Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav základního zpracování dřeva

Emise prašnosti při broušení tepelně modifikovaného buku

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017 Bc. Antonín Železný

Prohlašuji, že jsem práci: „Emise prašnosti při broušení tepelně modifikovaného buku“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

Ve Viničných Šumicích, dne 12. dubna 2017 podpis studenta……

Poděkovaní

Za pomoc při měření a ochotu při odborných konzultacích spojených s problematikou řešené práce, bych chtěl touto cestou poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Kopeckému, CSc. Samozřejmě také děkuji své rodině za podporu při studiu.

Jméno: Antonín Železný
Název práce: Emise prašnosti při broušení tepelně modifikovaného buku

Abstrakt:

Diplomová práce je zaměřena na dřevní prach vznikající při broušení modifikovaného buku. Rozebírány jsou vlastnosti a složení tohoto prachu. Diplomová práce dále řeší nebezpečí působení dřevních prachových částic na zdraví člověka a jeho vlivy v pracovním prostředí.

Teoretická část práce je zaměřena na vlastnosti a biologické účinky polétavého prachu na lidský organismus a také na tepelnou modifikaci dřeva. Experimentální část byla prováděna na zkušebním stendu, který simuloval standardní broušení. Pro náš experiment byly zvoleny tři vzorky, a to buk modifikovaný při teplotě 180 °C, 200 °C a buk nativní. Pro vyhodnocení výskytu dřevního prachu, byl navržen metodický postup pro zjištění zastoupení jednotlivých frakcí dřevních částic. Velmi jemné částice (částice menší než 100 μm) byly podrobeny mikroskopické a pravděpodobnostní analýze.

Klíčová slova: dřevní prach, broušení, podíl částic, rozměry částic, tepelně modifikované dřevo, buk

Name: Antonín Železný
Title: Dust emissions during sending of thermally modified beech wood

Abstract:

The thesis is focused on wood dust generated during sanding modified beech. The analysis concerns the characteristics and composition of this dust. The thesis addresses also the danger for human health exposed to the wood dust and its impact on the work environment.

The theoretical part is focused on properties and biological effects of airborne dust on the human body as well as the thermal modification of wood. The experimental part was carried out on a test stand to simulate standard sanding. For our experiment three samples were selected, namely a modified beech at 180 °C, 200 °C and a native beech. In order to evaluate the incidence of wood dust, a methodology was designed to determine the representation of individual fractions of wood particles. Very fine particles (particles smaller than 100 μm) were subjected to microscopic and probabilistic analysis.

Key words: wood dust, sanding, proportion of particles, size of particles, thermally modified wood, beech

Obsah:

1. ÚVOD: 1

2. CÍL PRÁCE: 3

3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY 4

3.1. Tepelná modifikace dřeva 4

3.1.1. Výrobní proces tepelně modifikovaného dřeva 4

3.1.2. Teplota a její vliv na dřevo 5

3.1.3. Fyzikální vlastnosti tepelně modifikovaného dřeva 5

3.1.4. Mechanické vlastnosti tepelně modifikovaného dřeva 6

3.2. Charakteristika dřevního prachu 8

3.2.1. Dřevní prach – disperzní systém 9

3.2.2. Dřevní prach jeho částice a jejich velikost a tvar 11

3.2.3. Rozdělení velikosti částic podle počtu 14

3.2.4. Dřevní prach a jeho vyjádření měrné a sypké hustoty 17

3.2.5. Sypkost prachu – sypké dřevní hmoty a její soudržnost 18

3.2.6. Úhel skluzu sypké dřevní hmoty 19

3.2.7. Rychlost vznosu a pádová rychlost 20

3.2.8. Granulometrické složení 20

3.2.9. Stlačitelnost dřevní hmoty 20

3.2.10. Vznikající koncentrace 21

3.2.11. Specifický povrch 21

3.2.12. Abrazivnost dřevní hmoty 21

3.2.13. Elektrické vlastnosti dření hmoty 22

3.2.14. Koagulace a lepivost dřevní hmoty 22

3.2.15. Explozívnost dřevní hmoty 23

3.3. Ovlivňující faktory velikosti dřevěného prachu při broušení 24

3.3.1. Tvar a tvorba třísky při vybraných modelech broušení 26

3.3.2. Technologické podmínky při broušení dřeva 27

3.3.3. Stanovení průměrné tloušťky třísky vzniklé při broušení: 29

3.4. Dřevní prach a jeho biologické účinky na lidský organismus 30
3.4.1. Prach jeho rozdělení z hlediska působení na člověka 33
3.4.2. Prašnost na pracovišti a její měření 33
3.4.3. Druhy měření prašnosti 34
3.4.4. PEL – Přípustný Expoziční Limit 34
3.4.5. Preventivní opatření pro snížení prašnosti: 35
4. MATERIÁL A METODIKA 36
4.1. Zkušební stend 36
4.1.1. Parametry v procesu broušení: 37
4.2. Odběr prachu 38
4.3. Materiál 38
4.4. Stanovení hustoty a vlhkosti 40
4.5. Granulometrická analýza 41
4.6. Mikroskopická analýza částic menších než 100 μm 43
4.7. Pravděpodobnostní analýza výskytu částic menších než 100 μm 47
4.7.1. Stanovení parametrů Weibullova modelu 48
4.7.2. Weibullův model 49
5. VÝSLEDKY: 50
5.1. Výsledky granulometrické analýzy 50
5.2. Hustota pravděpodobnosti rozložení částic 53
6. DISKUZE 55
7. ZÁVĚR 57
8. SUMMARY 58
9. PŘEHLED LITERATURY 59
10. SEZNAM OBRÁZKŮ 63
11. SEZNAM TABULEK 65

1. ÚVOD:

Prach se pohybuje volně vzduchem všude okolo nás. Obecně je to soubor částic a jeho množství v ovzduší je závislé od zdroje prachu, rychlosti proudění vzduchu, vlhkosti vzduchu aj. Problematika vzniku prašnosti dřevního prachu je v současné době velice diskutována a v neposlední řadě zkoumána. V pracovním procesu vznikají podle použité pracovní operace různé druhy a velikosti dřevního prachu. Například při broušení se vytvářejí nejjemnější částice.

Typická vlastnost dřevního prachu je jeho sedimentační schopnost, která je příčinou, že prach zůstává dlouhou dobu v ovzduší. Při překročení určité koncentrace prachu v ovzduší existuje nebezpečí výbuchu hlavně v případech, kdy zdroj prachu je ve špatně větratelných prostorách a tímto dochází k hromadění a usazování. Dřevní prach má velký vliv na opotřebení třecích uzlů strojů použitých k dělení materiálu.

Hygienu, bezpečnost na pracovním prostředí a v neposlední řadě životní prostředí ovlivňuje faktor dřevního prachu. Úpravou parametrů jako je tvar a množství nově vznikajících prachových částic můžeme už při vzniku snižovat prašnost na pracovišti. Dřevní prach z tvrdých a zejména exotických dřevin může u člověka způsobovat alergické reakce a k tomu vážná onemocnění. Zaměstnavatel je povinný, jak je stanoveno v zákoníku práce, soustavně zajišťovat bezpečnost a ochranu zdraví zaměstnanců při práci a také provádět potřebná opatření. Nejvíce se klade důraz na prach menší jak 100 μm, který je pro lidský organismus nejnebezpečnější. V dřevařském podniku je jednou z nejrozšířenějších metod separace sypké dřevní hmoty mechanická filtrace tuhých látek. Odstranění různých znečišťujících látek z ovzduší nebo odpadového plynu v dřevozpracujícím průmyslu a technologických operací s tím spojených si vyžadují poznání vlastností odlučované sypké hmoty.

Modifikované dřevo se díky svým vlastnostem začíná více uplatňovat na trhu. Hlavně díky jeho rozměrové stabilitě, vyšší odolností proti napadání dřevokaznými houbami, také jeho odolnějšímu povrchu a v neposlední řadě je téměř bezúdržbové při vhodné aplikaci. Tepelně modifikované dřevo nemá negativní vliv na okolí, protože při výrobě se nepoužívají žádné chemické přípravky. Může být použito např. při realizaci, kde je dřevo vystaveno vlhkosti. Z důvodu rozšíření použití modifikovaného dřeva je zapotřebí znát jeho vlastnosti, mezi které patří i emise prašnosti. Pokud budeme chtít

hodnotit rizika, které nastanou při účinku prachu na lidský organismus, měli bychom nejprve podrobně zhodnotit vlastnosti těchto látek. Z tohoto pohledu musíme provést analýzu výskytu částic dřevního prachu. Díky znalosti vlastností vznikajícího prachu jsme schopni pozitivně ovlivnit vývoj separační techniky a technologie odlučovaní pro snížení emisí v pracovním prostředí. Do této oblasti je směřováno těžiště této práce.

V současné době i v budoucnu je nezbytné soustředit se na snížení nebo eliminovaní nebezpečných látek v pracovním prostředí. Proto je nutné ve všech odvětvích průmyslu, a to i v dřevozpracujícím hledat možnosti, jak znečištění eliminovat.

2. CÍL PRÁCE:

Cílem diplomové práce je určení emise prašnosti při broušení nativního a modifikovaného buku. Stanovení podílů jednotlivých frakcí dřevního prachu, se zaměřením na nejmenší částice pod 100 μm a následně matematicko-statistické vyhodnocení a porovnání naměřených výsledků. Navrhnout podmínky broušení s cílem max. snížení emise prašnosti.

3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1. Tepelná modifikace dřeva

Dřevo je pravděpodobně nejstarším stavebním materiálem. Již v 8. až 11. století z důvodu zvýšení odolnosti dřeva vůči povětrnostním vlivům, a hlavně také biologickým škůdcům se dřevěné kůly opalovaly v ohni. Tepelná modifikace dřeva je způsob úpravy dřeva působením vysokých teplot. V roce 1920 Tiemann a taktéž v roce 1937 Stamm a Hansen publikovali výsledky svého experimentu, jehož cílem bylo snížení hygroskopicity dřeva. Dřevo bylo vystavováno vlivu přehřáté páry. Z výsledků bylo patrno, že dřevo má sice snížené pevnostní vlastnosti, ale vlastnosti spojené s příjmem vody byly velice příznivě ovlivněny. Sorpce vlivem hygroskopicity dřeva, byla snížena v rozsahu 10–25 % a to bylo impulzem k rozvoji procesů tepelné úpravy a nových technologií v oboru úpravy vlastností dřeva a objevování nových komerčně využívaných materiálů.

Hlavním cílem modifikování dřeva je zlepšit, popř. zachovat původní vlastnosti dřeva a co nejvíc eliminovat nežádoucí. Mezi nežádoucí vlastností dřeva, které lze ovlivnit modifikací patří zejména rozměrová stabilita a absorpce vody (Thybring, 2013).

3.1.1. Výrobní proces tepelně modifikovaného dřeva

Celý proces tepelné úpravy se rozděluje do fází, nejprve je řezivo vystaveno teplotě 130 °C a je takto vysušeno na téměř 0 % vlhkosti. Proces probíhá za atmosférického tlaku a ve vzduchu se sníženým obsahem kyslíku, aby nedošlo k případnému vzplanutí (do komory je během sušení také přiváděna vodní pára, která zabraňuje vznícení), (Theomen a kol. 2010). Vysušené dřevo je dále vystaveno teplotám od 180 °C do 250 °C po dobu 2–3 hodin za stálé přítomnosti vodní páry ve speciálně upravených komorách z nekorozního materiálu (Thybridg, 2013).

V závěru výrobního procesu se dřevo ochlazuje pomocí zařízení, které vstřikuje vodu, která dřevo ochladí na teplotu okolo 90 °C a tím získává tepelně modifikované dřevo 4 % vlhkost. Následně se dřevo klimatizuje, kde doba trvání je odvislá od použitého dřeva a teploty v rozmezí 5–15 hodin (Finish Thermowood Association, 2003).

3.1.2. Teplota a její vliv na dřevo

Tepelná modifikace se uskutečňuje v teplotním rozsahu většinou od 180 do 260 °C. Při nižších teplotách než 140 °C dochází k nepatrným změnám vlastností materiálu, a naopak při překročení hranice 300 °C již dochází k degradaci struktury (Čermák 2013).

Při postupném zahřívání dřeva nad 100 °C dochází k uvolňování vody vázané v buněčných stěnách polymerního řetězce, z nich vzniká kyselina octová, kyselina mravenčí nebo metanol. Postupným zvyšováním teploty se uvolňuje oxid uhličitý. Dalším zvyšováním teploty dochází ke zvětšení rozsahu reakcí, které jsou spojeny s degradací polymerů buněčných stěn. Okolo tepoty 270 °C mají již probíhající reakce exotermní charakter – reakce, při kterých je teplo uvolňováno, což se významně projevuje v reakční kinetice (Hill, 2006).

Vůči účinkům vysokých teplot jsou nejméně odolné složky dřeva hemicelulózy, které se rozkládají při teplotách 170–240 °C (Horáček, 1998).

Tepelnou degradaci hemicelulózy významně ovlivňuje přítomnost acetylových skupin, které jsou teplotně nestabilní a tvoří kyselinu octovou, která coby katalyzátor urychluje rozklad polysacharidů. Shimizu (1972) uvádí, že redukcí acetylových skupin v hemicelulóze se zvýší její tepelná stabilita. Degradace hemicelulózy zvyšuje podíl polysacharidové krystalinity ve dřevě.

Celulóza je vůči teplotám odolnější než hemicelulóza. Krystalická část celulózy je nejintenzivněji degradována v teplotním rozsahu 300–400 °C. Během tepelné úpravy prováděné ve vzdušném prostředí dochází k produkci karbonylových a karboxylových skupin (Fengel a WENGEL, 1989).

3.1.3. Fyzikální vlastnosti tepelně modifikovaného dřeva

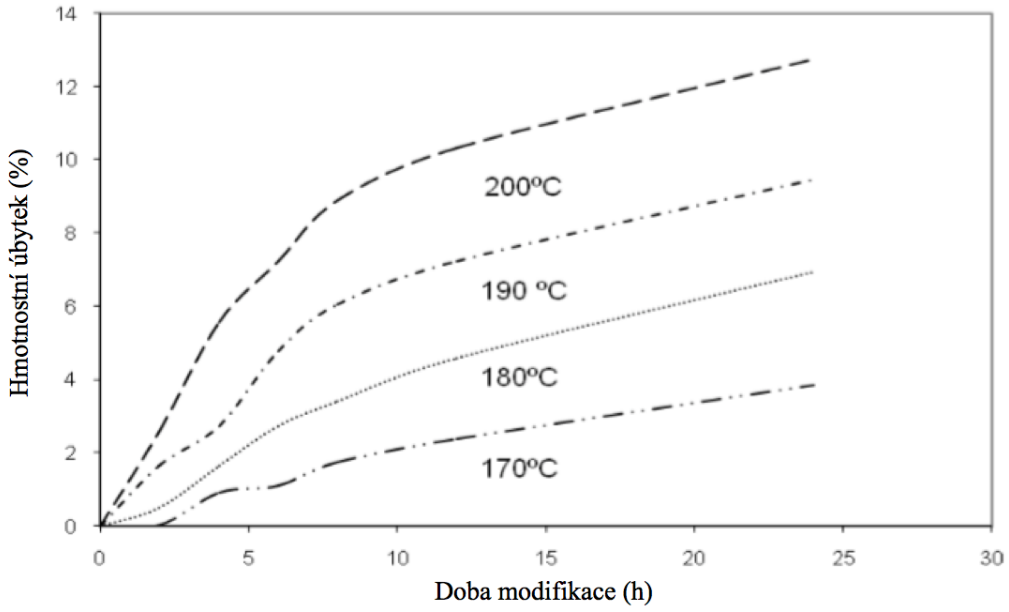
Tepelně modifikované dřevo je stabilnější ke změnám vlhkosti a jeho rozměrové bobtnání se zmenší při dané vlhkosti až o 50 %. Díky tomu je možné aplikovat dřevo do vlhčího prostředí, kde je potřeba se s větší přesností spolehnout na jeho tvarovou stálost, ale také tam kde by mohlo hrozit napadení dřevokaznými houbami či plísněmi, které jsou schopny napadnout dřevo při vlhkosti 25 % (Král a Hrázský 2006).

Hlavním důvodem pro zvýšení rozměrové stability a sníženou absorpci vody je nejspíše snížení počtu hydroxylových skupin hemicelulóz (Weiland A Guyonnet 2003).

Tyto zásadní změny, které se vyskytují ve dřevě, stále nejsou zcela pochopeny. Životnost je způsobena chemickou degradací dřevěných prvků a vytvoření nových sloučenin (Viitaniemi et al. 1997).

Izolační vlastnosti dřeva se také zlepšují tepelným zpracováním a taktéž při vyšších teplotách se odstraňuje pryskyřice z měkkých dřevin (Finnsih Thermowood Association 2003).

Hustota materiálu se snižuje v závislosti na použité teplotě. Platí, že s vyšší maximální dosaženou teplotou je hustota nižší (Esteves, 2008a). Obr. 1 znázorňuje hmotnostní úbytek, tj. o kolik procent došlo k poklesu dřevní hmoty díky tepelnému rozkladu složek dřeva.



Obr. 1 Graf závislosti úbytku hmotnosti na hodnotě času a teplotě modifikace (Esteves, 2008a)

Na barvu dřeva má také tepelná modifikace významný vliv. Pro konečné využití je barva velmi důležitá vlastnost, v některých případech je hlavním určujícím faktorem pro jeho výběr. Ošetřené dřevo je tmavší vlivem částečného termického rozkladu, ke kterému dochází během výrobního procesu. (Thybring, 2013).

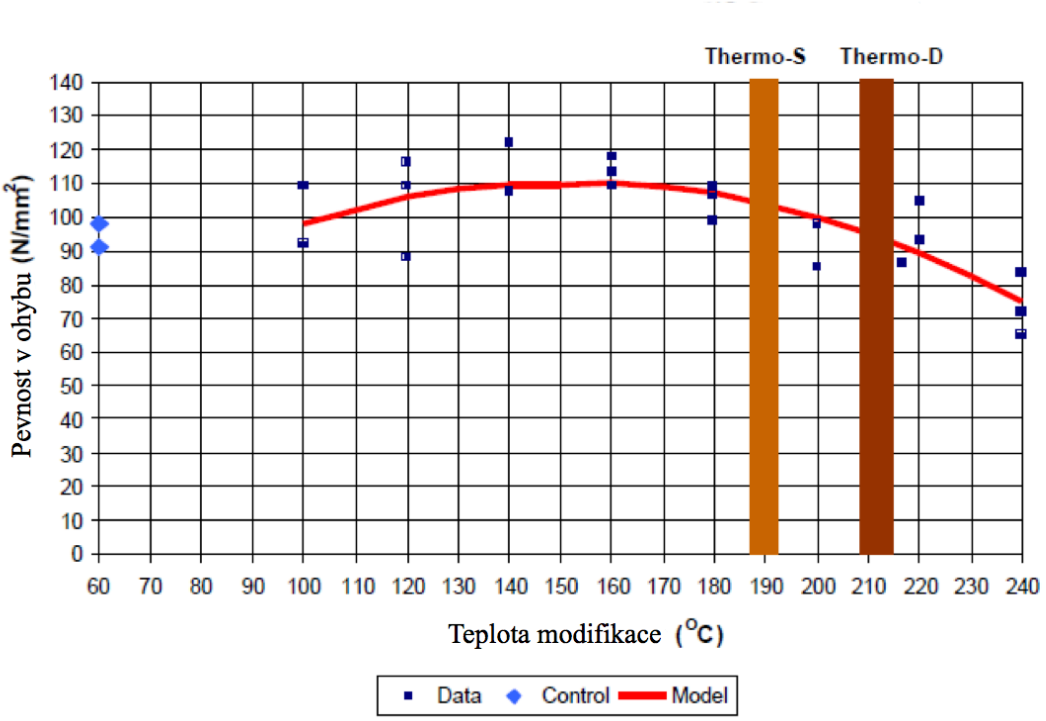
3.1.4. Mechanické vlastnosti tepelně modifikovaného dřeva

Nevýhoda tepelně upraveného dřeva je jeho mechanické chování, pokles pevnosti. Nejvíce negativně ovlivněny vlastnosti jsou pevnost v ohybu (obr. 2) a pevnost v tahu.

Hodnoty MOR jsou o 20–30 % nižší, což potencionálně znamená, že se snižuje použitelnost tepelně upraveného dřeva jako materiálu pro stavební konstrukce. Tepelně modifikované dřevo by mohlo být použito jako náhrada za drahé nebo dovážené vzácné dřeviny. Pro výzkum a vývoj je dobrá motivace to, že modifikace dřeva je stále rostoucí oblastí a poptávka po tepelně upraveném dřevě vzrostla o 80 % za posledních deset let (Čermák 2013).

Obecně lze tepelně ošetřit jak listnaté, tak jehličnaté dřeviny, stejně tak měkké, či tvrdé dřeviny – Borovici lesní (*Pinus sylvestris L.*), Smrk ztepilý (*Picea abies*), Modřín opadavý (*Larix decidua Mill.*), Olši lepkavou (*Alnus glutinosa L.*), Břízu bělokorou (*Betula pendula L.*) nebo Buk lesní (*Fagus sylvatica L.*) (Finnish Thermowood Association 2003).

Tepelně modifikované dřevo vlivem termických procesů snižuje svou hmotnost. Hustota dřeva, která nově vznikne, je také nižší. U dřeva je podstatné, že existuje závislost pevnosti dřeva na jeho hustotě. Ačkoliv má nově vzniklý produkt nižší hodnoty pevnosti v ohybu než vstupující řezivo, tak jeho poměr pevnosti a hustoty je téměř nezměněný (Thybring, 2013).



Obr. 2 Graf závislosti pevnosti v ohybu borovice na teplotě modifikace (Finnsih Thermowood Association 2003)

Z pohledu pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny, upravené dřevo vykazuje velmi dobrou pevnost, která je u tepelně modifikovaného dřeva ošetřeného teplotou 195 °C až o 30 % vyšší. Ani vyšší teplota procesu pevnost dřeva v tlaku rovnoměrně s vlákny výrazně neovlivní. Nicméně pokud na dřevo působí maximální tlak, dřevo se rozdělí na více menších částí, nežli je tomu u dřeva neošetřeného, které si uchovává vyšší pružnost (Finnsih Thermowood Association 2003).

3.2. Charakteristika dřevního prachu

Účel této kapitoly je seznámit čtenáře s problematikou vzniku dřevního prachu, jeho vlastnostmi a jeho odstraňováním, tj. snížením modelu prašnosti stroje.

Prakticky při každém zpracování, opracování nebo úpravě dřeva vzniká odpad, který se liší podle druhu operace a vlastnosti opracovaného materiálu. Je to jednak odpad tuhý, většinou dřevěný, kapalný a plynný (Hejma a kol. 1981).

Obecná definice prachu podle Koncz (1970) zní, že prach je drobný tuhý nebo kapalný dispergovaný materiál libovolného tvaru, struktury a měrné hmotnosti. S dalšími plynnými nebo kapalnými látkami tvoří dvojfázový nebo vícefázový systém, který vyplňuje prostor mezi prachovými částicemi.

Hejma (1981) zase prach definuje jako částice v rozsahu velikosti od 0,001 asi do 0,3 až 0,5 mm. Horní hranice velikostí částic se uvádí různě, ale maximální velikost bývá 1 mm. Obecnou vlastností prachu je jeho špatná sedimentační schopnost, která způsobuje, že velmi dlouhou dobu zůstává v ovzduší. Charakter prachových částic závisí jak na druhu nástroje, tak na vlhkosti dřeva. Všeobecně je známá zdravotní závadnost a poměrně snadná výbušnost dřevního prachu.

Dřevní prach jako sypká dřevní hmota je podle Dzurenda (2007) charakteristický tím, že jednotlivé třísky neboli částice nevyplňují celý objem prostoru, v kterém se nachází. Mezi částicemi se nachází vzduch. Proto se sypká dřevní hmota řadí do kategorie disperze.

Je známo z dostupné literatury, že v procesu třískového dělení a obrábění dřeva vzniká tříska, jejíž tvar, rozměry a množství jsou závislé na fyzikálně mechanických vlastnostech obráběného dřeva, na tvaru, rozměrech a ostrosti řezného nástroje a v neposlední řadě na technicko-technologických podmínkách obrábění (Prokeš, 1978).

Také Horák (1996) prach definuje jako částice (třísky), které vznikají v technické praxi mechanickým způsobem – mletím, drcením, otěrem v rozsahu 1 až 500 μm. Při broušení dřeva je typický odpad prachový. Dřevěný prach vzniká v důsledku tření a drcení materiálu a do ovzduší se dostane vzájemným relativním pohybem částic vzduchu, zejména při rotaci nástrojů a z odsávacího procesu. Stanovení disperzity prachu je důležitou úlohou, neboť znalost rozložení částic podle velikosti je z technického hlediska velmi důležitá. Rozhoduje o volbě odsávacích a dopravních rychlostí, o dimenzování odlučovačů prachu, o konstrukci sacích nástavců a zákrytů a o rozptylu prachu ve venkovní atmosféře.

Vlastnosti dřevního prachu fyzikální – mechanické jsou například rozdělení velikosti a tvaru částic, zrnitost neboli granulometrické složení, hustota částic, objemová koncentrace částic, vlhkost dřevní hmoty, úhel skluzu sypké dřevní hmoty, sedimentační schopnost a rychlost vznosu. Další je stlačitelnost, abrazivnost, elektrické vlastnosti prachových částic, koagulace a lepivost a neposlední explozivnost.

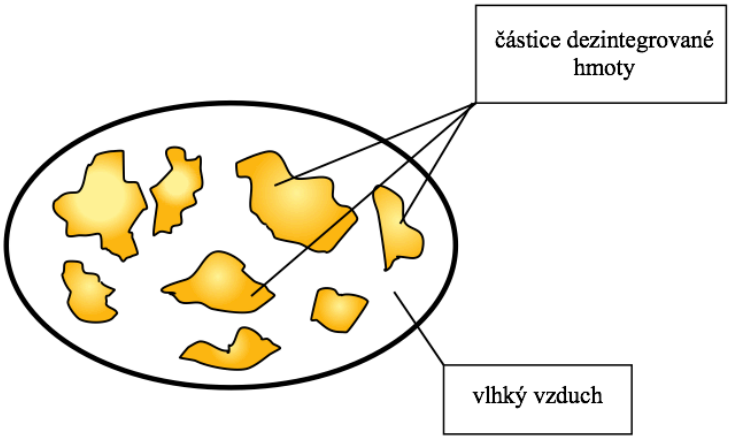
Hodnocení prašnosti je nejčastěji prováděno izokinetickými odběry a následně je provedena granulometrická a mikroskopická analýza prachových částic. Pomocí statisticko-pravděpodobnostní analýzy částic je stanoven pravděpodobností výskyt částic. Díky provedeným analýzám jsme schopni posoudit vznikající prach a stanovit jeho vliv na bezpečnost a hygienu na pracovišti, včetně zdravotních účinků na lidský organismus. Data z jednotlivých analýz můžou sloužit jako zdroj dat pro návrh a případné posouzení odsávacího a filtračního systému stroje (Dzurenda 2007, Kopecký – Rousek – Klepárník 2007).

3.2.1. Dřevní prach – disperzní systém

Disperzní soustava dle Hejma (1981), vzniká rozptýlením částic (třísek) v souvislé fázi dispenzujícího prostředí. Velikostmi částic je zpravidla vyjádřena její charakteristika. Čím menší je velikost částic, tím větší je disperze. Disperzi je možné také vyjádřit i způsobem udání počtu částic v objemové nebo hmotné jednotce, velikostí tak zvaného měrného povrchu. Čím větší bude povrch zkoumaného vzorku, tím větší bude disperze a může se předpokládat, že budou výraznější změny fyzikálních vlastností.

Disperzní systémy se skládají ze dvou složek viz obr. 3. Jedna je disperzovaná čili rozdrcená složka a další je disperzační prostředí, které je samé plynulou části systému.

Rozeznáváme homodisperzní a polydisperzní systémy podle toho, zdali se disperzní látka skládá ze stejných nebo rozdílně velikých částeček (Koncz, 1970).



Obr. 3 Schéma dezintegrované dřevní hmoty

Za zrna jsou označovány mikroskopické nebo makroskopické částice pevné látky. Nebývá zvykem však používat termín zrno pro částice se silně zvýrazněným lístkovým nebo vláknitým charakterem. Zrna rozeznáváme skoro vždycky pouhým okem. Zrnité materiály často nesou označení partikulární látky tvořené těmito částicemi. Také vzhledem k jejich malé disperzitě, charakterizované velkými částicemi a relativně malými silami mezi částečkami, se používá termín sypký materiál (Medek, 1985).

Pro sypkou dřevní hmotu je charakteristické, že jednotlivá zrna nevyplňují celý objem prostoru, ve kterém se tato hmota nachází. Mezi jednotlivými zrny jsou mezery vyplněné vlhkým vzduchem (Dzurenda, 2002).

Všechen tento odpad, který je jak chemicky, tak fyzikálně velmi různorodý, je při všech technologiích, s výjimkou těžby dřeva odsáván, pneumaticky dopravován a různým způsobem zachycován a likvidován nebo pouze rozptylován. Ideálním stavem by bylo zachycení a likvidace veškerého odpadu nebo jeho použití v uzavřeném cyklu (Hejma a kol. 1981).

Stupeň disperzity d_o je určen poměrem povrchu všech částic S k jejich celkovému objemu pro jednotku hmotnosti.

$$d_o = \frac{S}{V} \quad \left[m^{-1}\right]$$

d_o – stupeň disperzity $\left[m^{-1}\right]$, S – povrch částic $\left[m^2\right]$, V – objem částic $\left[m^3\right]$.

Na geometrickém tvaru prachových částic závisí velikostní stupeň disperzity. S klesajícím lineárním rozměrem částic roste stupeň disperzity, a to vede ke zvýšenému uplatnění povrchových jevů. S tím souvisí povrchové napětí a povrchová energie, nutná pro zvětšení povrchu, která roste se stupněm disperzity (Mráčková, 2001).

3.2.2. Dřevní prach jeho částice a jejich velikost a tvar

Částice prachu jejich velikost a tvar jsou základní údaje, které je charakterizují. Jejich optické vlastnosti závisí na velikosti částic, které se využívají k měření koncentrace i zrnitosti částic. Rozměry částic mají také vliv na požární bezpečnost, ve směsi se vzduchem jsou výbušné a jemnější částečky prachu reagují prudčeji, přičemž dominantní rozměr je 40 μm (Mráčková, 2001).

Longauer – Sujová (2000) dělí frakce dřevního prachu na:

- Velmi jemný prach v rozmezí 0,1 μm až 10 μm
- Jemný prach s rozměry 10 μm až 100 μm
- Hrubý prach s rozměry 100 μm až 1000 μm.

Rozdělujeme zrna sypkých hmot do třech základních skupin i přesto, že tvary třísek vznikající v průběhu dělení či obrábění jsou velmi rozmanité:

- *Zrna izometrická,* jsou to třísky, mající ve všech třech směrech přibližně stejné rozměry (prach s rozměry pod 100 μm, jemné frakce pilin, jemné a velmi jemné frakce dřevěného prachu), (Dzurenda, 2002 citující Očkajovou – Dzurendu, 2002).
- *Zrna plochá (laminární),* tyto třísky mají rozměr délky a šířky větší než třetí rozměr, což je tloušťka třísky (lístkové třísky, hobliny, hrubé třísky nebo také štěpy), (Dzurerenda 2002 citující Hajzoka, 1986, Perláca – Štefku, 1995 a Očkajovou, 1996).
- *Zrna vláknitá (fibrilární),* kde třísky mají výrazně prodloužený jeden z rozměrů, (středně hrubé a hrubé frakce prachu, jehličkové třísky, středně hrubé a hrubé frakce pilin), (Dzurenda 2002 citující Perláca – Štefku, 1995, Mráčkovou – Korytárovou, 1999, Dzurendu – Mazala, 1999).

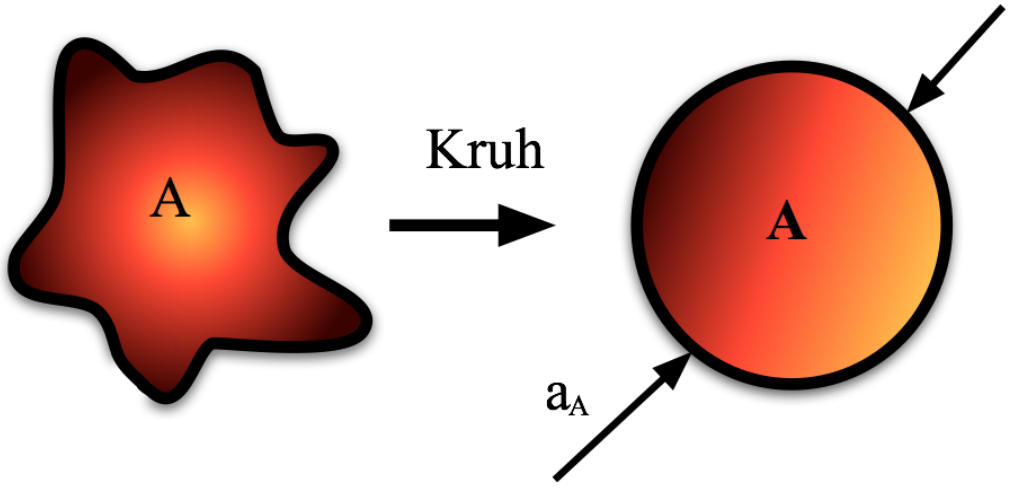
Dle Dzurenda (2002) velikost částice určuje největší rozměr kvádru opsaného kolem částice – délky. Rozměry částic jsou tedy definované rozměry kvádru opsaného kolem částice kde jeho:

- délka je největší rozměr částice,
- tloušťka je nejmenší rozměr,
- šířka je třetí rozměr částice.

Částice technických prachů bývají rozličného tvaru, jen zřídka kdy jsou kulové a jejich disperzita je poměrně značná. Na částice kulového tvaru se vztahuje většina pokusů. V závislosti na technologických vlastnostech dezintegrované dřevní hmoty a aeromechanických vlastnostech třísek při proudění nebo sedimentaci, je snahou odborníků v této oblasti charakterizovat částice sypké hmoty jedním rozměrem, tj. průměrem. Dle Koncz (1970), Dzurenda (2002) by takovým rozměrem mohl být tzv. ekvivalentní průměr, tj. průměr, který má s danou částicí společnou vlastnost.

Ekvivalentní průměr částice a_A, je takový průměr částice *A,* jejíž plocha kruhu je stejně velká jako plocha průměru skutečné částice *S* ve směru její tloušťky.

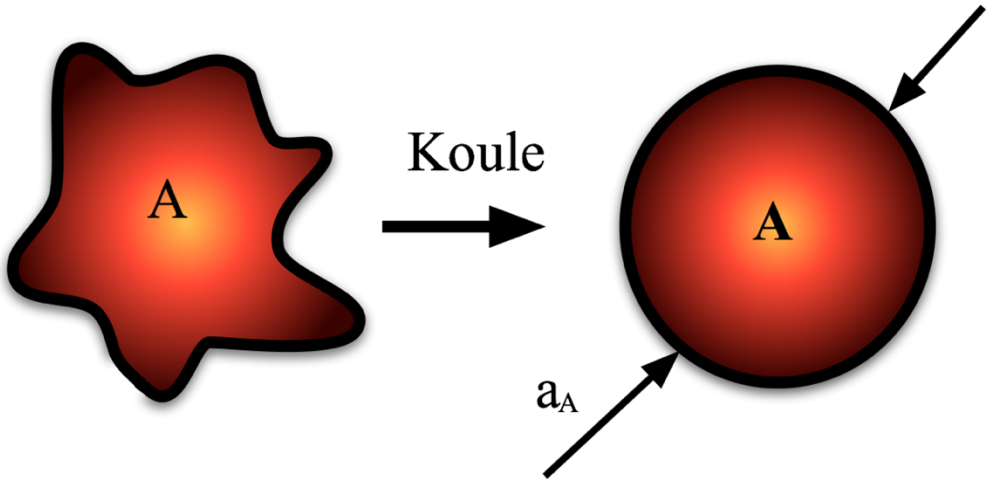
$$a_A = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad [\mu m]$$



Obr. 4 Ekvivalentní velikost částice podle průměru

Průměr koule může být i ekvivalentním průměrem částice a_v, které objem je stejně velký jako objem skutečné částice (Dzurenda, 2002).

$$a_V = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} \quad [\mu m]$$



Obr. 5 Ekvivalentní velikost částice podle objemu

Je možné jednotlivé částice sypké dřevní hmoty nalézající se v analyzovaném obrazu identifikovat kvantitativně s využitím nových systémů pro analýzu a zpracování obrazu a určit délku a šířku částic, cirkularitu a další. Míru odchylky průměru daného tvaru částice od průměru tvaru je potom možné určit podle následujícího vztahu (Longauer – Dzurenda, 2006, Dzurenda, 2004).

$$\Psi = \frac{4\pi \cdot S}{O^2} \quad [\mu m]$$

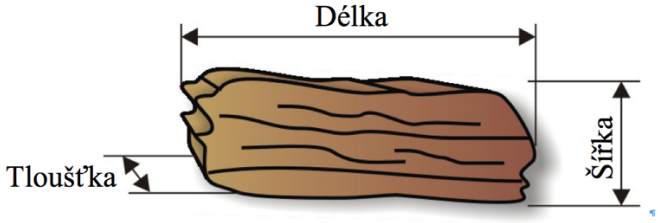
Ψ – míra odchylky,

S – plocha částice,

O – obvod částice.

Dle současné platné normy řešící problematiku ovzduší na pracovišti je definována velikost prachových částic jejich aerodynamickým průměrem. Pod aerodynamickým průměrem určité částice libovolného tvaru a hustoty uvažujeme kuličku o hustotě 1 g·cm^{-3}, jež má stejnou rychlost dopadu v laminárním nebo turbulentním proudu vzduchu. Tato definice má platnost i pro vláknité částice, ale pouze k poměru k šířce > 3:1 (ČSN EN 481).

Složení sypkých hmot se skládá převážně z různých velikostí zrn. Pro běžně se vyskytující izometrické částice existují mezi charakteristickými velikostmi jenom statistické souvislosti. Částice složitějších tvarů je přepočet zatížený větším rozptylem a ztrácí praktický význam (Longauer, Sujová, 2000).



Obr. 6 Základní rozměry částice sypké dřevní hmoty (Jobbágyová, 2008)

3.2.3. Rozdělení velikosti částic podle počtu

Většinou se zastoupení částic různých velikostí znázorňuje křivkami zrnitosti, které odvozujeme z histogramu. Pokud znázorníme výšku sloupce nad zvoleným intervalem počtem velikostí příslušných částic (hmotnost, objem, procentuální zastoupení), získáme tak histogram znázorňující početné zastoupení částic (Hejma a kol., 1981).

Většinou se v praxi podle Jobbágyová (2008) nezjišťují velikosti každé individuální částice x_i, ale částice se zařazují do určitých velikostních intervalů, neboli frakcí $(\Delta x)_j$, kde počet frakcí je konečné číslo dané počtem kanálů elektronických měřících přístrojů, přičemž j = 1, 2,….k. Počet částic v určité frakci $(\Delta x)_j$ je $(\Delta N)_j$ a celkový počet N je daný vztahem:

$$N = \sum_{j=1}^{k} (\Delta N)_j$$

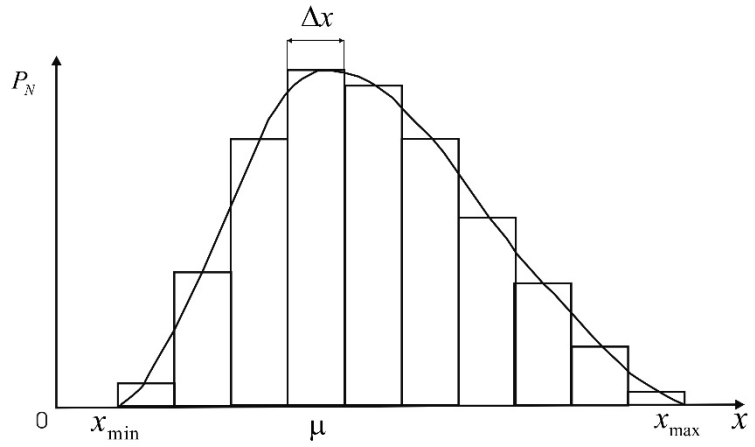
Pomocí tzv. histogramů nebo také sloupcových diagramů můžeme vyjádřit rozdělení velikosti částic při jednotlivých velikostních intervalech $(\Delta x)_j$, kterými se vynášejí počty částic $(\Delta N)_j$ nebo poměrné počty částic ve frakci $(\Delta P_N)_j$:

$$(\Delta P_N)_j = \frac{(\Delta N)_j}{N}$$

Integrální křivky zrnitosti dostaneme tak, že vyjádříme poměrné množství částic menších jako je zvolený rozměr, nazvaný přepad částic anebo vyjádříme poměrné množství částic větších jako je udaný rozměr, říkáme tomu zbytek částic.

Měrný poměrný počet PN_j dostaneme jakmile poměrný počet částic ve frakci $(\Delta P_N)_j$ podělíme délkou intervalu $(\Delta x)_j$:

$$P_{N,j} = \frac{(\Delta P_N)_j}{(\Delta x)_j}$$

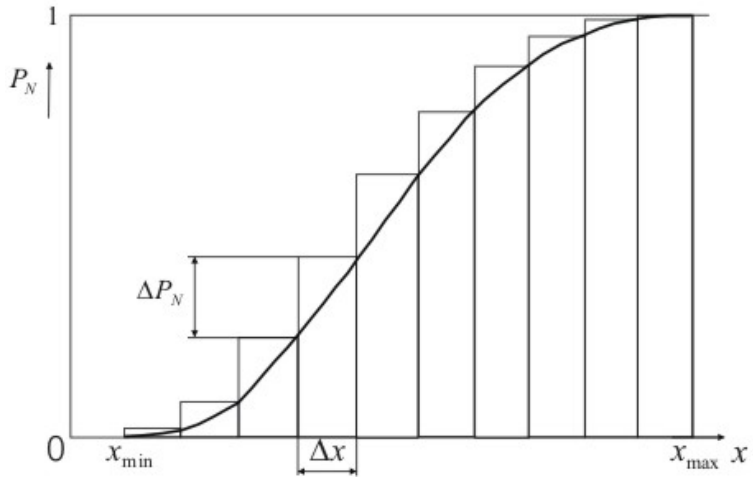


Obr. 7 Histogram s distribuční křivkou (Jobbágyová, 2008)

Na obr. 7 v analyzovaném souboru sypké hmoty, vyjadřuje distribuční křivka závislost poměrného zastoupení hmotnosti určité velikosti frakce – zrn.

Protože hladká distribuční křivka nemůže být přesně vynesená jen na základě těchto dat, je tento způsob vyjádření rozdělení velikosti částic však jen určitou aproximací skutečnosti – kontinuálního rozdělení. Toto platí při malém počtu intervalů. Zavádějí se tzv. kumulativní nebo – integrální křivky zrnitosti – integrální křivky propadu $P_N(x)$ obr. 8 nebo také integrální křivky zbytků $Z_N(x)$ obr. 9.

Jemnější podíl – frakce zrn je přepad, který při síťování prošel sítem a je složený ze zrn menších jako jsou velikosti ok daného síta.



Obr. 8 Integrální křivka propadu (Jobbágyová, 2008)

Integrální křivka propadu:

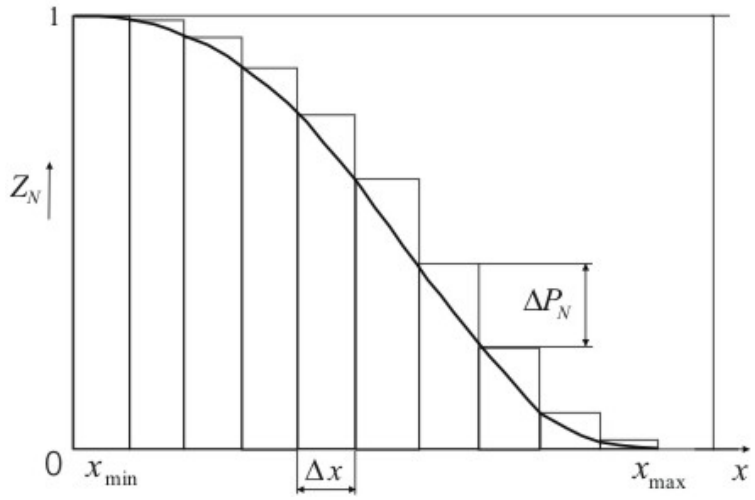
$$P_{N,j} = \sum_{l=1}^{j} (\Delta P_n)_l$$

$$x_j = x_{min} + \sum_{l=1}^{j} (\Delta x)_l$$

Postupným vynášením hodnot $(\Delta P_N)_j$ a velikostních intervalů$(\Delta x)_j$, začínajících od x_{min} do x_{max} a následným spojením bodů, vznikne křivka propadů $P_N(x)$.

Body x_j odpovídají horním hranicím jednotlivých intervalů $(\Delta x)_j$. Vyplývá z toho základní vlastnost křivky propadů $P_N(x)$ udávající závislost poměrného počtu částic menších jako určená velikost frakce.

Hrubší podíl – frakce zrn je zbytek, který při síťování neprošel sítem, a proto obsahuje zrna větší velikosti, než je velikost ok daného síta.



Obr. 9 Integrální křivka zbytků (Jobbágyová, 2008)

Integrální křivka zbytků:

$$Z_{N,j} = \sum (\Delta P_n)_l$$

$$x_j = x_{max} + \sum_{l=1}^{j} (\Delta x)_l$$

Podobným způsobem jako křivku propadů je možné odvodit integrální křivku zbytků $Z_N(x)$. Závislost $Z_N(x)$ vzniká spojením jednotlivých bodů $(Z_{N,j}$ *a* $x_j)$, kde hodnoty $Z_{N,j}$ a x_j se stanoví nanášením frakčních hodnot $(\Delta P_N)_j$ a $(\Delta x)_j$, tentokrát, ale od frakce největších částic (Longauer a Sujová, 2000).

3.2.4. Dřevní prach a jeho vyjádření měrné a sypké hustoty

Dle Dzurenda (2007) se měrná hustota částic prachu *p,* se od hustoty základního materiálu výrazně neliší. Naproti tomu je sypká hustota p_1 podstatně nižší než měrná. Na zrnitosti a tvaru částic závisí vztah mezi měrnou a sypkou hustotou. Sypká dřevní hmota roste působením vibrací, respektive tlaku a tím roste i sypká hustota. Vzniká tím tzv. setřesená hustota, která je obvykle 1,2 až 1,5krát větší než hustota sypká.

Částice se na sebe skládají podle tvaru, velikosti a disperzity, což určuje mezerovitost vrstvy. Obvykle se sypká hmotnost u suchého odpadu pohybuje okolo *200* až *250* $kg \cdot m^{-3}$, u lehkých odpadů velkých rozměrů se hobliny a sypká hmotnost

pohybuje jen v řádu desítek $kg \cdot m^{-3}$ a mezerovitostí frakce je ovlivněna sypká hustota (Hejma a kol. 1981).

3.2.5. Sypkost prachu – sypké dřevní hmoty a její soudržnost

Poměr hmotnosti vyjádřené v (kg) k objemu vyjádřenému v (m^3) v sypkém stavu je sypká hustota sypkých hmot. Jednoznačný význam zjišťování sypké hustoty p_s má význam při dimenzování zásobníků prachu, ale také v případě transportních kontejnerů (Longauer, Sujová, 2000). Hmotnost částic dle Očkajová, Beljaková (2004), ovlivňuje jejich pohybové vlastnosti, protože určuje hybnost částic. Z dosavadních měření vyplývá, že strukturu částic ovlivňuje nižší specifická hmotnost částic jako je hustota látky, z které částice vznikly.

Soudržnost – sypkost sypké hmoty je charakterizována sypným úhlem a je dána vzájemným působením jednotlivých zrn. Sypkost je vlastnost sypké hmoty. Materiály zrnité sypané z jednoho místa na rovnou podložku vytváří tvar kužele. Strany kužele svírají s podložkou tzv. sypný úhel (Jobbágyová, 2008).

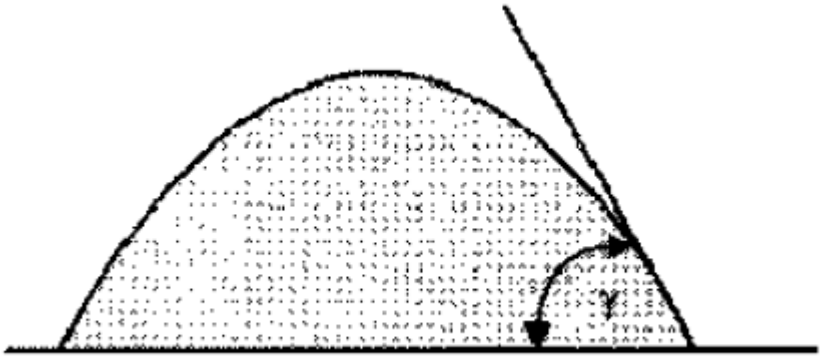
3.2.5.1. Sypný úhel sypné dřevní hmoty

Sypný úhel závisí na tvaru, velikosti, vlhkosti zrn a také na hustotě materiálu, ze kterého jsou zrna. Mění se podle toho, jak působí na nasypané těleso další vlivy kromě sypání z malé výšky například střásání apod.

Úhel, který svírá vodorovná rovina a povrchová přímka nasypaného tělesa, na které působí vibrace je tzv. *dynamický sypný úhel.*

Úhel, který svírá vodorovná a povrchová přímka nasypaného tělesa v ulehlém stavu je tzv. *slehlý sypný úhel.*

Hodnota sypného úhlu se většinou pohybuje v rozmezí 40 až 65°. Vyšší hodnoty jsou u jemnějších a lepivých prachových částic, lepivost je ovlivněna měrným povrchem částic a vlhkostí (Dzurenda, 2007).



Obr. 10 Sypný úhel γ (Dzurenda, 2007)

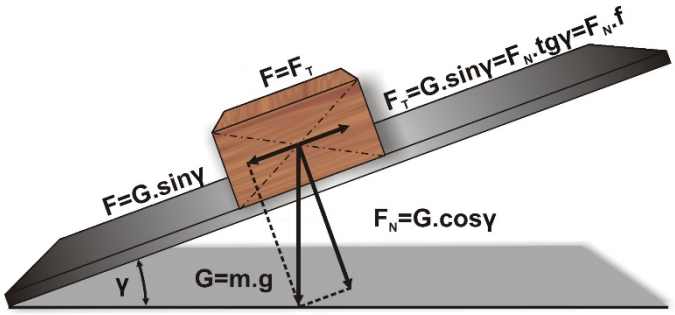
Tab. 1 Hodnoty sypného úhlu (Dzurenda, 2007)

Sypká dřevní hmota	Sypný úhel γ [°]
Smrková hoblina	44-47
Smrková pilina	50-55
Buková pilina	44-51
Smrková tříska	38-55
Brusný prach (DTD)	52-57

3.2.6. Úhel skluzu sypké dřevní hmoty

Úhel skluzu sypké dřevní hmoty je úhel, který je měřený ve stupních od vodorovné roviny, při kterém začíná sypká hmota klouzat po nakloněném povrchu.

Schéma na obr. 11 zobrazuje podmínky rovnováhy na nakloněné rovině pro stanovení úhlu skluzu a součinitele kluzného tření. Velikost úhlu skluzu závisí na povrchových vlastnostech nakloněné roviny, dále na tření mezi částmi prachu a podložkou, ale i na materiálu a povrchových vlastnostech položky. Výsledek testu je jen relativní mírou stability vrstvy a úhel zjištěný není možný na konstrukci výsypek aplikovat (Jobbágyová, 2008).



Obr. 11 Podmínka rovnováhy na nakloněné rovině pro stanovení úhlu skluzu a součinitele kluzného tření po podložce (Jobbágyová, 2008)

Dzurenda (2007) uvádí hodnoty skluzného úhlu např. u smrkové piliny při úhlu sklonu 8° a podložce z ocelového plechu 38–39° dále např. při překližce po vláknech jsou hodnoty úhlu skluzu 26°.

3.2.7. Rychlost vznosu a pádová rychlost

Pouze u částic hrubších lze zjistit s dostatečnou přesností rychlost vznosu, jsou to takové, kde tíha převyšuje podstatně adhezní i jiné přitažlivé síly. Částice u tohoto vzorku je možné rozfouknout na jednotlivé částice. Rychlost vznosu se určuje pomocí skleněného potrubí, kde se vzorek prachu vloží na drátěné síto, které jednu stranu potrubí uzavírá. Následně se pomocí stále vyšší rychlosti vzorek prosívá, až dochází k unášení jemnější frakce. K tomuto dochází při spodní hranici rychlosti vznosu. Rychlost se zvyšuje do té doby, než se zvedne mrak částic, tedy podstatná část vzorku prachu. Největší částice ulétnou při dosažení horní hranice rychlosti vznosu. Rychlost vznosu se zejména používá při výpočtu pneumatické dopravy (Hejma, 1981).

3.2.8. Granulometrické složení

Granulometrické složení dřevního prachu v celém vzorku udává početní anebo také hmotnostní zastoupení jednotlivých velikostí částic. Může se vyjádřit křivkou distribuční nebo křivkou propadu či zbytku (Kopecký, 2007).

3.2.9. Stlačitelnost dřevní hmoty

Jako procentní vyjádření původního objemu po takovém stlačení, které při dalším zvyšování tlaku již nepůsobí zmenšení objemu je definována stlačitelnost. Změna objemu probíhá ze začátku dosti strmě, materiál je měkký, rychlost změny se však stále zmenšuje, až je dosaženo stavu, kdy objem materiálu je prakticky konstantní. Materiál má v tomto stavu podobné vlastnosti jako tuhé těleso. Po ztrátě tlaku, tj. po odlehčení, se již materiál

nevrátí na původní objem, je stabilní a druhé stlačení pokud je nutné, probíhá téměř ve vodorovné přímce. Hodnota stlačení se například u pilin a prachu uvádí okolo 75 až 85 % původního objemu (Hejma, 1981).

3.2.10. Vznikající koncentrace

Koncentrace vznikajícího odpadu jsou pro různé operace a výkony strojů poměrně odlišné. Tím je dáno, že údaje o koncentracích se liší. Lze pozorovat velkou proměnlivost koncentrace, která se vyrovnává teprve při větším počtu strojů zapojených na odsávací zařízení. Nejhorším druhem odpadu je brusný prach. Koncentrace, která vzniká při broušení je dost vysoká a pokud odsávání není dokonalé, prach velmi znečišťuje prostory výrobních hal. Pro jeho nízkou hodnotu pádové rychlosti se udržují prachové částice ve vznosu poměrně dlouho. V ovzduší haly lze i po několika desítkách hodin klidu pozorovat obsah dřevního prachu (Hejma a kol.,1981).

3.2.11. Specifický povrch

Specifický povrch je důležitým parametrem, je to součet povrchů jednotlivých částic v hmotnostní jednotce. Při všech povrchových reakcích hraje tento parametr důležitou roli, zejména při explozívnosti prachu a při jeho působení na lidský organismus. Částice mívají většinou povrch nepravidelný, tupohranný a také ostrohranný, někdy též vláknitý. Ke tvaru koule má vždy daleko a z tohoto důvodu vyplývají potíže při vyjadřování granulometrického složení prachu. U všech našich domácích dřevin jsou tyto vlastnosti prakticky totožné, i když ne kvantitativně, proto v tomto směru jsou stejné i účinky na lidský organismus, které jsou dané především velkou aktivitou při styku prachu s kůží a sliznicí (Hejma a kol.,1981).

3.2.12. Abrazivnost dřevní hmoty

Z hlediska odlučování je abrazivnost jedna z nejpříznivějších vlastností prachu. Intenzita tohoto druhu opotřebení je ovlivněna množstvím, druhem a úhlem dopadu částic na exponovaný povrch a také jejich vlastnostmi (hustotou, velikostí, tvarem, tvrdostí aj.). Abrazivnost je kombinace vlastností sypkých hmot, které způsobují odírání povrchu vlastních částic a povrchu dopravního zařízení, s kterým přicházejí do styku. Stanoví se metodou číselných součinitelů tvrdosti, měrné hmotnosti, tvarů a rozměrů zrn (Jobbágyová, 2008).

$$\chi = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4$$

β_1 – součinitel tvrdosti,

β_2 – součinitel hmotnosti,

β_3 – součinitel tvaru zrn,

β_4 – součinitel rozměru zrn.

Uvádí se, že abrazivní opotřebení je malé, pokud je tvrdost částic menší než tvrdost materiálu stěn odlučovacího zařízení (Horák, 1996).

3.2.13. Elektrické vlastnosti dření hmoty

Od vlastností dřeva se velice podstatně liší elektrické vlastnosti částic dřevní hmoty. Dřevní hmoty mohou získat elektrický náboj různými způsoby jako například chemickými reakcemi, třením, absorpci iontů a plynné fáze, kondenzaci par. Nejčastěji se elektrický náboj uskuteční při tření, ke kterému dochází mezi částicemi plynu či tuhými částicemi nebo také částicemi a stěnami prostoru ve kterém se částice pohybují. Ostatní způsoby vzniku elektrického náboje, jsou spíše výjimkou. Elektrický náboj dřevní hmoty se v sypké dřevní hmotě projevuje formou koagulace, adhezí prachových částic, resp. elektrickým výbojem (Jobbágyová, 2008, Mráčková, 2006).

3.2.14. Koagulace a lepivost dřevní hmoty

Koagulaci a lepivost můžeme vysvětlit pomocí adheze neboli v obecném smyslu „přilnavost“ (je schopnost materiálu – především dvou rozdílných materiálů – spolu přilnout). Adheze částic má původ v silách molekulového původu, silách kapilárních, elektrostatických a také mechanických. Na lepivost prachu mají kromě adhezních vlastností samotného prachu podstatný vliv i provozní podmínky při odlučování (vlhkost, teplota, rosný bod čistého plynu apod.) (Horák, 1996).

Adhezivní síla vyvolává slepování částic a závisí na povrchových vlastnostech látky. Vytváří se hrudky a vzájemným narážením částeček vyvolávají především dispenzační prostředí. Částečky se přilepují tehdy, pokud disperzní prostředí nebo v něm účinkující silové pole vyvolává relativní pohyb částic vyúsťujících v nárazu. Účinkuje takto například turbulentní pohyb plynu, termický pohyb plynných molekul což vyvolává tzv. Brownův pohyb, relativní pohyb částic různé velikosti v gravitačním nebo odstředivém silovém poli v prostředí zvukových vln aj. (Jobbágyová, 2008).

Jemný prach svým zhuštěným přilepováním k větším částicím, resp. k jemné disperzní filtrační látce způsobuje intenzivnější odlučování tím, že koagulovaný prach tvoří větší shluky, které je jednodušší odseparovat, a to je hlavní problém odsávacích zařízení nebo odlučovačů prachu (Koncz, 1970, Jobbágyová, 2008).

3.2.15. Explozívnost dřevní hmoty

Explozívnost dřevní hmoty se podle Hejma (1981) rozumí schopnost rychle shořet za současného vývinu tlaku.

Způsoby shoření dřevního prachu jsou např.:

- *shoření beze změny tlaku* – při tomto procesu stačí vyvinuté teplo pouze k přenosu na sousední částice a krytí tepelných ztrát, rychlost šíření je poměrně malá (pohybuje se v jednotkách $m \cdot s^{-1}$),
- *shoření s vývinem tlaku* – při tomto procesu se při vyšším tlaku zvyšuje teplota prostředí stlačením a tím se reakce urychluje. Nastává exploze, která se šíří rychlostí zvuku (okolo 300 $m \cdot s^{-1}$),
- *shoření s vývinem vysokého tlaku* – při tomto procesu dochází k samovznícení prachu ve stlačených oblastech. Teplo si nepředávají částice, ale odebírá se z ovzduší. Tímto vnikne detonace, která se šíří rychlostí až 1000 $m \cdot s^{-1}$.

Jak Hejma (1981) uvádí, je celý proces velmi složitý. Představuje dokonalé řešení a sledování celé řady závislostí, kterými jsou zejména:

Hodnota výbuchového tlaku – je to takový maximální tlak, který by vznikl při výbuchu v uzavřené komoře. Tato hodnota je poměrně výrazně závislá na koncentraci prachu. Při minimální výbušné koncentraci potřebné ke vzniku výbuchu je též minimální tlak, kde se zvyšující koncentrací prachu roste i hodnota výbušného tlaku (max. hodnota se pohybuje okolo $6 \cdot 10^5$ Pa). Tato hodnota odpovídá situaci, kdy koncentrace prachu je o něco málo vyšší než koncentrace, při níž shoří všechen prach a spotřebuje se všechen přítomný kyslík, jde o tzv. stechiometrický průměr. U jemnějších prachů probíhá proces rychleji a s vyššími tlaky, protože hodnoty výbušného prachu jsou taktéž ovlivněny velikostmi částic prachu.

Rychlost vzrůstu tlaku – rychlost ovlivňuje druh prostředí – výbušností plynu a velikosti částic. Dosahuje hodnot až 10 $Pa \cdot s^{-1}$. Čím jsou částice menší, tím se doba shoření výrazně zkracuje, naopak hrubé částice nad 1 mm nemohou explodovat, protože

doba hoření je u nich tak dlouhá, že nenastane řetězová reakce provázaná rychlým zvýšením tlaku.

Teplota – která vzniká při výbuchu je závislá na chemickém složení – obsahu prchavých podílů, také jemnosti prachu – vlivu měrného povrchu, vlhkosti prachu – ztráty na odpaření vody, dokonalém rozptýlení prachu a na podmínkách hoření – přístupu kyslíku a promíchání prachu.

Koncentrace prachu – hlavně ve vzduchu ovlivňuje proces hoření, rychlost růstu tlaku a jeho max. hodnotu. Při minimální výbušné koncentraci stačí teplo, které vydá při hoření jedna částice právě ke krytí ztrát a zapálení další částice. Při větší vzdálenosti částic, nedochází k přenosu tepla mezi nimi, proto vzhledem ke složitosti celého fyzikálního procesu výbuchu jsou jakékoli hodnoty spíše přibližné (Hejma, 1981).

Podmínky, které jsou potřeba k tomu, aby mohlo dojít k výbuchu prachu:

1. v nosném plynu bohatém na volný kyslík musí být prach dostatečně rozptýlen a koncentrace prachu musí být mezi dolní a horní hranicí výbušnosti,

2. dostatečně jemné musí být u převážné většiny částic granulometrické složení částic (v případě dřevěného prachu po 30 μm),

3. dostatečné množství energie musí být do směsi dodáno, aby došlo ke vzplanutí takového množství částic a následné řetězové reakci a musí být hořlavý.

K explozi nedochází, pokud není splněna některá z těchto podmínek (Hejma 1981).

Naopak k iniciaci výbuchu nebo požáru může dojít mnoha jinými způsoby. Například statická elektřina je možná příčina exploze, nevětší nebezpečí je při broušení dřeva. Mezi brusným papírem a třecími částmi dřeva vzniká tzv. přeskokové napětí – čím je brusný papír jemnější, tím dochází k vyššímu napětí a větší pravděpodobnosti vzniku výbuchu. Dalším možným důvodem pro vznik exploze je nahromadění prachu ve vzduchotechnickém zařízení, kde pak může dojít k jeho samovznícení. Samovznícení rozumíme fyzikálně-chemický proces absorpce kyslíku povrchem částic (Hejma 1981).

3.3. Ovlivňující faktory velikosti dřevěného prachu při broušení

Proces odbrušování od brouseného produktu způsobuje „systém zlomů“ na povrchu dřeva a jeho výsledek je dřevní prach. Nejdůležitější charakteristika ovlivňující

tvoření prachu je anizotropní charakter dřeva (dřevo je jednodušší rozdělit podél letokruhů, než napříč letokruhy). Z tohoto důvodu je důležité poznat anatomickou strukturu dřeva, abychom lépe pochopili chování dřeva v procese broušení (Ratnasingam a Scholz, 2004).

Mikroskopická a submikroskopická struktura dřevin a její vliv na proces řezání či broušení je v současné dostupné literatuře opomenutý. I přesto, že zásadně ovlivňuje strukturu a fyzikálně mechanické vlastnosti dřeva. Letokruhy, chyby dřeva, podíl jádrového a bělového dřeva, struktura extraktivních látek ve dřevě jsou znaky, které by měli být sledované.

Jehličnaté dřeviny mají relativně jednoduchou strukturu, jsou složené hlavně z podlouhlých buňkových elementů neboli tracheid, které poskytují převážně stavební oporu a vedení vody, dále vodorovných radiálních elementů, které slouží jako příčné cesty pro vedení a zásobování živinami (Ratnasingam a Scholz, 2004).

Při porovnání mají listnaté dřeviny složitější buňkovou strukturu, vyznačují se přítomností cév. Tyto typické elementy umožňují čerpání vody v kmeni stromů. V kolmém řezu se jeví jako póry na povrchu. Libriformními vlákny je poskytnuta stavební opora, i když všechny lignifikované buňky poskytují nějakou oporu (Požgaj a kol. 1997).

Jak uvádí Požgaj a kol. (1997), vlastnosti dřeva jsou ovlivňovány v největší míře buňkovými elementy s největším podílem ve dřevě. U jehličnatých dřevin jsou to letní a jarní tracheidy u listnáčů libriformní vlákna a parenchymatické buňky.

Při procesu broušení mají vliv mechanické vlastnosti, jako hlavně pevnost v ohybu, pevnost ve smyku, pevnost v tahu, houževnatost. Dřevo má v radiální a tangenciální rovině malou smykovou pevnost. Pevnost ve smyku u listnatých dřevin je přibližně 1,5krát vyšší než u jehličnatých dřevin. V kolmém směru na vlákna je smyková pevnost 3,5 až 5krát větší jako ve směrech podlouhlých, rovnoběžných s vlákny (Lisičan, 1988). Velikost třísky ovlivňuje ohybová pevnost dřeva. Ohybová pevnost jehličnatého dřeva je menší než u listnatých dřevin.

V tabulce 2 jsou uvedeny vlastnosti Buku lesního (*Fagus sylvatica*).

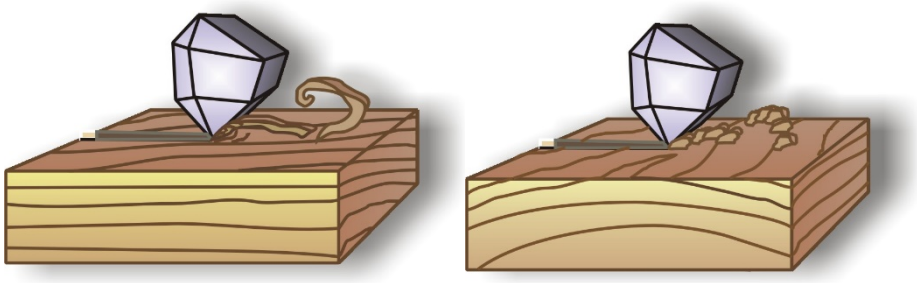
Tab. 2 Buk lesní (*Fagus sylvatica*) (Požgaj a kol. 1997)

Dřevina	hustota (w = 0%) ρ_0 ($g \cdot cm^{-3}$)	Pevnost (MPa) (wa = 10-12%)										
		v tlaku			v tahu			v ohybu		v smyku		
		podél vl.	*kolmo na vl.*		*podél vl.*	*kolmo na vl.*		*rad. R*	*tan. T*	*podél vl.*		*kolmo na vl.*	
		L	*rad. R*	*tan. T*	*L*	*rad. R*	*tan. T*			*rad.*	*tan.*	*rad.*	*tan.*
Buk lesní *Fagus silvatica*	0,684	56,7	12,9	8,5	133,5	3,4	4,4	124		12,6	15,1	14,2	10,2

3.3.1. Tvar a tvorba třísky při vybraných modelech broušení

Geometrický a morfologický tvar vznikající třísky zásadně ovlivňuje druh materiálu, z kterého se odvíjí další vlastností dřevní hmoty, které vychází z anizotropie dřeva a jeho anatomické struktury.

Struktura dřeva ovlivňuje způsob přeřezávání vláken viz obr. 12.



Obr. 12 Způsob tvorby třísky při podélném a příčném broušení (Jobbágyová, 2008)

Jak uvádí Lisičan (1988) v literatuře jsou vybrané modely charakterizované takto:
Řezání podélné je charakterizované:

- kolmou plochou ostří na dřevěná vlákna,
- rovnoběžným pohybem ostří s dřevěnými vlákny,
- rovnoběžností plochy řezu s dřevěnými vlákny.

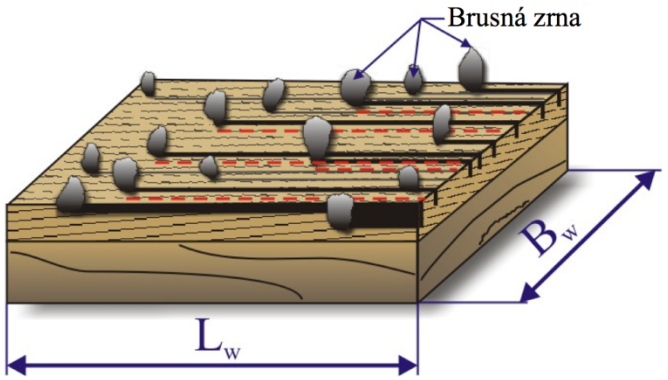
Řezání kolmé – tangenciální je charakterizované:

- rovnoběžnou polohou ostří s vlákny,
- rovnoběžností plochy řezu s vlákny,
- kolmostí vektoru pohybu ostří na vlákna.

3.3.2. Technologické podmínky při broušení dřeva

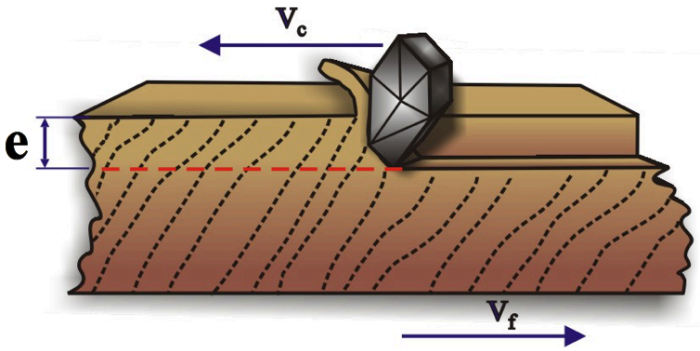
Dřevní prach (tříska) vzniká v procesu broušení, kde tvar, rozměry a množství je závislé na fyzikálně-mechanických vlastnostech dřeva, na tvaru, rozměru, ostrosti brusných zrn a technických podmínek realizace procesu broušení. Velikost dřevního prachu a jeho morfologický tvar má vliv na ostatní povrchové vlastnosti částic, jako je sypká hustota, mezerovitost a hustota souboru částic. Velikost částic vychází především z geometrie řezného nástroje.

Broušení je charakterizováno jako speciální druh řezání, při kterém brousícím prostředkem postupně odstraňujeme nerovnosti povrchu obrobku. Brousícím materiálem je aglomerát, kde je mnoho malých jednotlivě k sobě přiřazených klínků různého nepravidelného tvaru – tzv. brousících zrnek, které z dřeva vyrývají makročástice dřeva – dřevěný prach viz obr. 13 (Jobbágyová, 2008).



Obr. 13 Broušení brusnými zrny L_w- řezná délka, L_w- šířka řezného pásu (řezná šířka) (Jobbágyová, 2008)

Každé zrno s jeho rozmanitým tvarem, které vzniklo při drcení s větší zápornou geometrií, je samostatným rydlem, odrývající dřevěné drobné částice, které potom hrne před sebou ve formě dřevěného prachu zaplňujícího prostory mezi zrnky (Lisičan, 1998).



Obr. 14 Proces odebírání třísky brusným zrnem e – hloubka řezu, v_c – řezná rychlost, v_f – rychlost posuvu (Jobbágyová, 2008)

Můžeme zjednodušeně vzniklé rozměry dřevěného prachu charakterizovat takto:

- je dána stupněm vniknutí klínu do obrobku,
- šířka je daná šířkou ryté, škrabané drážky vytvořené jedním řezným zrnem (ostřím),
- délka je obyčejně daná dráhou ostří přes obrobek, ale je také ovlivněna dalšími faktory, které byly již uvedeny.

Zrnitost brousícího materiálu, je dána počtem ok dávkovacího síta na určitou část plochy (palce), čím je vyšší zrnitost, tím jemnější je povrch obroušené plochy a tím vzniklý prach je drobnější a naopak, čím nižší zrnitost si zvolíme, tím větší částice v procese broušení získáme.

Druhy posypu podle Jobbágyová (2008) jsou:

1. otevřený – nosný materiál je pokrytý asi na 50 % brousícím zrnem,
2. polootevřený – nosný materiál je pokrytý na 75 % brousícím zrnem,
3. hustý – nosný materiál je pokrytý celoplošně brousícím zrnem.

Při broušení dochází k procesu samoostření, olamovaní zrn, vypadávání opotřebených zrn, takže se velikost částic výrazně nemění. K mírné změně by mohlo dojít při celkovém opotřebení brousícího papíru. Mezi kinematické parametry ovlivňující velikost a tvar vzniklých částic patří řezná rychlost, měrný specifický tlak, nebo také rychlost posuvu. Můžeme takto předpokládat, že čím větší bude řezná rychlost, tím menší budou vzniklé částice. Při vyšší přítlačné síle budou mít částice větší rozměry (Ratnasingam a Scholz, 2004).

3.3.3. Stanovení průměrné tloušťky třísky vzniklé při broušení:

Průměrná hloubka třísky [mm]:

$$t = \frac{v_f}{\frac{v_c}{2g_w} c_n \cdot \delta} \sqrt{\frac{e}{D}}$$

e – hloubka řezu [mm],

δ – řezný úhel,

g_W – průměrná šířka brusného zrna.

Řezná rychlost [$m.min^{-1}$]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n$$

Výkonost obrábění [$mm^3.min^{-1}$]:

$$Q = b_w \cdot e\left(v_f \cdot 1000\right)$$

b_w – šířka řezu [mm],

v_f – rychlost posuvu [$m.min^{-1}$],

e – hloubka řezu [mm].

Množství materiálu obroušeného aktivním zrnem [mm^3]:

$$V_z = \frac{Q}{c_n \cdot B_w \cdot D \cdot n \cdot \pi}$$

c_n – počet aktivních zrn na mm^2 brusného pásu,

B_w – šířka brusného pásu [mm],

D – průměr setrvačníku [mm],

n – otáčky [min^{-1}] (Jobbágyová, 2008).

3.4. Dřevní prach a jeho biologické účinky na lidský organismus

Biologické účinky dřevního prachu na lidský organismus se skládají z faktorů mechanických, fyzikálních a chemických. Jsou to účinky, které mohou být dráždivé (projevují se drážděním horních cest dýchacích, sliznic) dále očí, různými kožními nemocemi, také alergické reakce a v neposlední řadě vážná onemocnění jako například astma, rakovina hrtanu či nosu.

Prach z dřeva tvrdých listnatých stromů dubu a buku, podle německých výzkumných prací Schlossler – Kirsch – Lassmann, (1973) Wolf et al., (1986) patří mezi škodlivé látky s důvodným podezřením na karcinogenní účinky sliznic nosních dutin.

Částice dřevního prachu dle Hejma (1981) vznikají v různých procesech výroby. Jako jsou dělení, obrábění a jsou nazývány sypká dřevní hmota. Značná část těchto odpadů, vystupuje právě v podobě prachu. Tyto prachové částečky vzhledem k jejich nevelké hmotnosti mají tendenci vířit se, což je jeden z hlavních aspektů zhoršení bezpečnosti práce a hygieny na pracovním prostředí. Částečky prachu jsou ve vzduchu rozptýleny a jsou ve vznosu, doba jejich sedimentace v relativně klidném prostředí je dána funkci jejich hmotnosti a velikosti. Z tohoto vyplývá, že částice stejného objemu, avšak větší hustoty mají dobu sedimentace menší, úměrnou jejich hustotě. Na druhé straně částice o stejné hmotnosti, avšak různém objemu sedimentují tak, že částice s větším objemem sedimentují déle. Znečištění vzduchu prachem je jedním z nejhlavnějších problémů podniku.

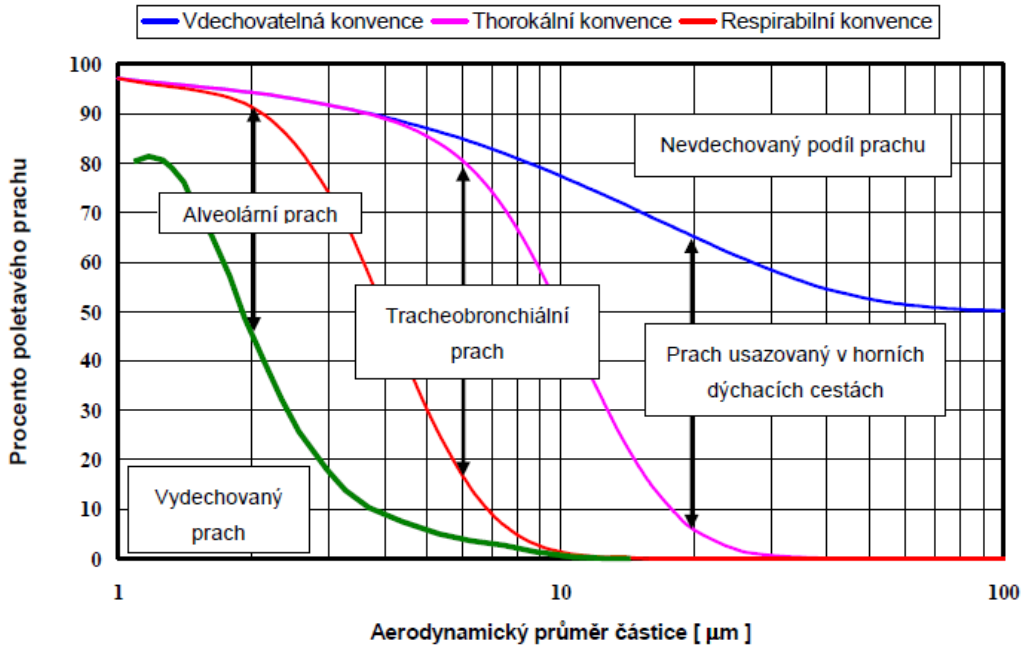
Pro svoje převážně fyzikální a fyzikálně-chemické vlastnosti, které jsou malé rozměry, hydroskopičnost, velký specifický povrch, chemická reakce s vodou a jinými kapalinami má dřevní prach na lidský organismus škodlivé účinky. Je proto převážně z hlediska hygienických předpisů kladena veliká pozornost na množství poletavého prachu v pracovním prostředí. Nejčastější a poměrně hlavní cestou vstupu prachu do lidského organismu jsou dýchací cesty. V horních cestách dýchacích jsou zadržovány hrubé prachové částice. Nosní dutina je vystlána pohybujícím se řasinkovým epitelem, kterým se prachové částice dostávají s hlenem do nosohltanu a jsou spolknuty, vykašlány nebo vykýchány. Pravděpodobnost průchodu do plicních sklípků stoupá se zmenšující se velikosti částic, pro částice velikosti 3 μm je tato pravděpodobnost vyšší než 50 %. Z hlediska zdravotního je frakce prachu tvořená malými částicemi, která je vdechnuta až do plic tím nejnebezpečnějším (Hollerova, 2007).

Pro pracovní prostředí jsou hraniční částice, které jsou menší jak 100 μm, protože jsou charakterizované jako vzduchem se vznášející prachové částice dostávající se do nosní a ústní dutiny a hrtanu (Hemmilä a Gottlöber, 2003). Polétavý prach přestavuje sumu částic různé velikosti, které jsou volně rozptýlené v ovzduší. Gravitace, odpor vzduchu, proudění vzduchu, elektrická přitažlivost nebo odpudivost jsou fyzikální vlivy, které při různých velikostech působí na chování dřevního prachu. Dlouhodobé vystavování lidského organismu prašnému prostředí, kde je velká koncentrace malých prachových částic vyvolává u lidí onemocnění tzv. pneumokoniózu neboli zaprášení plic, které vede k poruše funkce plic (Dzurenda, 2007). Také dle Dzurenda (2007) dřevní prach z některých tropických dřevin například diambi, bitangor, mambodé je toxický a biologicky velmi agresivní, vyvolává u člověka celkovou nevolnost. Při dlouhodobému vystavení člověka prachu z těchto dřevin vyvolává onemocnění kůže a závažné onemocnění alergologického charakteru. Dále může vyvolat účinek některých tropických dřevin zánět spojivek a také kašel.

Pro pracovní prostředí se používají k posouzení prašnosti termíny vztahující se k jednotlivým frakcím prachu, tj. vdechovatelná, také celková prašnost, thorakální a respirabilní frakce. Stanovuje se obvykle celková prašnost, u prachů s možnými nebo převážnými fibrogenními účinky se stanovuje i frakce respirabilní. U fibrogenních prachů je nutné stanovit i obsah fibrogenní složky, protože od ní se odvozují limitní hodnoty pro respirabilní frakci. Frakce thorakální se v pracovním lékařství zatím nehodnotí (Hollerová, 2007).

Kromě fyzikálních, chemických a biologických vlastností má velký význam z hlediska ohrožování lidského zdraví velikost částic prachu. Dle Hůnová (2004) je podstatná skutečnost, jak hluboko se částice dostanou do dýchacího ústrojí lidského organismu. Frakce prašného aerosolu, kterou lze vdechnout nosem a ústy, se označuje jako vdechovatelná frakce (inhalable), hmotnostní frakce polétavého prachu. Částice, které pronikají za hrtan, jsou označovány jako thorakální frakce (thoracic). Vdechované částice pronikající do patnácti dýchacích cest, kde není řasinkový epitel, se nazývají respirabilní frakce (Hollerová, 2007). Vztah těchto frakcí s aerodynamickým průměrem částic je naznačený na obr. 15.

Můžeme také suspendované částice rozlišit jako primární a sekundární, první zmíněné vznikají na zdrojích znečišťujících ovzduší. Sekundární pak vznikají chemickými reakcemi v atmosféře (Braniš, M., Hůnová, I.,2009).



Obr. 15 Vdechovatelná, thorakální a respirabilní konvence jako procento z poletavého prachu (Kopecký, 2007)

Z důvodu, že většina pracovních činností člověka je spojena s uvolňováním prachu, je nutné koncentrace prachu v pracovním ovzduší sledovat, hodnotit a vytvářet následně taková opatření, aby nedocházelo k poškození zdraví, případně aby poškození zdraví bylo minimální. Koncentrace aerosolu buď hmotnostní, nebo početní v objemové jednotce vzduchu vyjadřuje míru znečištění ovzduší prachem. Pro stanovení prašnosti se používá metoda gravimetrická a zjištěné hmotnostní koncentrace prachu se vyjadřují v $mg \cdot m^{-3}$. U vláknitých prachů se pro posouzení prašné situace používá koncentrace početní, tj. počet vláken na jednotku objemu. Počet vláken se stanovuje z odebraných vzorků prachu mikroskopicky (Hollerová, 2007).

Je proto na místě věnovat této oblasti velikou pozornost, provádět výzkumy, které je následně potřeba promítnout do opatření ke zlepšení životního prostředí a také ke zdokonalování osobních ochranných pomůcek při pracovním procesu.

3.4.1. Prach jeho rozdělení z hlediska působení na člověka

Prach dělíme podle různých kritérií, základní dělení je na toxický a netoxický prach. Podle původu získáme skupiny prachu, od kterých se pak odvíjejí účinky na lidský organismus. Následné dělení prachu podle účinků je v našich předpisech používáno při hodnocení prašnosti v pracovním prostředí. Dělíme prachy z hlediska působení na člověka na:

1. prachy s převážně nespecifickým účinkem – nemají dráždivý, fibrogenní účinek, např. prach z hnědého uhlí, vápence, mramoru, umělých brusiv aj.,
2. prachy s fibrogenním účinkem – obsah fibrogenní složky větší jak 3 % způsobuje tvorbu vaziva v plicích, např. křemen, kristobalit, tridimit aj.,
3. prachy s převážně fibrogenním účinkem, např. slída, talek, saze aj.,
4. prachy s dráždivým účinkem, případně senzibilizujícím účinkem, vyvolávají nespecifické zánětlivé změny, např. minerální – cement, oxid vápenatý, hořečnatý atd. Textilní – bavlna, len, konopí, hedvábí aj., živočišné – peří, vlna, srst a ostatní živočišné prachy atd., rostlinná – mouka, tabák, čaj, káva, koření, obilní a dřevní prachy,
5. minerální vláknité prachy, např. azbest (Hollerova, 2007, Hrnčíř, 2006).

3.4.2. Prašnost na pracovišti a její měření

K nejrozšířenějším škodlivinám patří prach, se kterým se člověk setkává jak v běžném životě, tak při svých pracovních činnostech. Rozsah škodlivých účinků prachu na člověka je velmi široký, při jejich hodnocení záleží na původu, vlastnostech a velikosti prachu, na jeho koncentraci v ovzduší, na délce a podmínkách působení i na individuální vnímavosti člověka na prach. V tomto směru je i rozsáhlá legislativa, která zahrnuje předpisy pro pracovní prostředí, venkovní prostředí i vnitřní pobytové prostory (Hollerová, 2007).

Účel měření prašnosti v praxi:

- hodnocení technologického postupu a efektivnosti dopravy materiálu a aspiračních procesů,
- zařazení provozů, technologií a technologických části z pohledu proti výbuchové prevence,

- stanovení preventivních protiprašných a proti výbuchových opatření,
- stanovení vhodných period úklidu,
- celkové posouzení prašných poměrů hodnoceného prostoru,
- kategorizace prací z hygienického hlediska.

3.4.3. Druhy měření prašnosti

Rozeznáváme podle druhu odběru 4 druhy měření:

- měření koncentrace polétavého prachu uvnitř technologií,
- měření sedimentující prašnosti na technologii a v jejím okolí,
- speciální měření koncentrace prachu v dopravních potrubích tzv. izokinetické odběry, měření účinnosti odlučovačů nebo filtračních zařízení,
- hygienická měření polétavého prachu na pracovištích pro stanovení kategorizace prací
- jednorázové měření – principem odběru vzorků u tohoto druhu měření je prosávání známého množství vzdušiny přes filtr. Odebrané vzorky se zpracují v laboratoři a vyhodnotí gravimetricky (Kulich, 2015).

Odběry se provádí jak z vnitřních prostor, tak i z prostoru vně technologických zařízení pomocí speciálně upravených sond, například z upravených přesypů, drtičů, odlučovačů, filtračních zařízení, a podobně (Kulich, 2015).

3.4.4. PEL – Přípustný Expoziční Limit

PEL neboli *přípustný expoziční limit* chemické látky nebo prachu je celosměnový časově vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimž mohou být podle současného stavu znalostí vystaveni zaměstnanci při osmihodinové pracovní době, aniž by u nich došlo i při celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví, k ohrožení jejich pracovní schopnosti a výkonnosti. Na základě dlouhodobých studií byly vytvořeny předpisy, podle kterých se měří a posuzují účinky prachu v pracovním prostředí (Hollerová, 2007).

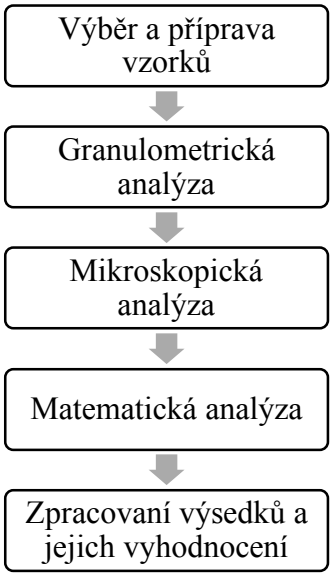
ČSN EN 481 je základní norma Ovzduší na pracovišti. Tato norma definuje konvence pro odběr vzorků velikostních frakcí, jež musí být používány pro hodnocení účinků polétavého prachu vdechovaného na pracovišti. V praxi jsou tyto konvence používány pro specifikaci přístrojů pro odběr polétavého prachu k měření koncentrací odpovídajících definovaným frakcím (Hollerova, 2007).

3.4.5. Preventivní opatření pro snížení prašnosti:

- *technická* – změna technologie (nahrazování původní technologie takovou, u které vzniká nižší prašnost, nebo je prach méně závažný, popř. vůbec nevzniká),
- uzavření zdrojů prašnosti (kapotování stropů, přesypů apod.),
- místní odsávání (zdroje prašnosti),
- srážení prachu zkrápěním vodou,
- ředění prašnosti v pracovní zóně (celkové větrání, oblastní větrání, volit směr proudění vzduchu tak, aby pracovník nebyl v proudu znečištěného vzduchu),
- izolování pracovníka od prostředků se škodlivou prašností (kabiny, velíny).
- *Organizační* – dodržování určitého způsobu a režimu práce např. neodstraňovat usazený prach ofukováním stlačeným vzduchem,
- zabraňovat zvířování usazeného prachu úklidem, postřikem podlah vodou apod.,
- zkrácení expozice prachu,
- snížení počtu zaměstnanců vystavených působení prachu,
- posuzování zdravotní způsobilosti k práci,
- *náhradní* – pomocí osobních ochranných pomůcek na ochranu dýchacích orgánů (protiprašné filtry a respirátory),
- *pomocí preventivních prohlídek* – minimálně jednou za dva roky základní vyšetření a vyšetření funkce plic, (Hrnčíř, 2006).

4. MATERIÁL A METODIKA

Při řešení diplomové práce byl použitý následující metodický postup:



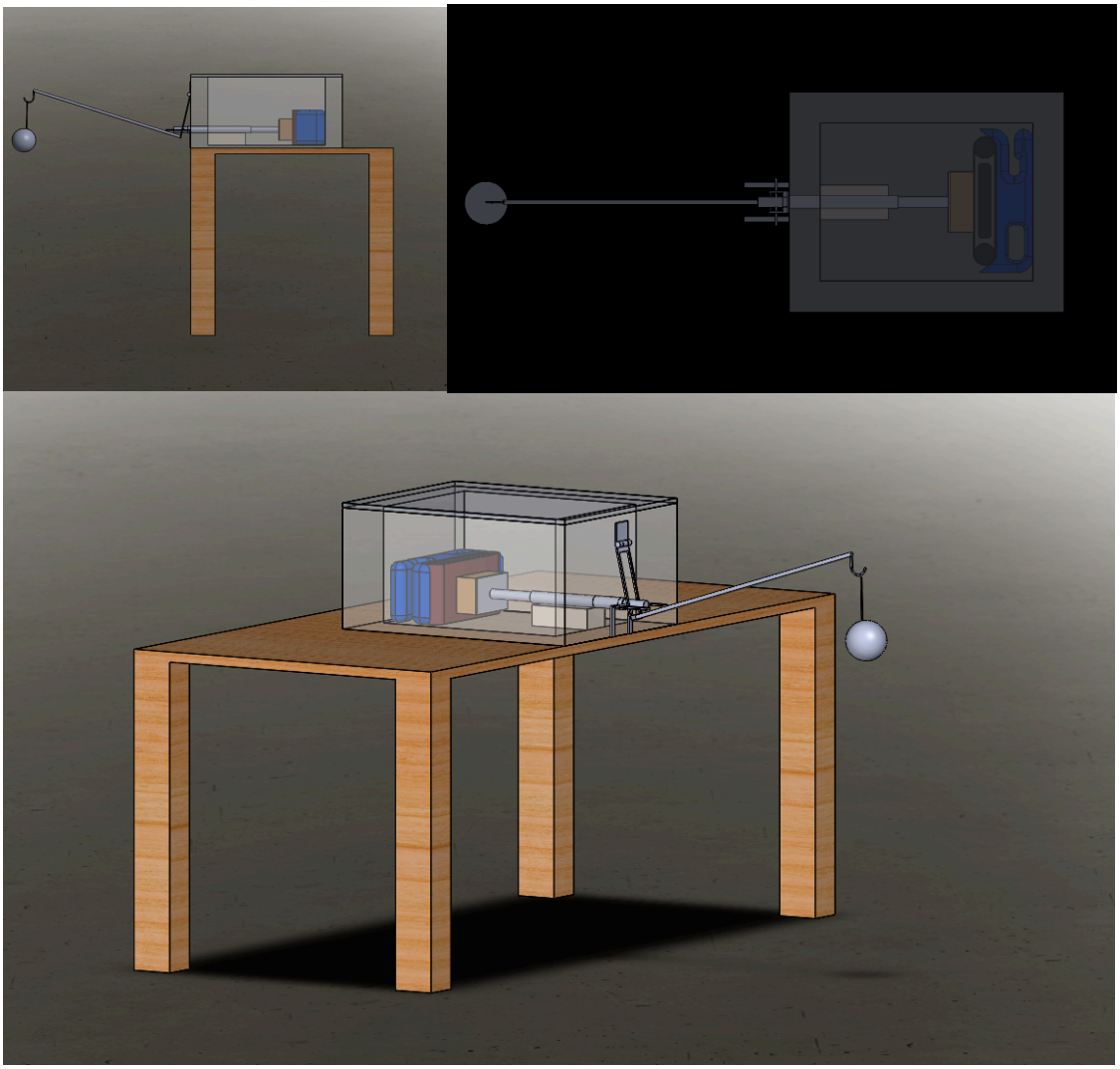
Obr. 16 Metodika práce

4.1. Zkušební stend

K hodnocení vlastností dřevních částic je nutné volit strojní zařízení a takový nástroj, při kterém je vznik dřevního prachu typický. Podle technologických postupů výroby v dřevozpracujícím průmyslu byl uzpůsoben model broušení.

K získání vzorků dřevního prachu byl použit stend, který byl vyroben přímo pro účely tohoto měření. Stend je hermeticky uzavřen, aby nedocházelo k únikům nejmenších poletavých částic prachu.

Pro experimentální získání dřevního prachu, byla použita ruční pásová bruska. Vzorky byly broušeny v příčném a podélném směru do doby, dokud objem získaného dřevního prachu nedosáhl alespoň 50 g. Z důvodu zachování stejných podmínek při všech vzorcích byl pro každý jednotlivý vzorek požit nový brusný pás.



Obr. 17 Zkušební stend

4.1.1. Parametry v procesu broušení:

Strojní zařízení:

Pásová bruska ED3900XF-4 360 m/min.

Nástroj:

Brusný pás

- délka brusného pásu 610 mm,
- šířka brusného pásu 100 mm,
- zrnitost brusného pásu 80.

Měrný specifický tlak:

Broušený vzorek byl k brousícímu pásu přitlačován konstantní přítlačnou silou pomocí pákového mechanizmu – měrný specifický tlak = 0.40 $N \cdot cm^{-2}$.

Obr. 18 Pásová bruska

4.2. Odběr prachu

K určení emise prašnosti při broušení byla navržena metodika odběru prachu z vnitřního prostoru boxu s bruskou. Konstrukce stendu umožnuje dobře uzavřít prostor okolo brusky při broušení. Před každým měřením probíhalo pečlivé vyčistění prostoru okolo brusky a brusky samotné. Následně byl box neprodyšně utěsněn pomocí pružného těsnění. Potom byla odbroušena vrstva z obrobku tak, aby množství dřevního prach bylo minimálně 50 g. Po sedimentaci prachu (cca 30 min.) byl vzniklý prach odebrán ručně pomocí stěru do předem připravených sklenic s víčky na závit a připraven ke granulometrické analýze.

4.3. Materiál

Jako materiál byl zvolen modifikovaný buk při teplotě 180 °C, 200 °C a nativní buk viz obr. 19. Vzorky byly modifikované v poloprovozní laboratorní komoře (Katres spol. s.r.o.) po dobu 3 hodin v prostředí páry. Záznam procesu tepelné modifikace je znárodněn na obr. 20 a 21.

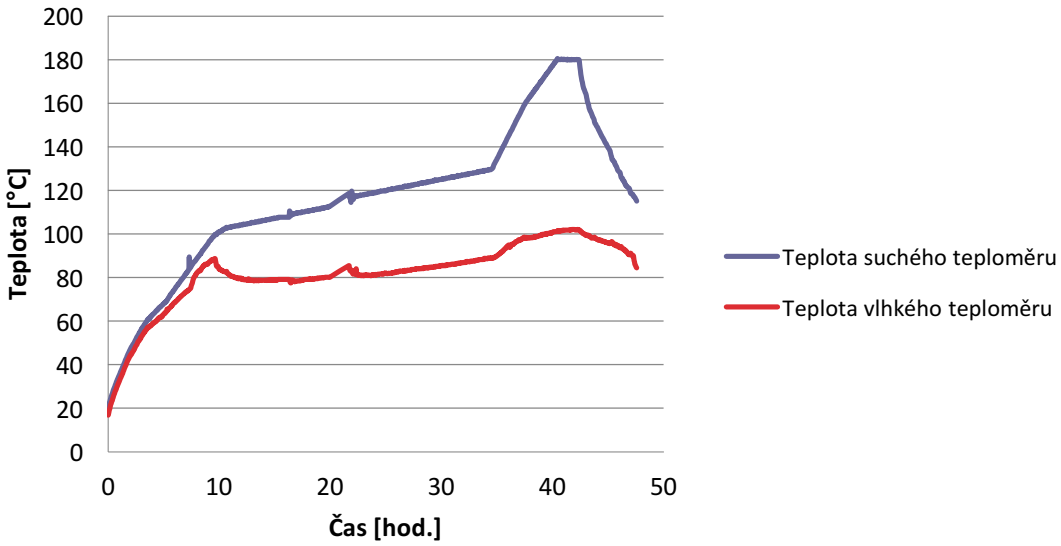
BK THERMO- 180 °C THERMO- 200 °C

Obr. 19 Použitý materiál

Tab. 3 Použitý materiál

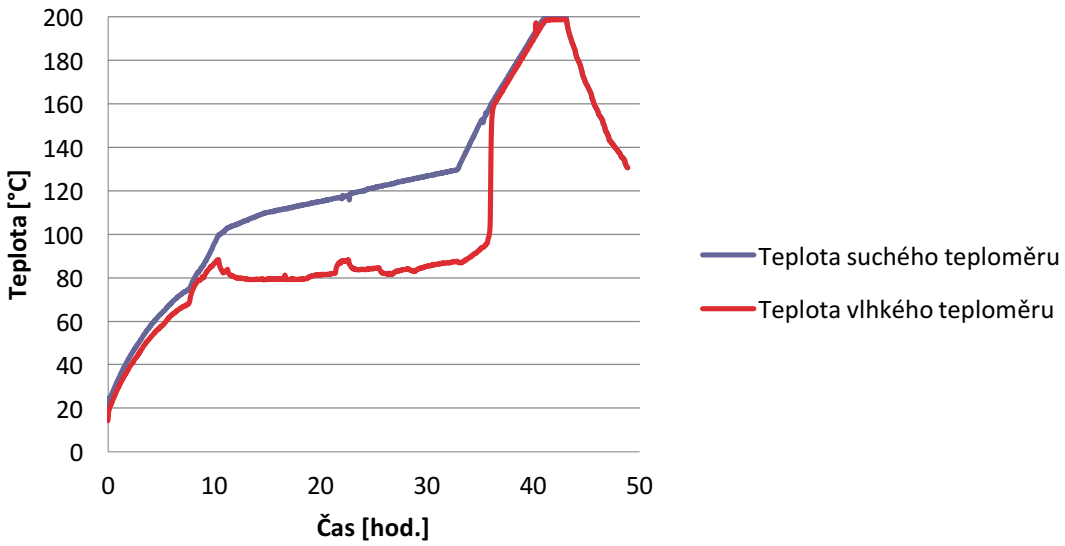
Dřevina	Proces	Hustota $[kg \cdot m^3]$		Hmotnostní úbytek [%]	Rovnovážná vlhkost [%]
		neošetřené	ošetřené		
BK nativní	-	723,6	-	-	12,9
THERMO – 180 °C	proces I = 180 °C	719,0	694,4	3,42	6,8
THERMO – 200 °C	proces II = 200 °C	742,3	677,4	8,73	4,9

Proces I



Obr. 20 Proces ohřevu THERMO – 180 °C (Čermák, 2013)

Proces II



Obr. 21 Proces ohřevu THERMO – 200 °C (Čermák, 2013)

4.4. Stanovení hustoty a vlhkosti

Hustota dřeva se mění v závislosti na druhu dřeva, struktuře dřeva, jeho vlhkosti a v neposlední řadě také závisí na stanovištních podmínkách (Kopecký, 2007).

Dřevní substance je u rostlého dřeva hmota buněčných stěn bez submikroskopických dutin, lumenů a mezibuněčných prostor (Dubovský a kol., 2003). Tato veličina víceméně nezávisí na druhu dřeviny a průměrně se udává jako 1530 $kg \cdot m^{-3}$ (Horáček, 1998).

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

ρ_s – hustota dřevní substance $[kg \cdot m^{-3}]$,

m_s– hmotnost dřevní substance $[kg]$,

V_s– objem$[m^3]$.

Objemová hustota dřeva je vztažená k objemu dřeviny, který je ovlivněn konkrétní strukturou dřeva a vlhkostí. Pro porovnání výsledků a použití při teoretických výpočtech je vhodná hustota v absolutně suchém stavu (Horáček, 1998).

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}$$

ρ_w – hustota dřeva při dané vlhkosti $[kg \cdot m^{-3}]$,

m_s – hmotnost zkušebního tělesa $[kg]$,

V_s – objem zkušebního tělesa $[m^3]$.

Pro stanovení vlhkosti dřeva *w* byl pro nativní buk použit digitální vlhkoměr HMB – WS25. U tepelně modifikovaných vzorků byla vlhkost dřeva převzata od Čermák (2013). Vzorky byly před broušením vystaveny po dobu 30 dní relativní vlhkosti 65±5 % a teplotě 20–25 °C.

Obr. 22 Digitální vlhkoměr HMB – WS25.

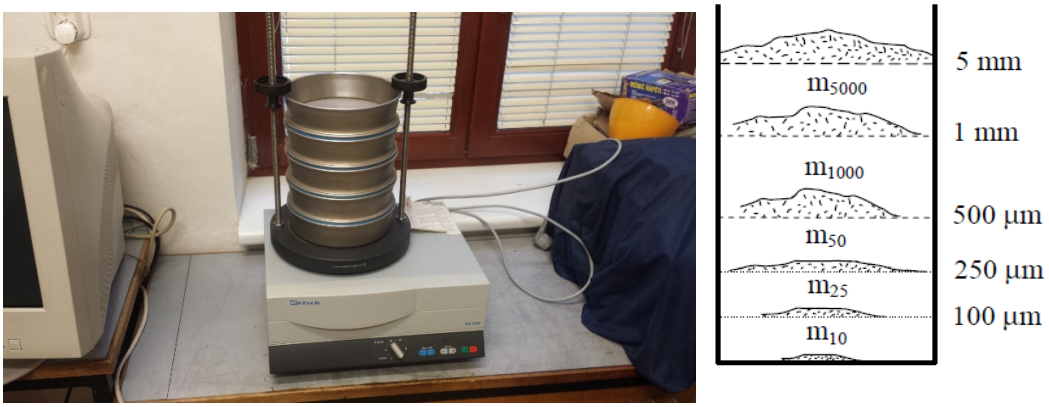
4.5. Granulometrická analýza

Granulometrická analýza je metoda, pomocí které se zjistí distribuční rozložení jednotlivých frakcí částic. Částice dřevního prachu z broušení dřeva mají různou velikost a tvar, z tohoto důvodu je třeba zjistit jejich zrnitost. Určení granulometrického složení je důležité pro posouzení chování prachu jako je například vliv na možná zdravotní rizika, schopnost odhlučňovaní, schopnost usazovaní, nebezpečí exploze aj. Vyjadřuje se graficky distribuční křivkou, nebo křivkou propadu či zbytku.

Pro granulometrickou analýzu byla zvolena metoda síťovaní, její pomocí byly zjištěny rozměry jednotlivých částic. Granulometrická analýza byla provedena pomocí přístroje Retsch AS 200 digit s možností plynulého nastavení amplitudy vibrací sít ve třech osách. Přístroj je vybaven síty o rozměrech 5 mm, 1 mm, 500 µm, 250 µm a 100 µm podle ISO 565 (DIN ISO 3310-1), amplituda vibrací byla nastavena na hodnotu A = 1 mm, čas síťování na hodnotu t = 10 min. V přístroji se částice dřevěného prachu protřepávají ve třech osách a vždy se nastaví tak, aby prošly okem síta.

Na přesných digitálních vahách Vibra AJ – 420 – CE s přesností ± 0,001 g, byly zváženy částice, které propadly přes jednotlivá síta.

Obr. 23 Váha Vibra AJ – 420 – CE



Obr. 24 Retsch AS 200 digit a schéma síťovaní (Kopecký, 2007)

Granulometrická analýza byla provedena pro všechny experimenty a z ní byly sestrojeny histogramy rozložení částic a křivky propadu.

Následná mikroskopická analýza jemného dřevního prachu byla provedena pro částice (do 100 μm), které propadly přístrojem až na dno.

IM AS 200 interní metodický postup pro stanovení podílu prachové frakce:

1. Zapíšeme do tabulky hodnoty, jednotlivých čistých sít sestavy síťové analýzy a dna, které jsme navážili na laboratorních vahách s přesností ±0,001 g.
2. Na vibrační síťovací stroj AS 200 se umístí sada sít v uspořádání od sít s největší velikostí mezer v pletivě po nejmenší ukončené dnem.
3. Na horní síto síťovacího stroje se nasype na laboratorních vahách odvážený vzorek.
4. Uzavře se sada sít skleněným víkem a po jeho ukotvení utahovacími šrouby se vzorek síťuje po dobu t = 10 min.
5. Po ukončení síťování se jednotlivá síta s frakcí částic na sítech odváží a zapíšou do tabulky.
6. Hmotnost frakce částic se stanoví odčítáním hmotnosti síta s frakcí částic po síťování a hmotností síta před síťováním.
7. Síťovou analýzu můžeme považovat za správnou, pokud podíl hmotnosti frakcí k hmotnosti navážky je v intervalu 0,98–1,0.

Prosívání dřevěného prachu je zdánlivě jednoduchý úkon, který ale v sobě zahrnuje celou řadu složitých vedlejších účinků. Prosívání vyžaduje odbornou připravenost a precizní práci. Je zřejmé, že fyzikální vlastnosti dřevěného prachu jako například směr pohybu, frekvence a amplituda pohybu síta mohou ve značné míře ovlivnit požadované výsledky. Ať už prosívání vzorku trvá jakkoliv dlouho, úplné roztřídění není v podstatě možné. V důsledku vzájemného tření a srážek částic může dojít k jejich dalšímu rozdrobování, a proto hrozí nebezpečí podstatného zkreslení výsledků (Koncz, 1970).

4.6. Mikroskopická analýza částic menších než 100 μm

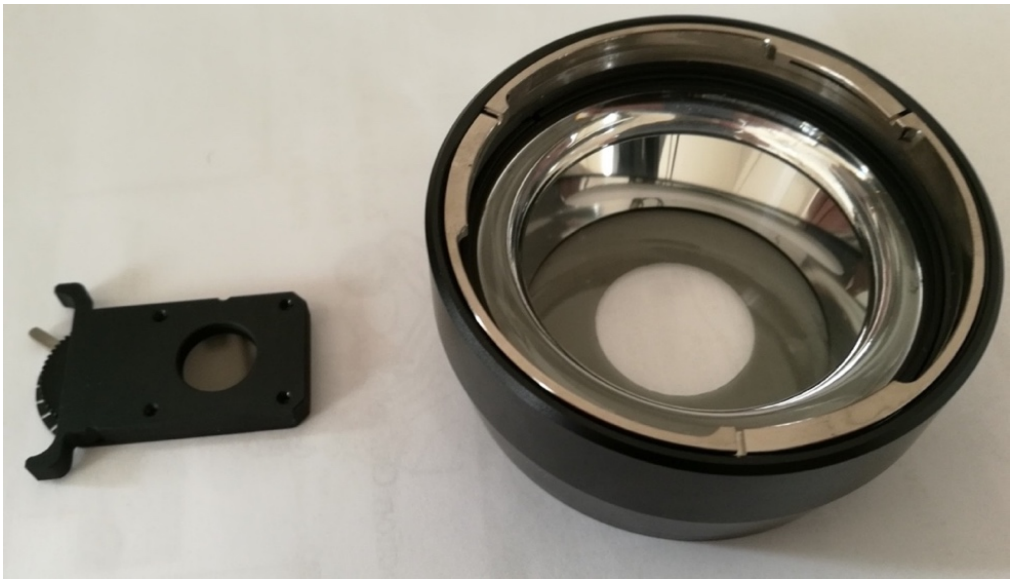
Pro částice menší než 100 μm byla použita mikroskopická analýza částic. Mikroskopické snímky byly hodnoceny graficky pro frakci menší než 100 μm získané pomocí sítové analýzy. Z ohledu vdechovaní jsou nejnebezpečnější zrna prachu

o velikosti 0,25 až 5 μm (Koncz, 1970). U každého vzorku bylo analyzováno přibližně 20000 prachových částic, ty byly podrobeny pravděpodobnostní analýze výskytu.

Pomocí systému analýzy a zpracování obrazu digitálního mikroskopu Keyence VHX – 5000, který měří tvar předmětu pomocí ostření a rozostření obrazu tzv. Focus Variation, byly zkoumány vzorky částic, které propadly až na dno síťovacího přístroje (velikost částic pod 100 μm).

Digitální mikroskop Keyence VHX – 5000 (obr. 26) je umístěn v biometrické laboratoři Ústavu hospodářské úpravy lesu a aplikované geoinformatiky.

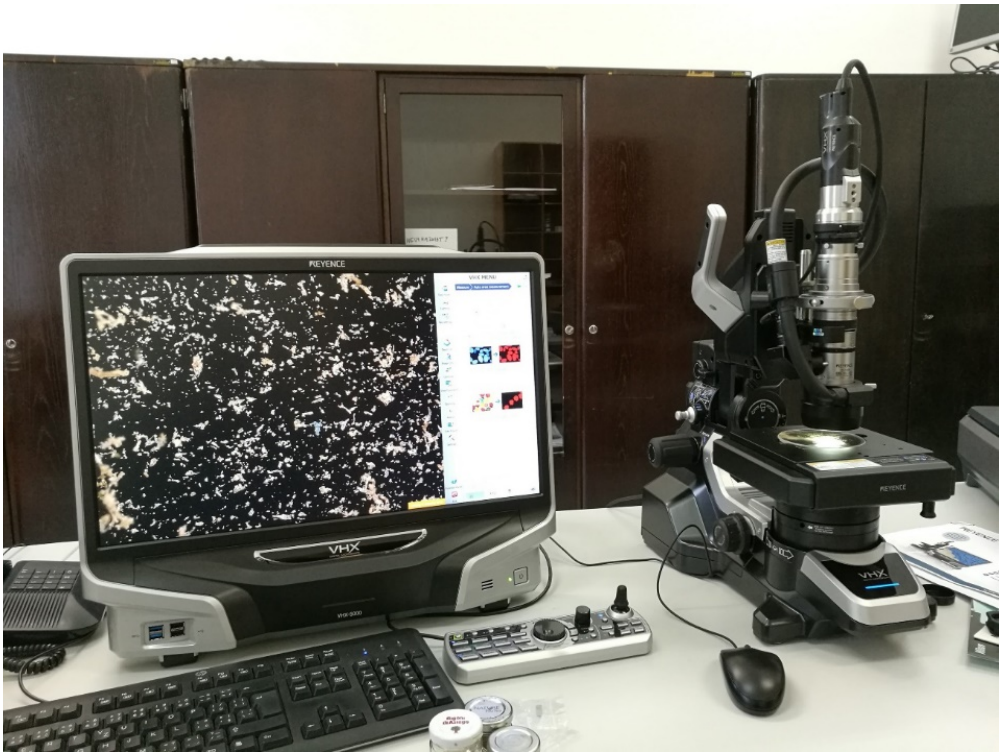
K měření byl využíván objektiv VH – Z100, který nabízí zvětšení 100–1000X. Z důvodů odlesků byl použit difuzní adaptér OP – 72405 pro rozptyl světla, který zlepšuje kvalitu snímání velmi lesklých povrchů, zároveň byl použit polarizační filtr viz obr. 25.



Obr. 25 Difuzní adaptér OP – 72405 a polarizační filtr

Následujícím postupem probíhalo měření na mikroskopu VHX – 5000:

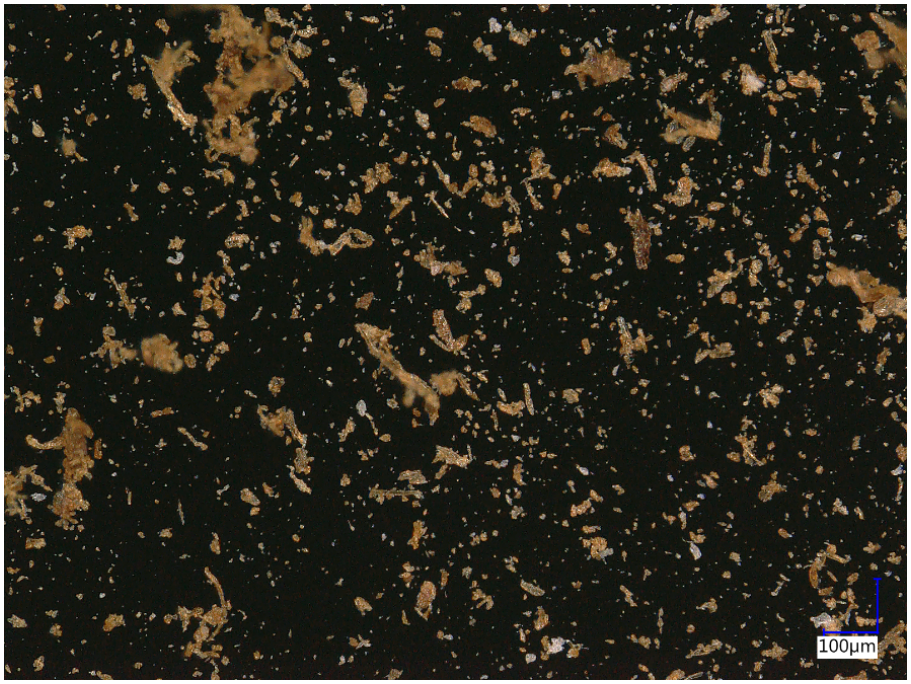
1. byla provedena inicializace mikroskopu po zapnutí přístroje, tj. nastavení počátečních hodnot,
2. příprava vzorku a následné vložení do mikroskopu,
3. vytvoření snímku a jeho uložení,
4. obrazová analýza snímků.



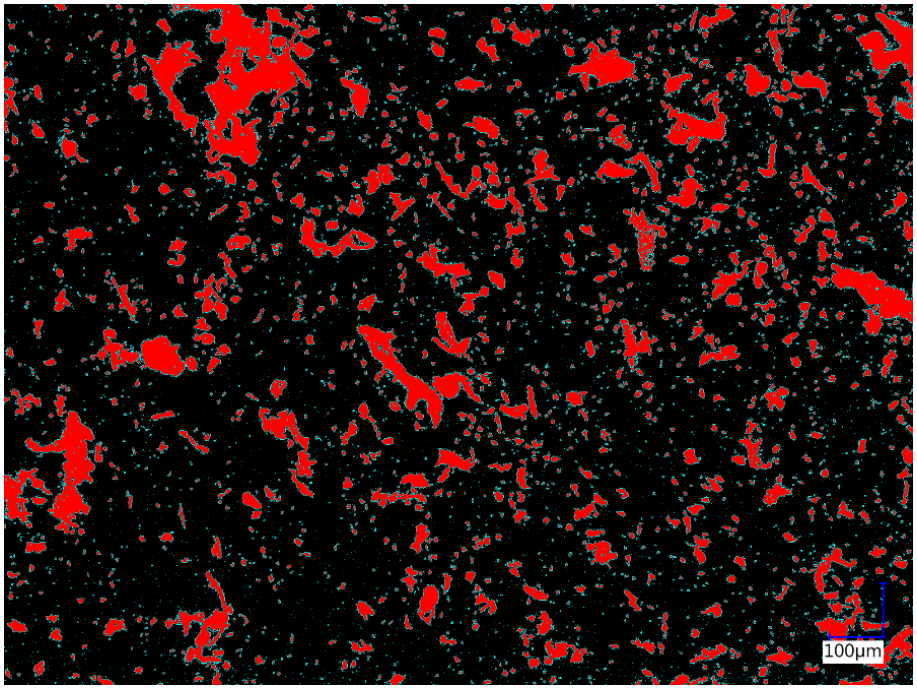
Obr. 26 Mikroskop Keyence VHX – 5000

Obr. 27 Proces zpracovaní obrazu

Na obr. 28 a 29 je znázorněna analýza obrazu prováděna na mikroskopu Keyence VHX – 5000.



Obr. 28 Snímek dřevního prachu s tloušťkou a šířkou částic do 100 µm



Obr. 29 Snímek dřevního prachu po provedení obrazové analýzy

Ze všech vzorků prachových částic do 100 µm, byl odebrán náhodný přibližně stejně velký vzorek. Prach byl následně rovnoměrně rozprostřen na speciální sklíčko, které je součástí vybavení mikroskopu VHX – 5000. Pomocí náhodného výběru bylo analyzováno několik stejně velkých polí. V tabulce 4 je znázorněna část hodnot jednoho měřeného pole.

Tab. 4 Ukázka rozměrů částic prachu

BUK3 modifikovaný 200 °C				
Číslo	Max. průměr [μ*m*]	Obvod [μ*m*]	Plocha $[\mu m^3]$	Min. průměr [μ*m*]
1	99	326	1181	30
2	7	19	30	5
3	4	9	8	2
4	1	4	3	1
5	9	24	40	5
6	31	67	99	4
7	12	30	53	6
8	6	14	12	1
9	112	415	4360	72
10	8	21	36	5
11	11	32	83	9
12	33	112	382	20
13	3	7	6	1
14	179	1036	5542	100
15	25	68	149	12
16	12	33	65	6
17	6	16	19	3
18	9	25	49	6
19	80	324	1541	47
20	29	90	410	19
21	14	35	63	6
22	11	27	52	5
23	3	8	8	1
24	2	6	4	1
25	51	161	713	24

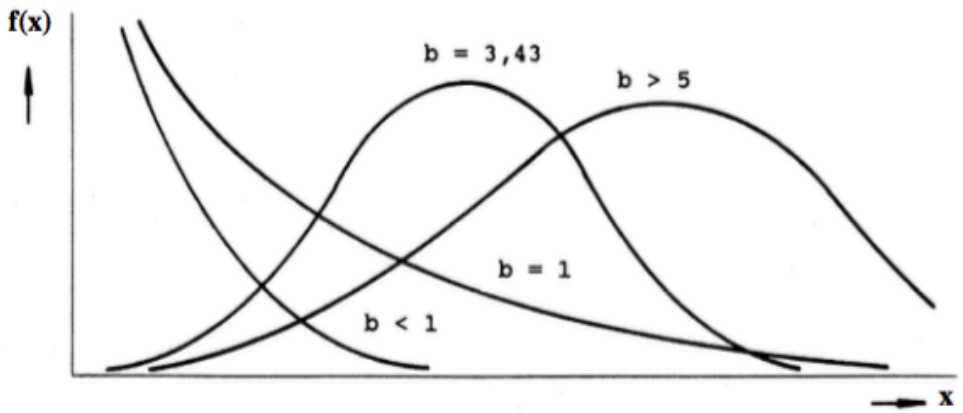
4.7. Pravděpodobnostní analýza výskytu částic menších než 100 μm

Z naměřených hodnot v tabulce 4 je obtížné zhodnotit jaké částice v dané frakci dominují, proto byla provedena pravděpodobnostní analýza částic pro částice menší než 100μm. Na posouzení chování prachu z různých hledisek, jako například jeho schopnosti odloučení v různých druzích odlučovačů, jeho zdravotní působení, schopnosti usazování, schopnosti exploze, je třeba znát jeho granulometrické složení, ale i jeho pravděpodobnostní výskyt v dané emisi prašnosti.

Pro pravděpodobnostní analýzu jemného prachu do 100 μm je možné použít dvouparametrický Weibullův model, který vyhovuje většině případů výskytu náhodné veličiny. Data pro výpočet Weibullova modelu se získávají z analýzy obrazu. Vzhledem k tomu, že parametry Weibullova modelu – parametr tvaru (*b*) a parametr měřítka (*a*) jsou

pohyblivé, tj. závislé na statistickém rozložení částic, může Weibullův model přejít např. v Gausův, log-normální, exponenciální a jiné modely pravděpodobnosti (Kopecký, Mazal, 2005). Hlavní předností tohoto modelu je, že se pružně mění tvar hustoty pravděpodobnosti v závislosti na skutečném rozložení náhodné veličiny s minimální nepřesností.

Hustota pravděpodobnosti výskytu náhodné veličiny u Weibullova modelu může přecházet ve známe tvary, jako exponenciální, log-normální, Gausův a další viz obr. 30 (Kopecký, 2007).



Obr. 30 Hustota pravděpodobnosti Weibullova modelu (Kopecký, 2007).

4.7.1. Stanovení parametrů Weibullova modelu

Neznámé parametry modelu jsou stanoveny regresní analýzou konkrétně „Metodou nejmenších čtverců“ z průběhu statistické pravděpodobnosti výskytu prachových částic.

Před použitím této metody je vhodné dvojnásobnou logaritmizací převést obecně exponenciální typ Weibullovy distribuční funkce.

Máme-li empiricky získanými body distribuční funkce proložit přímku o rovnici **y = kx + q**, musíme určit její neznámé parametry *k* a *q*.

Přitom požadujeme, aby proložená přímka co nejlépe "přiléhala" k empirickým bodům. U metody nejmenších čtverců se jako kritérium "přiléhavosti" uvažuje součet

čtverců rozdílů a odhady směrnice k a posunutí q se určí jako veličiny, které činí tento součet minimálním (Kopecký, Mazal, 2005).

Výpočet odhadu směrnice:

$$k = \frac{K \cdot \sum x_j \cdot y_j - \sum x_j \cdot \sum y_j}{K \cdot \sum x_j^2 - \left(\sum x_j\right)^2}$$

Výpočet posunutí přímky od počátku:

$$q = \frac{\sum x_j^2 \cdot \sum y_j - \sum x_j \cdot \sum x_j \cdot y_j}{K \cdot \sum x_j^2 - \left(\sum x_j\right)^2}$$

4.7.2. Weibullův model

Weibullův model neboli zákon pravděpodobnosti, je často používán při popisu náhodných veličin, u kterých není předem zřejmé, jakou hustotu pravděpodobnosti výskytu budou mít (Kopecký, 2007).

Výpočet hustoty pravděpodobnosti Weibullova modelu:

$$f(x) = \frac{b}{a^b} \cdot x^{b-1} \cdot exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right]$$

a – parametr měřítka (má rozměr náhodné veličiny),

b – parametr tvaru (je bezrozměrný),

x – rozměr částice.

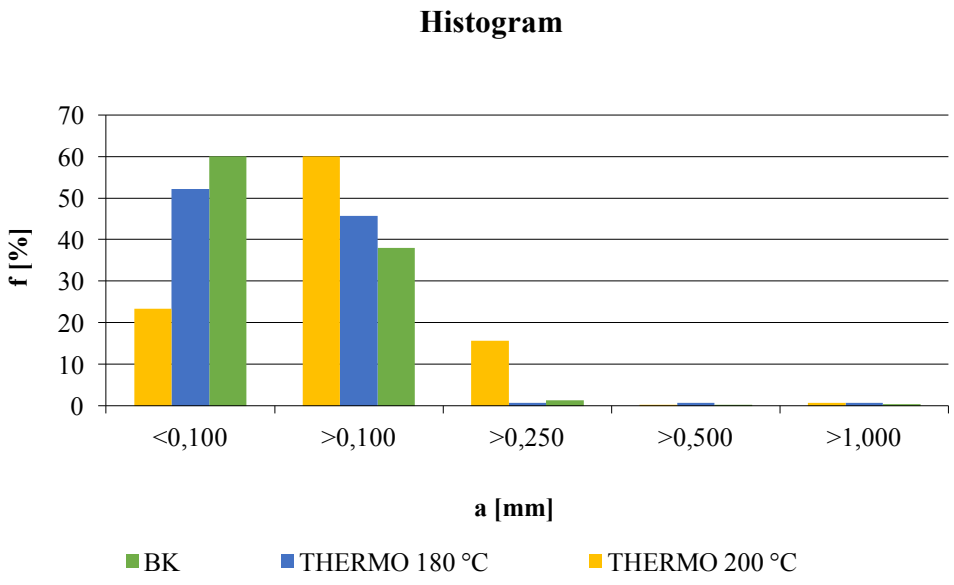
5. VÝSLEDKY:

5.1. Výsledky granulometrické analýzy

Pomocí sítové analýzy jsme zjistili jednotlivé složky frakce dřevního prachu. Zastoupení částic prachu vybraných vzorků je znázorněné pomocí histogramů, procentuální zastoupení jednotlivých frakcí znázorňuje výška jednotlivých sloupců, zároveň jsou částice zařazeny do intervalů dle velikosti ok sít.

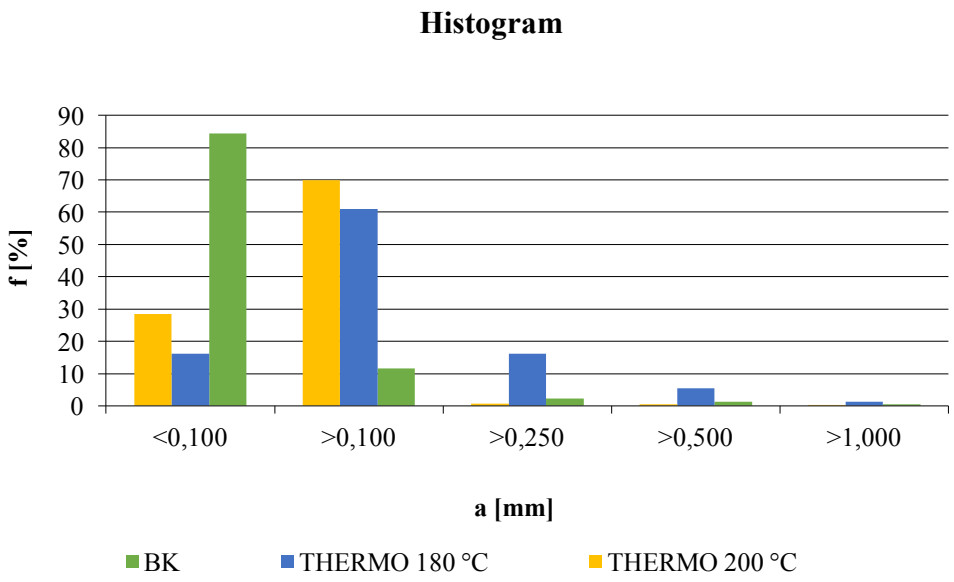
Z důvodu, že je dřevo anizotropní materiál, byly zvoleny dva modely broušení, podélný a příčný. Jedná se o důležitý faktor při procesu obrábění dřeva.

Z granulometrické analýzy vyplývá, že u podélného modelu broušení (obr. 31) je největší zastoupení částic pod 100 µm u nativního buku (60 %) u buku modifikovaného při teplotě 180 °C (52 %). Částice pod 100 µm jsou nejvíce nebezpečné pro zdraví člověka. U modifikovaného buku při teplotě 200 °C je největší zastoupení v rozmezí 100–250 µm (60 %).



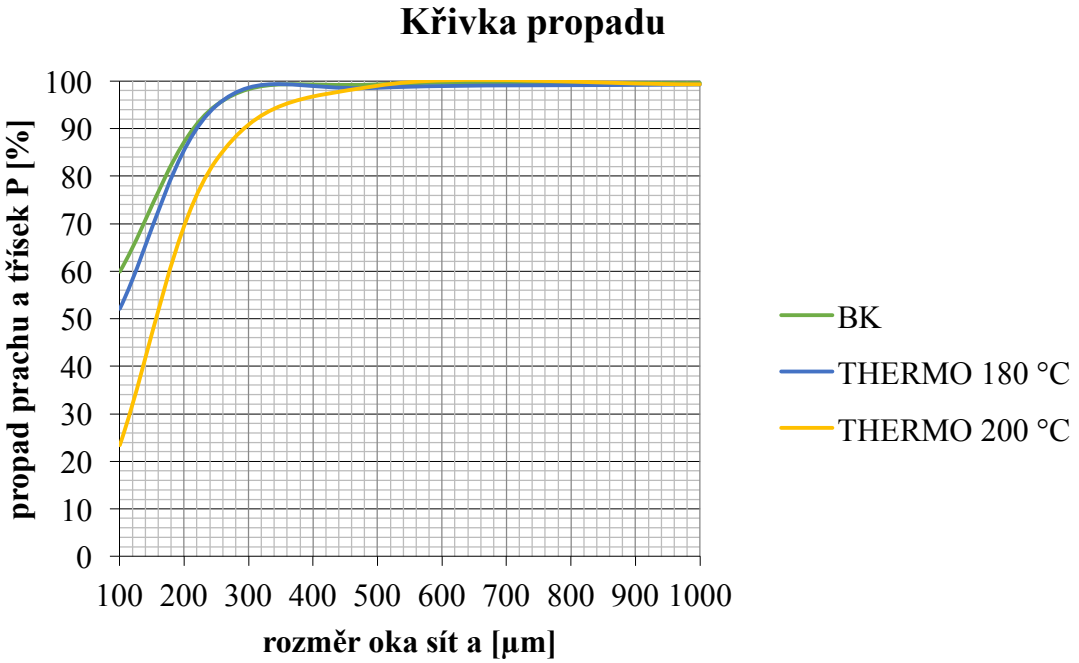
Obr. 31 Histogram distribuce frakcí prachu ve vzorcích při podélném broušení

Z frakčního zastoupení v histogramu bukového prahu z příčného modelu broušení (obr. 32) je zřejmé, že největší zastoupení částic pod 100 µm je u nativního buku (83 %). V rozmezí 100–250 µm má největší zastoupení modifikovaný buk při teplotě 200 °C (70 %) a modifikovaný buk při teplotě 180 °C (62 %).



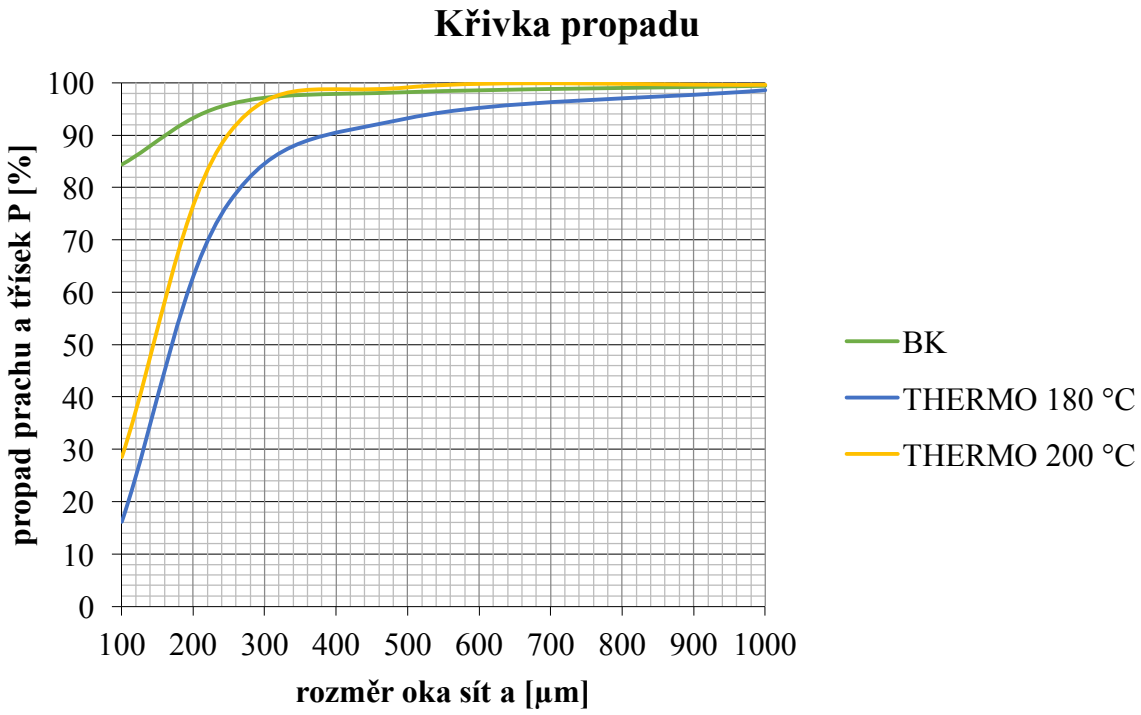
Obr. 32 Histogram distribuce frakcí prachu ve vzorcích při příčném broušení

Pro lepší názornost a porovnání vlivu modifikace na frakční složení dřevního prachu jsme vytvořili křivku propadu (obr. 33 a 34). Pro vhodné zobrazení tohoto grafu je použito log-normálních, nebo log-log souřadnic. Z výsledků vyplývá, že s rostoucí teplotou modifikace klesá zastoupení prachových částic menších než 100 µm, a to zejména u příčného broušení.



Obr. 33 Křivka propadu podélného broušení

Při podélném modelu broušení u buku modifikovaného při teplotě 200 °C (obr. 33) vzniká o 38 % méně jemného prachu do 100 µm než u nativního buku, u buku modifikovaného při teplotě 180 °C, je to 30% rozdíl.



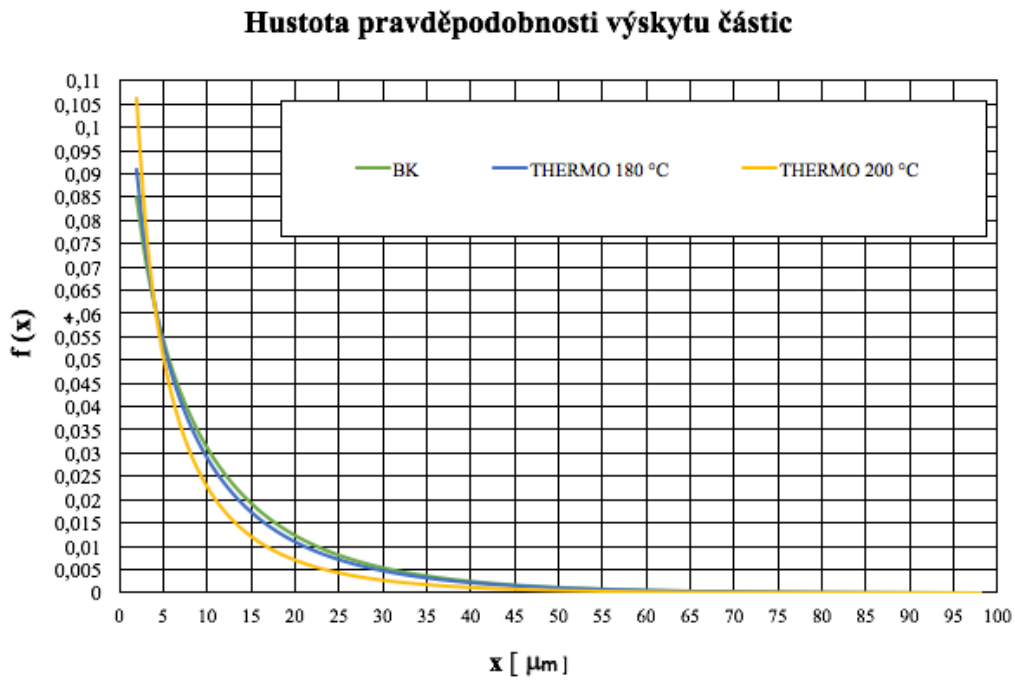
Obr. 34 Křivka propadu příčné broušení

U příčného modelu broušení (obr. 34) jsou rozdíly patrnější než u podélného modelu broušení. Modifikovaný buk při teplotě 180 °C má o 53 % menší zastoupení jemných prachových částic do 100 µm než nativní buk, u buku modifikovaného při teplotě 200 °C je tento rozdíl ještě patrnější a to 67 %.

Křivka propadu má význam při projektovaní separačních zařízení. Pokud je křivka vychýlená na levou stranu, je kladený vyšší nárok na filtrační zařízení.

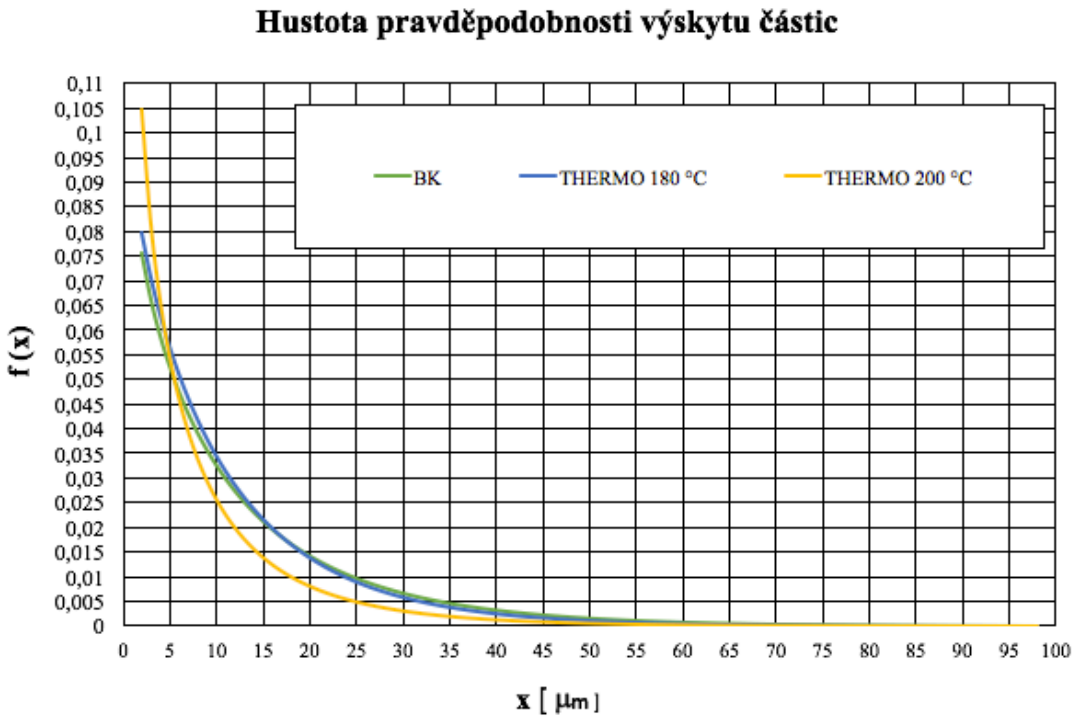
5.2. Hustota pravděpodobnosti rozložení částic

Hustota pravděpodobnosti Weibullova modelu výskytu jemných prachových částic (obr. 35 a 36) byla vypočtena pomocí vztahu pro výpočet hustoty pravděpodobnosti.



Obr. 35 Hustota pravděpodobnosti rozložení částic při podélném broušení

Z grafu hustot pravděpodobnosti rozložení částic pro podélný model broušení (obr. 35) vyplývá výrazný výskyt částic prachu v rozměrem menším než 30 µm. Hustota pravděpodobnosti exponenciálně roste v rozmezí x = 2 až 30 µm. S rostoucí teplotou modifikace se hustota pravděpodobnosti výskytu malých částic prachu snižuje v rozmezí x = 5 až 40 µm. V rozmezí x = 2 až 5 µm se objevil opačný ráz a prach s tepelně modifikované dřevo při teplotě 200 °C má nevyšší hustota pravděpodobnosti výskytu.



Obr. 36 Hustota pravděpodobnosti rozložení částic při příčném broušení

Hustota pravděpodobnosti u příčného modelu broušení (obr. 36) exponenciálně roste v rozmezí x = 2 až 45 µm. Z průběhu hodnot pravděpodobnosti hustot je patrné, že je zanedbatelný rozdíl mezi nativním bukem a bukem modifikovaném pří teplotě 180 °C. V rozmezí x = 5 až 40 µm klesá hustota pravděpodobnosti u tepelně modifikovaného buku při 200 °C vůči nativnímu buku a buku modifikovaném při teplotě 180 °C. V rozmezí x = 2 až 5µm se objevil opačný ráz a tepelně modifikované dřevo při teplotě 200 °C má nevyšší hustotu pravděpodobnosti výskytu.

6. DISKUZE

Jedním z nejnebezpečnějších faktorů ovlivňující bezpečnost práce, hygienu a celkovou pracovní pohodu je kvalita ovzduší v pracovním prostředí. V dřevozpracujícím průmyslu je snaha mimo jiné co nejvíce snížit nepříznivé účinky dřevěného prachu na lidský organismus.

Při obrábění dřeva vzniká tříska, pilina, hoblina, dřevní prach, v závislosti na druhu technologické operace a použitém nástroji. Jejich rozměry a tvary závisí také druhu opracovávaného materiálu, který má různé vlastnosti, rozměry a tvary. Pokud neznáme fyzikální vlastnosti dané látky je velice obtížné, až nemožné eliminovat nežádoucí faktory v pracovním prostředí. Jednou z nejzákladnějších vlastností dřevního prachu je jeho granulometrické složení. Z důvodu, že je dřevo anizotropní materiál byly zvoleny dva modely broušení podélné a příčné.

Pro sledovaní vlivu modifikace na vlastnosti dřevního prachu byla aplikována granulometrická analýza. Z výsledků granulometrické analýzy vyplývá pro částice menší než 100 μm (poletavý prach), že s rostoucí teplotou modifikace u podélného broušení klesá zastoupení nejjemnějších prachových částic, a to až o 37 % u buku modifikovaného při teplotě 200 °C oproti nativnímu buku. U příčného modelu broušení měl nejmenší zastoupení jemných částic buk modifikovaný při teplotě 180 °C a to o 52 % méně než nativní buk. Z naměřených výsledků jasně vyplynulo, že modifikovaný buk má menší zastoupení jemných částic než nativní buk.

Z výsledků také vyplynulo, že teplota modifikace a model broušení mají zásadní vliv na granulometrické složení jednotlivých frakcí dřevního prachu u všech zkoumaných vzorků.

Autorka Jobbágyová (2008) sledovala granulometrické složení dřevního prachu v závislosti na druhu dřeviny a modelu broušení, přičemž zaznamenala při příčném modelu broušení u nativního buku zastoupení částic pod 0,08 mm v průměru až 93,34 % a u podélného broušení 83,34 %. Tyto hodnoty jsou s výsledky naší analýzy nativního buku srovnatelné. K obdobným výsledkům přišli i autoři (Očkajová, Rončka a Banski, 2006), kde pro nativní buk stanovili granulometrické složení částic pod 80 μm v průměru na 92,29 %. Malé rozdíly výsledků mohly být způsobeny druhy použité metodiky, ale i výběrem vzorků.

U podélného broušení se vyskytují větší částice než u příčného modelu broušení, to bylo způsobené mikroskopickou stavbou dřeva, protože většina buněčných elementů je ve dřevě umístěna v podélném směru a má fibrilární strukturu. U podélného broušení dochází k menšímu přeřezávání dřevních elementů než u příčného broušení.

Boonstra et al. (2006b) studovali mikroskopickou strukturu tepelně ošetřeného tvrdého dřeva a dospěli k závěru, že ošetřený buk a bříza měly radiální trhliny poblíž dřeňových paprsků. Porušené buněčné stěny kolmé na směr vláken, zapříčiňují příčné trhliny.

V práci byla dále vyhotovena mikroskopická analýza dřevního prachu pod 100 μm, s cílem zjistit pravděpodobnostní výskyt nebezpečných vdechovatelných částic, které jsou z hlediska hygieny a bezpečnosti práce nejnebezpečnější. Z pravděpodobnostní analýzy vyplynulo, že ve frakci do 100 μm se převážně u všech vzorků nacházejí částice menší jak 40 μm. Přičemž pro rozmezí 5–40 μm bylo zjištěno, že modifikovaný buk má menší zastoupení jemných částic než nativní buk. Nejvyšší hustotu pravděpodobnosti výskytu jemného prachu měl buk modifikovaný pří teplotě 200 °C jak v podélném, tak i v příčném směru a to 2 μm. Takovýto výskyt malých rozměrů částic mohl být způsoben nestejnou mikroskopickou strukturou tepelně ošetřeného buku. Z lékařského hlediska Podle Bean (1996) se právě tyto částice s rozměry menšími než 10 μm mohou dostat do bronchiálního stromu v závislosti na jejich velikosti do různých oddílů traktu (bronchoalveolární, tracheobronchiální).

Podle Standfest (2008) vzrostla tvrdost podle Brinella u modifikovaného buku přibližně o 10 N/mm^2 to mělo pravděpodobně vliv na celkový čas broušení jednotlivých vzorků, který byl u modifikovaného buku až třínásobný oproti nativnímu buku.

Také (Očkajová, Rončka a Banski, 2006) zkoumali závislost hustoty brouseného materiálu na granulometrickém složení dřevního prachu. Dospěli k závěru, že s rostoucí hustotou nativního dřeva se zvyšuje zastoupení dřevních částic pod 80 μm, a to přibližně o 10 %. Pokles hustoty u zkoumaných modifikovaných vzorků byl patrně jedním z hlavních důvodů snížení počtu dřevních částic do 100 μm.

7. ZÁVĚR

Zkoumání vlivu modifikace dřeva na vlastnosti dřevního prachu bylo hlavním cílem této diplomové práce. Výsledky potvrdily, že s rostoucí teplotou modifikace klesá emise jemného dřevního prachu.

V práci byl stanoven podíl jednotlivých frakcí dřevního prachu získaného ze vzorků nativního buku a dvou modifikovaných, pro dva vybrané modely broušení. Z granulometrické analýzy vyplývá, že největší zastoupení částic s velikostí menší jak 100 µm, bylo naměřeno u nativního buku u obou modelů broušení. Zatímco u podélného broušení měl nejmenší zastoupení jemného dřevního prachu buk modifikovaný při teplotě 200 °C a u příčného broušení buk modifikovaný při teplotě 180 °C.

Z výsledku mikroskopické a pravděpodobnostní analýzy částic menších než 100 µm jsme zjistili, že ve zkoumaném souboru částic se u všech vzorků vyskytují převážně částice v rozmezí od 2 µm do 40 µm. Částice menší než 2,5 µm, jsou označované jako jemná respirabilní frakce viz obr. 15, jedná se o částice, které mohou proniknout do plicních sklípků.

Z výsledků měření jsme zjistili, že teplená modifikace dřeva i model broušení mají zásadní vliv na rozměry vznikajících částic, tak i na tvar a podíl částic v jednotlivých frakcích.

V praxi bude nejvhodnější z důvodu snížení emise prašnosti, tj. vzniku menšího počtu částic do 100 µm, pro nativní buk a modifikovaný buk při teplotě 200 °C zvolit model broušení v podélném směru. Buk modifikovaný při teplotě 180 °C vykazuje menší zastoupení nejemnějších prachových částic v příčném směru broušení.

8. SUMMARY

The thesis is focused on wood dust generated during sanding modified beech. We are analyzing the characteristics and composition of the dust. Our thesis is treating also the danger of effects of wood dust on human health and its impact in the workplace.

The thesis sets the proportion of the individual fractions during two selected models of sanding, the observed dust was obtained from different samples of wood dust: one issued from native and two others from modified beech. The granulometric analysis shows that the largest share of particles with a size less than 100 μm was measured at the native beech in both model sanding. The modified beech had the lowest proportion at longitudinal sanding and the temperature of 200 °C. The transverse cutting of the modified beech showed the lowest proportion under temperature of 180 °C.

From the result of the microscopic and probabilistic analysis of particles smaller than 100 μm we have found that in the researched group of particles every examined sample contains particles especially from 2 μm to 40 μm. Particles smaller than 2.5 μm, are referred to as fine respirable fraction c.f. picture 15, these particles can penetrate into the alveoli.

According to the measurement results, we found that thermal modification of wood as well as the sanding model have significant effect on the resulting particle size and on the shape and proportion of particles in individual fractions.

In practice, it is preferable to select the model of longitudinal direction of sanding in order to reduce the emission of dust, i.e. formation of a smaller number particles up to 100 μm, for native beech modified at the temperature of 200 °C. The modified beech at 180 °C has a smaller representation of the finest dust particles in the transverse direction of sanding.

Today as in the future, it is necessary to focus on reducing or eliminating hazardous substances in the workplace. It is therefore necessary in all industry sectors, including in woodworking to seek out ways how to eliminate pollution. Thanks to the knowledge of the dust properties we are able to influence positively the development of separation techniques and technologies leading to the emission reduction in the working environment.

9. PŘEHLED LITERATURY

BEAN T.L. (1996): *OSHA'S Wood Dust Exposure Standard*. Ohio State University Extension Food, Agricultural and Biological Engineering 590 Woody Hayes Dr., Columbus, Ohio 43210. 2005.

BOONSTRA, M., RIJSDIJK, J., SANDER, C., KEGEL, E., TJEERDSMA, B., MILITZ, H., VAN ACKER, J., and STEVENS, M. (2006b). "*Physical aspects of heat-treated wood. Part 1. Hardwoods*," *Maderas. Ciencia y tecnología*. 8, 209-217.

BRANIŠ, M., HŮNOVÁ I. (eds.)., *Atmosféra a klima: Aktuální otázky znečištění ovzduší*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Karolinum, 2009. 352 s. ISBN: 978-80-246-1598-1.

ČERMÁK, P., 2013. *Thermal Modification of Wood: Process and Properties*. Brno. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Ústav nauky o dřevě.

ČSN EN 481 *Ovzduší na pracovišti. Vymezení velikostních frakcí pro měření polétavého prachu*, 10/1999

DUBOVSKÝ J. – BABIAK M. – ČUNDERLÍK I. (2003): *Textúra, struktura a užitkové vlastnosti dreva. Návody na cvičenia*. TU Zvolen, 107 s.

DZURENDA, L., – OČKAJOVÁ, A.: *Rozmerová analýza drevného prachu smreka, borovice a duba z procesu rovinného brúsenia, Obrábanie a spájanie dreva*, 2003, s. 53-57

DZURENDA, L., 2007: *Sypká drevná hmota, vzduchotechnická doprava a odlučovanie*. Zvolen: TU

DZURENDA, L., 2002. *Vzduchotechnická doprava separácia dezintegrovanej drevnej hmoty*. TU Zvolen, 2002, s.143. ISBN 80-228-1212-9.

ESTEVES, B. M., DOMINGOS, I. J., and PEREIRA, H. M. (2008a). "*Pine wood modification by heat treatment in air*," BioRes. 3(1), 142-154

FENGEL, D., WEGENER, G., 1989: *Wood: Chemistry Ultrastructure, Reactions*. Walter De Gruyter. 13 p. ISBN 3-11-012059-3

Finnish Thermowood Association 2003. ThermoWood® Handbook. Helsinki, Wood Focus Oy, 66 s.

GOTTLÖBER, CH., HEMMILÄ, P. 2004. *Analysis and modelling of human and enviromental aspects on the example of peripheral planing*. In: *16th international wood machining seminar.* Matsue, Japan, 2004.

HEJMA, J. a kol., *Vzduchotechnika v dřevozpracovávajícím průmyslu*, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981, ISBN 04-829-81.

HILL, C. A. M. 2006. *Wood modification: chemical, thermal, and other processes*. 1. vyd. Chichester: England: John Wiley & Sons. 239 s.

HOLLEROVÁ, Jitka. *Prašnost na pracovišti*. In: Státní zdravotní ústav [online]. 14.11.2007, 25.4.2008 [cit. 2017-3-1]. Dostupné z: http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1

HORÁČEK, P. 1998. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 124 s. ISBN 80-7157-347-7.

HORÁK, M., *Technika ochrany ovzdušia*, Bratislava, ES STU, 1996

HRNČÍŘ, Karel. *Prach.* Vyd. 1. Rožnov pod Radhoštěm: RoVS – Rožnovský vzdělávací servis, 2006, 143 s. *Škodliviny v pracovním prostředí*. ISBN 80-254-2489-8.

JOBBÁGYOVÁ, A., *Vlyv dreviny na vlastnosti drevného brúsneho prachu*, Zvolen, 2008.

KONCZ I., 1970. *Odstraňovanie a odlučovanie prachu*. ALFA Bratislava, 1975. 1. vydání, 302 05 89.

KOPECKÝ Z. – ROUSEK M. –KLEPÁRNÍK J. (2006): *Problematika konstrukce sacích zákrytů sohledem na prašnost při vysokorychlostním frézování*. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2006. TU Zvolen. Starý Smokovec 2006. s. 165--172. ISBN 80-228-1674-4.

KOPECKÝ, Zdeněk. *Vybrané aspekty vysokorychlostního obrábění dřeva.* Brno, 2007. Habilatační práce. Mendelova univerzita v Brně.

KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J. 2006. *Využití nového materiálu Thermowood*. Materiály pro stavbu. 27-29.

KULICH M., MATĚJŮ J., *Provozní bezpečnost – Problematika vzniku, monitoringu a eliminace prašné frakce, stanovení prostředí a zón s nebezpečím výbuchu*, 2015, Hustopeče

LISIČAN, J. (1988): *Obrábanie a delenie drevných materiálov*, Zvolen, VŠLD Zvolen, s. 297, ISBN 85-1644-88

LONGAUER, J. - SUJOVÁ, E.: *Vybrané vlastnosti tuhých častíc.* Vedecké štúdie, TU vo Zvolene, 2000, s. 10-11, 14, 15-18, 30, 35, ISBN 80-228-1022-3

LONGAUER, J., DZURENDA, L.: *Granulometrická analýza suchej smrekovej piliny odsávaném od rámovej píly Lasic 150/200 a možnosti jej efektívnej separácie.* In.: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2006. Zvolen TU, 2006, s. 185-190.

MEDEK, J., *Mechanické pochody*, Praha, SNTL Praha, 1985.

MRAČKOVÁ, Eva., *Negatívne charakteristiky drevného prachu prejavujúce sa v pracovnom prostredí. Trendy lesníckej, drevárskej a enviromentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese*, MVK, 2001.

MRAČKOVÁ, Eva., *Výbušnosť drevného prachu: (smrek, buk, dub, topoľ, drevotriesková doska).* Zvolen: Technická univerzita, 2006. ISBN 80-228-1698-1.

OČKAJOVÁ, A. - BELJAKOVÁ, A.: *Motion of sanding mean versus granularity of sand wood dust, In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva '04* : IV. medzinárodná vedecká konferencia. - Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004b. - ISBN 80-228-1385-0. - S. 163-168.

OČKAJOVÁ, A. - BELJAKOVÁ, A.: *The chosen physical properties of sanding dust. Part I*, In: The growth and development in forestry and wood industry : scientific book. - Zagreb : University of Zagreb, 2004a. - ISBN 953-6307-73-1. - P. 129-134.

OČKAJOVÁ, A., RONČKA, J., BANSKI, A.: *The influence of material density on its granularity*. In: In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2006. Zvolen: TU, 2006, 211-215. ISBN 80-228- 1674-4.

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., 1997: *Struktura a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda a.s., 488 s. ISBN 80-07-00960-4

PROKEŠ, S., 1978. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. SNTL Praha.

SHIMIZIU, K., TERATINI, F., HASHI, M., MIYAZAKI, K., 1972: *Effect of the thermal treatment on wood hemicelluloses.* VI. Studies on the thermal analysis of arabinogalactan, and O-acetyl and deacetylated-galactoglucomannans. *Mokuzai Gakkaishi*, 18(2), 79–84.

SCHLÖSSLER, E., KIRSCH, D., LASSMANN, G. 1973. *Die Bestimmung der Spinkonzentration mit der paramagneischen Elekttronenresonanz*. In : *Z. Chem. 13*, s. 364-372.

STAMM, A. J. a HANSEN, L. A. 1937. *Minimizing wood shrinkage and swelling. Effect of heating in warious gases. Industrial and engineering chemistry*. 29(7), 831-833.

STANDFEST, Gernot; ZIMMER, Bernhard. The surface hardness of thermally treated woods. In: *Poster presentation at 62nd International Convention of the Forest Products Society*. 2008. p. 22-24.

THEOMEN, H. a kol. 2010. *Wood-Based Panels*. London, Brunel University Press, 283 s. ISBN 978-1-902316-82-6

THYBRING, E. E. 2013. *The decay resistance of modified wood influenced by moisture exclusion and swelling reduction.* International Biodeterioration & Biodegradation 82. 87-95.

TIEMANN, H. 1920. Effect of Different Methods of Drying on the Strength and Hygroscopicity of Wood. 3rd Ed. *The kiln drying of lumber Chap. 11*, J. P. Lippin-cott Co.

VIITANIEMI, P. (1997b) *Thermowood-Modified wood for improved performance*. In: Tratek Rapport No. P 9709084. Proceedings of the 4th Eurowood Symposium Wood–The Ecological Material. Stockholm, Sweden, 22–23 September 1997. Stockholm: Tratek. P. 67–69.

WEILAND, J. J., GUYONNET, R. 2003. *Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy*. *Holz Roh-Werkst* 61(3): 216–220.

WOLF, J. et. al. 1986. *Über das Vorkommen von Adenokarzinomen der Nasenhaupt und Nasennebenhöhlen bei Holzarbeitern – Weitere Untersuchungen (II).* Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed Sonderheft 7. III-XXII, 1986

10. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Graf závislosti úbytku hmotnosti na hodnotě času a teplotě modifikace (Esteves, 2008a) 6
Obr. 2 Graf závislosti pevnosti v ohybu borovice na teplotě modifikace (Finnsih Thermowood Association 2003) 7
Obr. 3 Schéma dezintegrované dřevní hmoty 10
Obr. 4 Ekvivalentní velikost částice podle průměru 12
Obr. 5 Ekvivalentní velikost částice podle objemu 13
Obr. 6 Základní rozměry částice sypké dřevní hmoty (Jobbágyová, 2008) 14
Obr. 7 Histogram s distribuční křivkou (Jobbágyová, 2008) 15
Obr. 8 Integrální křivka propadu (Jobbágyová, 2008) 16
Obr. 9 Integrální křivka zbytků (Jobbágyová, 2008) 17
Obr. 10 Sypný úhel γ (Dzurenda, 2007) 19
Obr. 11 Podmínka rovnováhy na nakloněné rovině pro stanovení úhlu skluzu a součinitele kluzného tření po podložce (Jobbágyová, 2008) 20
Obr. 12 Způsob tvorby třísky při podélném a příčném broušení (Jobbágyová, 2008) ... 26
Obr. 13 Broušení brusnými zrny *Lw*- řezná délka, *Lw*- šířka řezného pásu (řezná šířka) (Jobbágyová, 2008) 27
Obr. 14 Proces odebírání třísky brusným zrnem e – hloubka řezu, vc – řezná rychlost, vf – rychlost posuvu (Jobbágyová, 2008) 28
Obr. 15 Vdechovatelná, thorakální a respirabilní konvence jako procento z poletavého prachu (Kopecký, 2007) 32
Obr. 16 Metodika práce 36
Obr. 17 Zkušební stend 37
Obr. 18 Pásová bruska 38
Obr. 19 Použitý materiál 39
Obr. 20 Proces ohřevu THERMO – 180 °C (Čermák, 2013) 39
Obr. 21 Proces ohřevu THERMO – 200 °C (Čermák, 2013) 40
Obr. 22 Digitální vlhkoměr HMB – WS25 41
Obr. 23 Váha Vibra AJ – 420 – CE 42
Obr. 24 Retsch AS 200 digit a schéma síťovaní (Kopecký, 2007) 42
Obr. 25 Difuzní adaptér OP – 72405 a polarizační filtr 44
Obr. 26 Mikroskop Keyence VHX – 5000 45

Obr. 27 Proces zpracovaní obrazu 45
Obr. 28 Snímek dřevního prachu s tloušťkou a šířkou částic do 100 μm..... 46
Obr. 29 Snímek dřevního prachu po provedení obrazové analýzy 46
Obr. 30 Hustota pravděpodobnosti Weibullova modelu (Kopecký, 2007). 48
Obr. 31 Histogram distribuce frakcí prachu ve vzorcích při podélném broušení 50
Obr. 32 Histogram distribuce frakcí prachu ve vzorcích při příčném broušení..... 51
Obr. 33 Křivka propadu podélného broušení..... 51
Obr. 34 Křivka propadu příčné broušení 52
Obr. 35 Hustota pravděpodobnosti rozložení částic při podélném broušení 53
Obr. 36 Hustota pravděpodobnosti rozložení částic při příčném broušení 54

11. SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Hodnoty sypného úhlu (Dzurenda, 2007)..... 19
Tab. 2 Buk lesní (*Fagus sylvatica*) (Požgaj a kol. 1997)..... 26
Tab. 3 Použitý materiál..... 39
Tab. 4 Ukázka rozměrů částic prachu..... 47