle size distribution of cumara dust and to monitor the influence of fractions on the behavior of dust under its thermal load.

The results show different behavior in thermal degradation of individual fractions during their thermal loading. The ignition temperature of the airborne dust was determined to be 410 °C for the 500 μ m fraction and decreased to 370 °C with a particle size change (71 μ m fraction). The results show different behavior in thermal degradation of individual fractions during their thermal loading. The consequence of lowering the initiation temperature is a change in the dimensions and area of the dust particles. As the size decreases of wood dust particles, the risks of creating an explosive airborne dust in the working environment increase and the value of the minimal ignition temperature decreases.

The risk of initiation was also monitored by thermal analysis method (TGA), where the twostage thermal decomposition of wood is confirmed. The first changes (drying) occur at 67 °C, the maximum rate of decomposition is monitored at 329 °C and in the second stage at 447 °C.

Keywords: cumaru, wood dust, ignition temperature