

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Změny emisí hluku a prachu při změnách vybraných  
parametrů frézování materiálů na bázi dřeva**

Diplomová práce

Autor: Bc. Veronika Prokopová, DiS.

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

2023

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Veronika Prokopová, DiS.

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Změny emisí hluku a prachu při změnách vybraných parametrů frézování materiálů na bázi dřeva**

Název anglicky

**Changes in noise and dust emissions during changes in selected milling parameters of wood-based materials**

---

### Cíle práce

Práce bude zaměřena na hlučnost a prašnost při obrábění materiálů na bázi dřeva. Cílem bude zjistit jaký vliv má změna úběru materiálu, počet nožů a jejich složení na emise hluku a prachu. Byly použity dva typy nožů (z rychlořezné oceli vs. s povlakem) v počtu 2 a 4 nože. Dále byl zvýšen úběr z 1 mm na 2 mm.

### Metodika

1. Literární rešerše na dané téma (červenec – září 2022).
2. Příprava vzorků a zaškolení s měřicím zařízením (srpen – listopad 2022).
3. Samotné měření parametrů a jejich hodnocení (měření parametrů, jejich změny a částečné vyhodnocení proběhne v průběhu prosince 2022 a ledna 2023).
4. Vyhodnocení výsledků (první čtvrtletí roku 2023).
5. Závěr a diskuse + odevzdání (březen nebo duben 2023).

## Doporučený rozsah práce

min 50 stran

## Klíčová slova

Hlučnost, prašnost, frézování, MDF

---

## Doporučené zdroje informací

Barcík, Š. Stroje a zariadenia – NCV. TU Zvolen, 2001., s.150, ISBN 80-228-1035-5.

Csanády, E. a Magoss, E.; Mechanics of Wood Machining; Springer 2013; s 202; ISBN 978-3642299544

Csanády, E. et al.; Quality of Machined Wood Surfaces; Springer 2015; 978-3-319-22418-3

DAVIM, J. P. Surface Integrity in Machining. 1. vyd. London: Springer. 2010. 215 s. ISBN 978-1-84882-973-5.

DAVIM, J. P. *Wood machining*. London: Wiley, 2011. ISBN 978-1-84821-315-9.

LISIČAN, J. – VYSOKÁ ŠKOLA LESNÍCKA A DREVÁRSKA (ZVOLEN, SLOVENSKO). FAKULTA DREVÁRSKA.

Obrábanie a delenie drevných materiálov. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska, 1988.

SIKLIENKA, M.; KMINIAK, R. Delenie a obrábanie dreva. Technická univerzita vo Zvolene. 2013a. 207 s. ISBN 978-80-228-2618-1.

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FLD

## Vedoucí práce

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

---

Elektronicky schváleno dne 25. 10. 2022

**doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.**

Vedoucí ústavu

---

Elektronicky schváleno dne 1. 11. 2022

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2023

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Změny emisí hluku a prachu při změnách vybraných parametrů frézování materiálů na bázi dřeva vypracovala samostatně pod vedením Ing. Miroslava Sedleckého, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Písku dne 4. 4. 2023

.....  
Veronika Prokopová



## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala panu Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za cenné rady a odborný dohled.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině, především svému manželovi za podporu a trpělivost po dobu mého studia a psaní diplomové práce.

## **Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na zjištění změn emisí hluku a prachu při změnách vybraných parametrů frézování materiálů na bázi dřeva. Jedním ze srovnávaných faktorů, který byl zvolen při zjišťování emisí hluku a prachu při frézování materiálů na bázi dřeva, je typ použitého nože, a to z hlediska materiálu, ze kterého byl nůž vyroben. Při měření byl použit nůž z rychlořezné oceli (nůž I) a jako druhý typ nože byl vybrán nůž s povlakem CrTiN (nůž II). Druhým zvoleným faktorem je velikost úběru frézovaného materiálu. Měření probíhalo při velikosti úběru materiálu 1 mm a poté 2 mm. Dalším faktorem, který byl zvolen při výzkumu, je počet použitých nožů při frézování materiálu. Pro měření byly použity nejdříve 2 nože a poté se počet zvýšil na 4 nože. Posledním zvoleným faktorem je druh frézovaného materiálu. Pro měření a srovnání byli použiti dva zástupci materiálů na bázi dřeva. Jako první měření probíhalo se surovou středně tvrdou dřevovláknitou deskou (MDF) a jako druhý typ byla zvolena jednostranně laminovaná středně tvrdá dřevovláknitá deska (MDF-L).

Na základě zjištění závislosti těchto parametrů na změny emisí hluku a prachu při frézování materiálů na bázi dřeva bylo vyhodnoceno, jaký druh použitého nástroje a počet použitých nástrojů je vhodnější při frézování, aby se snížily hodnoty hluku a prachu. Dále bylo vyhodnoceno, jak moc ovlivňuje velikost úběru materiálu a také druh frézovaného materiálu hlučnost a prašnost při frézování.

Dalším přínosem této diplomové práce je zjištění, jak při použití správných parametrů ovlivňující frézování ochránit pracovníky před budoucími zdravotními problémy, a to z důvodu snížení emisí hluku a prachu při frézování materiálů na bázi dřeva.

### **Klíčová slova:**

hlučnost, prašnost, frézování, MDF

## **Abstract**

The thesis focuses on determining changes in noise and dust emissions upon a change of selected parameters of milling of wood-based materials. One of the factors compared, which was selected for determining noise and dust emissions during milling of wood-based materials, is the type of the blade used, specifically in terms of the material the blade is made of. A high-speed steel blade (blade I) was used for the measurement, while a blade with a CrTiN coating (blade II) was another type of the blade that was used. The second factor selected is the reduction of the milled material. The measurement was carried out at a material reduction of 1 mm, followed by 2 mm. Another factor selected for the study was the number of blades used for the milling process. 2 blades were used for the measurement initially and later the number increased to 4 blades. The last factor selected was the type of the milled material. Two representatives of wood-based materials were used for the measurement and comparison. The first measurement was performed with a raw medium-hard wood-fibre board (MDF). The second type selected was a medium-hard wood-fibre board (MDF-L) laminated on one side.

Based on the findings concerning the dependency of the parameters on changes of noise and dust emissions during milling of wood-based materials, it was assessed what type of the tool used and what number of the tools used are the most suitable for milling in order to reduce the noise and dust values. It was also assessed, to what extent the material reduction and the type of the milled material influence the noise and dust level during milling.

Another contribution of the thesis is the finding as to how to protect workers from future health problems when the correct parameters affecting milling are used so as to reduce the noise and dust emissions during milling of wood-based materials.

## **Key words:**

noisiness, dustiness, milling, MDF

## Obsah

1. ÚVOD .....	13
2. CÍLE PRÁCE .....	16
3. ROZBOR PROBLEMATIKY .....	17
3.1. Frézování .....	18
3.2. Nástroje pro obrábění .....	21
3.3. Materiály na bázi dřeva .....	24
3.3.1. Dřevovláknité desky se střední hustotou (MDF) .....	26
3.4. Rizikové faktory pracovního prostředí .....	29
3.4.1. Zvuk a hluk .....	30
3.4.1.1. Působení hluku na člověka .....	32
3.4.1.2. Měření hluku v pracovním prostředí .....	34
3.4.1.3. Ochrana pracovníků před hlukem .....	35
3.4.2. Prach .....	36
3.4.2.1. Působení prachu na člověka .....	37
3.4.2.2. Měření prachu v pracovním ovzduší .....	38
3.4.2.3. Ochrana pracovníka před prachem .....	39
4. METODIKA .....	40
4.1. Použité materiály .....	40
4.2. Použité nástroje a frézovací hlava .....	40
4.2.1. Frézovací žiletkové nože .....	40
4.2.2. Frézovací hlava .....	41
4.3. Příprava zkušebních vzorků .....	41
4.4. Měření hlučnosti a prašnosti .....	41
4.4.1. Hlučnost .....	41
4.4.2. Prašnost .....	42
4.5. Statistické vyhodnocení dat .....	42
4.5.1. Postup statistického hodnocení: .....	42
5. VÝSLEDKY A DISKUZE .....	43
5.1. Hlučnost .....	43
5.2. Prašnost .....	48
6. ZÁVĚR .....	54
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ .....	56

## Seznam obrázků

Obr. 1 – Mechanické metody zpracování dřeva (CSANÁDY, 2020) .....	17
Obr. 2– Způsoby frézování z hlediska použití (SIKLIENKA A KMINIAK, 2013) .....	19
Obr. 3 – Rozdělení frézování podle polohy a osy frézování (SIKLIENKA A KMINIAK, 2013).....	20
Obr. 4 – Oblasti aplikace nejpoužívanějších materiálů pro řezné nástroje (ČEP, 2013) .....	22
Obr. 5 – Rozdělení materiálů na bázi dřeva (BÖHM ad., 2012) .....	24
Obr. 6 – Dřevovláknitá deska se střední hustotou (BÖHM ad, 2012).....	26
Obr. 7 – Probarvená MDF deska s laminovaným povrchem (BÖHM ad., 2012) .....	27
Obr. 8 – Rozdělení hluku podle časového průběhu (ŠVÁBOVÁ ad., 2015).....	31
Obr. 9 – Zevní, střední a vnitřní ucho (OREL, 2019).....	32
Obr. 10 – Výtažek z tabulky z kapitoly III (NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 290/1995 Sb.).....	38
Obr. 11 – Casella CEL 63X.....	41
Obr. 12 – Casella CEL 712 MicroDust Pro .....	42
Obr. 13 – Vliv typu nože na hlučnost frézování .....	44
Obr. 14 – Vliv velikosti úběru materiálu na hlučnost frézování.....	45
Obr. 15 – Vliv počtu nožů na hlučnost frézování .....	46
Obr. 16 – Vliv druhu materiálu na hlučnost frézován .....	47
Obr. 17– Vliv typu nože na prašnost frézování .....	49
Obr. 18– Vliv velikosti úběru materiálu na prašnost frézování .....	50
Obr. 19 – Vliv počtu nožů na prašnost frézování .....	52
Obr. 20 – Vliv druhu materiálu na prašnost frézování .....	53

## Seznam tabulek

Tab. 1 – Vlastnosti použitých materiálů .....	40
Tab. 2 – Vlastnosti použitých nástrojů .....	40
Tab. 3 – Technické parametry použitých nástrojů.....	41
Tab. 4 – Vliv typu nože na hlučnost frézování – Duncanův test .....	43
Tab. 5 – Vliv velikosti úběru materiálu na hlučnost frézování – Duncanův test.....	45
Tab. 6 – Vliv počtu nožů na hlučnost frézování – Duncanův test .....	46
Tab. 7 – Vliv druhu materiálu na hlučnost frézování – Duncanův test .....	47
Tab. 8 – Vliv typu nože na prašnost při frézování – Duncanův test.....	48
Tab. 9 – Vliv velikosti úběru materiálu na prašnost při frézování – Duncanův test .....	50
Tab. 10 – Vliv počtu nožů na prašnost při frézování – Duncanův test.....	51
Tab. 11 – Vliv druhu materiálu na prašnost při frézování – Duncanův test.....	53

## **Seznam použitých zkratk**

ad.	a další
ANOVA	Analysis of variance (analýza rozptylu)
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ČR	Česká republika
MDF	medium-density fibreboard (vláknitá deska se střední hustotou neboli středně tvrdá dřevovláknitá deska)
MDF-L	medium-density fibreboard (polotvrdá/středně tvrdá dřevovláknitá deska laminovaná)
např.	například
OOPP	osobní ochranné pracovní prostředky
PO	požární ochrana
tj.	to je
tzv.	takzvaně
VD	vláknitá deska

## **Chemické prvky**

Cr	chrom
Ti	titan
N	dusík
PVC	polyvinyl chlorid

## 1. ÚVOD

Mnoho řemeslníků, truhlářů či údržbářů přichází při své každodenní činnosti do kontaktu s nebezpečnými stroji a nástroji. Nejedná se jen o nebezpečí, které může způsobit úraz, ale také hlavně o riziko způsobení dočasného či trvalého poškození zdraví člověka. Cílem je tedy určovat a prosazovat takové pracovní podmínky a způsoby práce, které budou klást důraz na zdraví pracujících.

Zdravé a příznivé pracovní podmínky mají pozitivní dopad na zvýšení produktivity práce, ale také na její kvalitu. Na jednu stranu tedy přispívají k plnému využití schopností pracovníků a na druhou stranu jim přináší uspokojení z odvedené práce. Celkové klima pracovního prostředí ovlivňuje hlavně kvalita pracovních podmínek (MÁLEK, 2014).

Posuzováním práce a jejich vlivů na člověka se zabývá hygiena práce. Na člověka působí fyzikální, chemické, biologické, fyziologické, psychologické, psychosociální a sociálně-ekonomické faktory v pracovním prostředí. Všechny z těchto uvedených faktorů mohou představovat potencionální zdravotní riziko (JÍLEK, 2011).

V hygieně se používají hygienické limity. To jsou hodnoty koncentrací (např. u chemických látek) nebo intenzit činitelů (např. hluk, vibrace), kterým mohou být lidé vystaveni, přičemž nedochází k nepříznivému ovlivnění jejich zdravotnímu stavu (TUČEK, 2012).

Ve dřevozpracujícím průmyslu jsou nejčastější rizika spojená se zpracováním dřeva a materiálů na bázi dřeva hluk, prach, vibrace, chemické látky, fyzická zátěž a pracovní poloha (MÁLEK, 2014).

K ochraně pracovníka proti výše zmiňovaným škodlivým faktorům lze použít vícero ochranných opatření. V první řadě u všech strojů platí povinnost dodržovat požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP) a samozřejmě i požadavky požární ochrany (PO) a hygieny práce (CIVOP, 2018).

Dále je možnost ochrany pracovníka osobními ochrannými pracovními pomůckami (OOPP). Jsou to pracovní nástroje, které chrání zaměstnance před riziky BOZP. Tyto ochranné pomůcky nesmí pracovníka nijak omezovat při práci a musí splňovat podmínky dle Nařízení vlády č. 495/2001 Sb., kde jsou stanoveny bližší informace (BOZP, 2015).



V současné době se ale do popředí dostává pojem automatizace výroby. S vývojem nových technologií a zrychlujícím se životem je čím dál efektivnější a snadnější automatizovat výrobu, aby se zvýšila produktivita práce. To ale znamená i méně pracovních pozic pro člověka, avšak i méně pracovních úrazů a zdravotních obtíží způsobených nežádoucími faktory při obrábění. S tím souvisí pojem Průmysl 4.0.

Průmysl 4.0 nebo také čtvrtá průmyslová revoluce je označení pro současný trend digitalizace a s ní související automatizace výroby a změn na trhu práce. Tato revoluce znamená nástup trvalého a velmi rychlého rozvoje systémového využívání, integrace a spojování různých technologií ve všech oblastech lidské činnosti. Znamená změnu znalostí, způsobu myšlení, způsobu řízení podniků a celých výrobních procesů (ZSBOZP, 2020).

Digitální revoluce zásadně přetváří způsob, jakým jednotlivci žijí a pracují, ale lidé veřejnost zůstávají optimističtí, jelikož Průmysl 4.0 může nabídnou příležitosti z hlediska udržitelnosti. V prostředí Průmyslu 4.0 jsou propojené počítače, chytré materiály, chytré stroje spolu komunikují, interagují s prostředím, a nakonec se sami rozhodují, a to s minimálním zapojením člověka (GHOBAXHLOO, 2020).

Průmysl 4.0 se významně promítne do bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Tato revoluce přinese posílení bezpečnosti, spolehlivosti, odpovědnosti a samostatnosti při výkonu práce. Dále snížení rizik úrazů při manipulaci s materiály a výrobky, omezení fyzického pohybu a dlouhého sezení při práci. Uvádí se, že technologie Průmyslu 4.0 významně zvýší bezpečnost práce a také posílí ochranu zdraví pracovníků, jelikož stroje budou vybaveny senzory, které umí detekovat interakci s lidským faktorem a tím pádem případně upozornit na nebezpečí a zamezit jejich vzniku. Podle zdroje The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype, Mc Kinsey Global Institute se odhaduje, že tyto technologie sníží počet zranění ve výrobních provozech až od 25 % (ZSBOZP, 2020).

Toto je budoucnost, která nebude zavedena ihned ve všech provozech, a proto se firmy nadále budou muset potýkat se škodlivými účinky vedlejších produktů na zaměstnance při opracování materiálů. Proto je důležité snažit se eliminovat tyto nežádoucí účinky například použitím vhodných materiálů na výrobu nástrojů, správně nastavovat parametry obráběcího procesu a chránit zaměstnance vhodnými opatřeními, jako jsou osobní ochranné pracovní pomůcky apod. Dokonalým scénářem by ale bylo, pokud by v provozu lidé nemuseli být vůbec a provoz by byl plně automatizovaný. To

se vyplatí pouze v případě, že by lidská práce byla dražší než automatizace provozu, což není zcela reálné.

Na druhou stranu musí být bráno v potaz, že i stroje sami o sobě ovlivňují hlučnost a prašnost. Ne ve smyslu působení emisí hluku a prachu na člověka, ale v případě plně automatizované továrny stroje vytvářejí hluk, který působí nepříznivě na stavbu nebo na okolí továrny. To samé u prachu. Tyto emise také ovlivňují samotné stroje, jejich životnost a funkčnost. Proto je důležité i přes veškerý pokrok a automatizaci dále provádět výzkumy a zkoušení, aby se emise hluku a prachu eliminovaly kvůli strojům samotným.

## 2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce je zjistit, jak změna vybraných parametrů frézování materiálů na bázi dřeva ovlivňuje emise hluku a prachu.

Na základě výsledků lze zjistit závislosti mezi proměnnými faktory:

1. Typ nože: nůž I a nůž II s povlakem CrTiN
2. Úběr materiálu: úběr 1 mm a úběr 2 mm
3. Počet nožů: 2 nože a 4 nože
4. Obráběný materiál: MDF a MDF-L

na tyto sledované charakteristiky:

1. Hlučnost
2. Prašnost

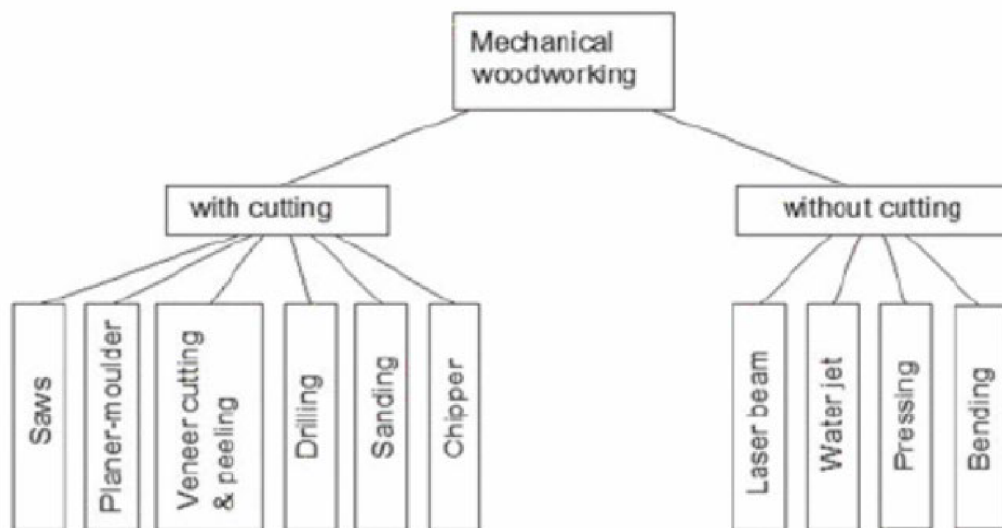
Výsledky diplomové práce by měly pomoci při zhodnocení jednotlivých parametrů a při určování jejich vlivu na emise hlučnosti a prašnosti při frézování materiálu.

Z hlediska praxe je důležité vyhodnotit použité typy nožů a nastavení velikosti úběru materiálu z důvodu zachování kvality výrobku.

Dalším výsledkem zhodnocení je důsledek množství použitých nožů a druh obráběného materiálu na emise hluku a prachu při frézování materiálu na bázi dřeva.

### 3. ROZBOR PROBLEMATIKY

Obrábění dřeva hraje základní roli ve většině postupů přeměny dřeva. Opracování obvykle mění tvar, velikost a kvalitu povrchu. Obrábění probíhá ve většině případů řezáním a vedlejším produktem jsou třísky. Některé třísky jsou používány pro výrobu třískových desek (překližky, dřevotřískové desky nebo dřevní vlna) a některé pro výrobu energie. Dřevoobrábění lze rozdělit do dvou hlavních skupin: obrábění s řezáním a obrábění bez řezání viz obr. 1 (CSANÁDY, 2020).



Obr. 1 – Mechanické metody zpracování dřeva (CSANÁDY, 2020)

zleva: s řezáním – řezání, hoblování, řezání a loupání dýh, vrtání, broušení, třískování

zleva: bez řezání – laserový paprsek, vodní proud, lisování, ohýbání

Hlavním tématem této diplomové práce je obrábění dřeva pomocí frézování. Proto budou následující kapitoly věnovány tomuto způsobu obrábění dřeva a souvisejícím náležitostem.

### 3.1. Frézování

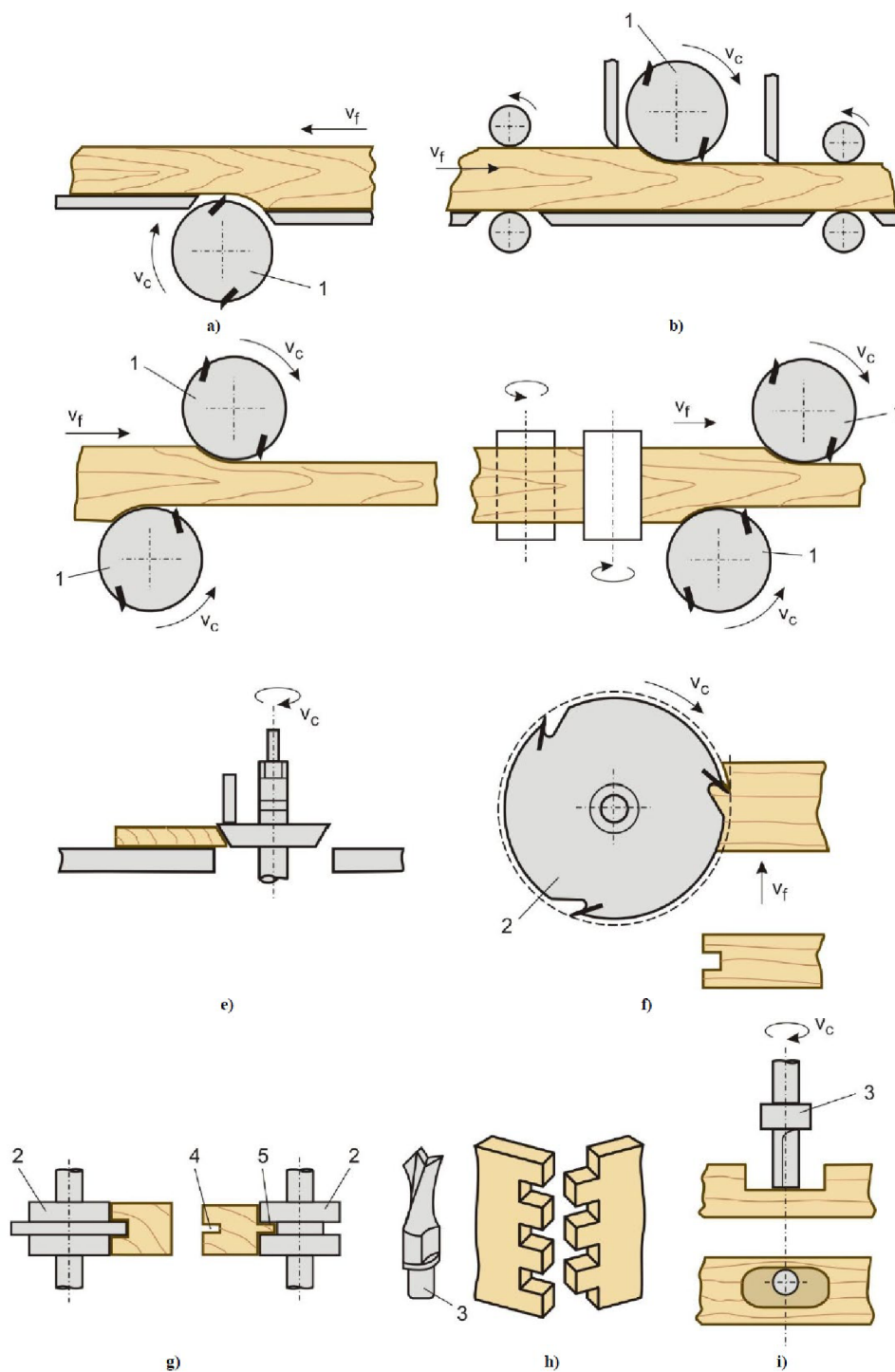
Frézování, jakožto nejčastější způsob obrábění dřeva a materiálů na bázi dřeva, je definováno jako obrábění, kde se za pomoci rotačního pohybu frézovací hlavy dochází k úběru určité vrstvy materiálu. Tím pádem dochází ke změně jeho tvarů a rozměrů (JAMBEROVÁ ad., 2016; KRAUSS ad., 2016; VANČO ad., 2016).

Frézování je také možno definovat jako proces, při kterém se opracovává povrch dílce na požadovaný tvar a jakost pomocí rotujícího nástroje různého tvaru, tzv. frézy. Povrch dílce může být rovný nebo profilovaný (LISIČAN, 1988).

Obrobek se při frézování posouvá ve směru kolmém na osu nebo přibližně kolmém na osu rotace nástroje při daném úběru materiálu. Přitom šířka odebrané vrstvy musí být menší, než je šířka obrobku a poloměr nástroje (SIKLIENKA A KMINIAK, 2013).

Podle PROKEŠE (1982) a jeho klasifikace mechanické technologie vyplývá, že frézování je mechanické obrábění, kde se porušují vazby dřevních vláken (řezání), vznikají třísky (řezání třískové).

Účelem frézování je opracování obrobku na požadovaný rozměr, tvar a kvalitu povrchu. V praxi je frézování velmi rozšířené opracování dřeva za účelem srovnání křivých ploch, tloušťkové egalizace – tloušťkování, vytváření křivých ploch, různých reliéfů a profilů (SIKLIENKA A KMINIAK, 2013).



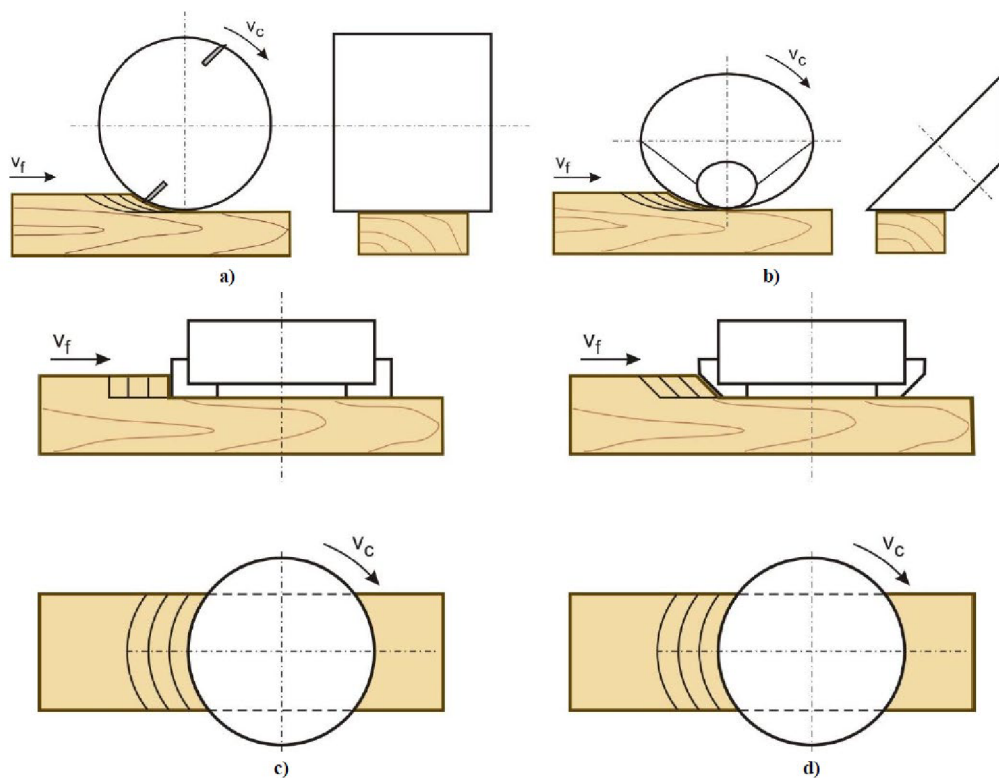
Obr. 2– Způsoby frézování z hlediska použití (SIKLIENKA A KMINKA, 2013)

a) srovnávání, b) tloušťkování jednostranné, c) tloušťkování dvojstranné, d) čtyřstranné frézování, e) tvarové frézování, f) čepování, g) frézování drážky a pera, h) frézování spojů rybinovací frézou, i) kopírování stopkovou frézou

$v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost, 1. nožová hřídel, 2. kotoučová fréza, 3. stopková fréza, 4. drážka, 5. pero

Podle polohy osy otáčení a podle ploch, které při frézování opisují hlavní řezné hrany nástroje, rozlišujeme čtyři druhy frézování (SIKLIENKA A KMINIAK, 2013):

- a) válcové – osa otáčení je rovnoběžná s obráběnou plochou a řezné hrany opisují válcovou plochu
- b) kuželové – osa otáčení je rovnoběžná s obráběnou plochou a řezné hrany opisují válcovou plochu
- c) čelní – osa otáčení je kolmá k obráběnému povrchu, hlavní řezné hrany nástroje se pohybují v rovině a vedlejší řezné hrany opisují válcovou plochu, tento způsob se většinou používá při stopkových a tvarových frézách
- d) čelně-kuželové – osa otáčení je kolmá k obráběnému povrchu, ale narozdíl od čelního frézování jsou řezné hrany nástroje skloněné k obráběnému povrchu pod určitým úhlem



Obr. 3 – Rozdělení frézování podle polohy a osy frézování (SIKLIENKA A KMINIAK, 2013)

a) válcové, b) kuželové, c) čelní, h) čelně-kuželové

$v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost

### **3.2. Nástroje pro obrábění**

Rostoucí význam dřevařského průmyslu má za následek dramatické zlepšení obráběcích strojů a plnou automatizaci výrobního procesu. Řezné nástroje, které se v této oblasti používají však nemají takové vlastnosti, aby umožnily plné využití potenciálu strojů. Ve skutečnosti hlavní problémy při obrábění dřeva vyplývají z rozdílů ve fyzikálních a chemických strukturách mezi dřevem a kovy. Dřevo má dobrou obrobitelnost umožňující vysokou rychlost řezání a posuvu. Na druhé straně dřevo obsahuje vodu, takže způsobuje korozi kovů. Kromě toho mohou povrchové vady dřeva způsobit otupení řezného nástroje, a proto nejsou křehké materiály vhodné pro výrobu nástrojů pro obrábění dřeva (FAGA ad., 2006).

Životnost řezného nástroje hraje také důležitou roli při zvyšování produktivity práce a v důsledku toho je také důležitým ekonomickým faktorem. Levný materiál znamená menší životnost a větší náklady na provoz (GILL ad., 2010).

Nástroj je těleso, na kterém je jeden nebo několik břitů. Je to předmět, který slouží k oddělení předem stanoveného množství materiálu z opracovávaného objektu (obrobku). Dle požadavků pro konkrétní typ opracování vzniká po opracování nástrojem nová plocha (LISIČAN, 1996).

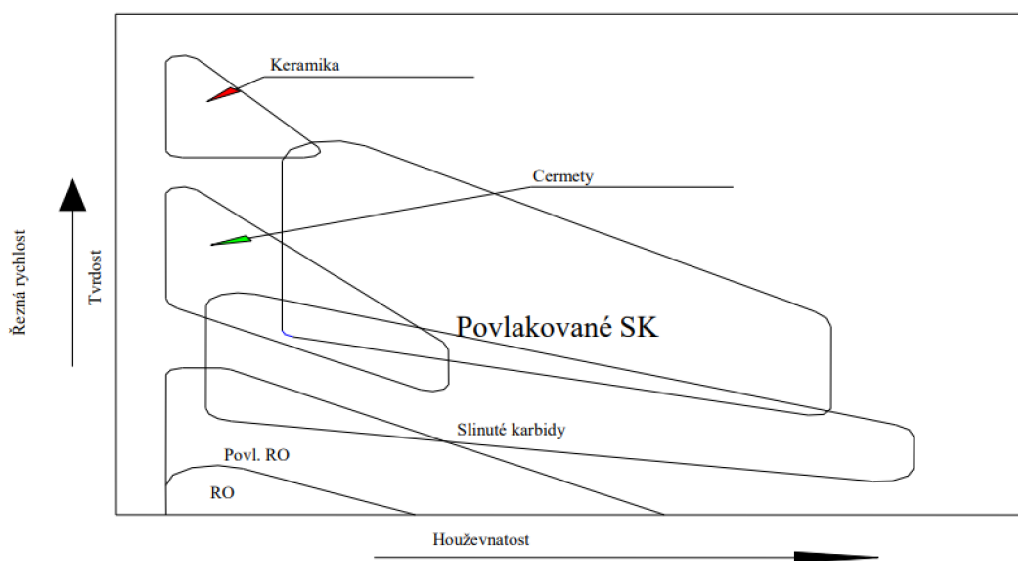
#### **3.2.1. Materiály pro řezné nástroje**

Na materiály, ze kterých se vyrábí nástroje, se obecně klade celá řada požadavků, jako jsou vysoká tvrdost a pevnost, dostatečná houževnatost, odolnost proti opotřebení, a to i při vysokých teplotách, odolnost proti korozi apod. Obecně však platí, že čím je dokonalejší nástrojový materiál, tím větší bude produktivita práce – zvyšují se řezné podmínky, hospodárnost obrábění abrazivních materiálů apod. (KOPECKÝ, 2016).



Řezné nástroje se v současné době vyrábějí z několika možných materiálů (HUMÁR, 2008):

- a) Nástrojové ocele – zejména rychlořezné
- b) Slinuté karbidy – bez povlaku, s tvrdými otěruvzdornými povlaky
- c) Cermety – včetně povlakovaných
- d) Řezná keramika – včetně povlakované
- e) Supertvrdé materiály – syntetický diamant, kubický nitrid boru



Obr. 4 – Oblasti aplikace nejpoužívanějších materiálů pro řezné nástroje (ČEP, 2013)

Při volbě nástrojového materiálu se zohledňuje druh a velikost nástroje, druh obráběného materiálu, požadované řezné podmínky a požadovaná trvanlivost břitu a životnost nástroje (KOPECKÝ, 2016).

Použití jednotlivých druhů materiálů do daných oblastí je vymezeno jejich fyzikálními, chemickými, tepelnými a mechanickými vlastnostmi. Materiály s vysokou tvrdostí se používají při vyšších řezných rychlostech a malých průřezích třísky – dokončovací obrábění, kde převládá spíše tepelné zatížení nad mechanickým. Materiály, které mají vysokou houževnatost, lze použít při vyšších posuvných rychlostech – tloušťkovací obrábění, kde převládá mechanické zatížení nad tepelným (HUMÁR, 2008).

Je zřejmé, že žádná látka nemůže být použita jako univerzální materiál pro řezné nástroje. Proto je důležité, znát fyzikální a mechanické vlastnosti každého konkrétního nástrojového materiálu a v souladu s tím stanovit jeho podmínky použití (HUMÁR, 2008).

Dnes se více a více uplatňují nástroje ze supertvrdých materiálů, hlavně opři obrábění materiálů na bázi dřeva, které mohou být v některých případech hůře opracovatelné než rostlé dřevo. Nástroje, které jsou vyrobeny ze syntetického diamantu jsou poměrně drahé, a proto jsou část využívány spíše nástroje s povlakem. (SHEIKH-AHMAD, 2003)

Aplikaci povlaků používáme, pokud chceme zlepšit některé z vlastností nástrojového materiálu a stavu povrchu materiálu, aby byla zajištěna jejich dlouhodobá funkce. Povlaky aplikujeme hlavně z důvodu zlepšení otěruvzdornosti, žáruvzdornosti, změny elektrické vodivosti, tepelné vodivosti a hlavně tvrdosti (SHEIKH-AHMAD, 2003).

Povlaky se dělí na dvě základní skupiny podle charakteru a způsobu úpravy povrchu: organické a anorganické. Na nástroje, které se používají pro obrábění dřeva a materiálů na bázi dřeva se používají především anorganické povlaky na bázi kovů (KACZOROWSKI, 2012).

Povlak je vrstva, která zvětšuje jmenovitý rozměr nástroje. Technologie nanášení tenkých otěruvzdorných vrstev z plynné fáze zajistila použití povlaků téměř na všech druzích řezných materiálů, kdežto v minulosti se používaly pouze otěruvzdorné difúzní vrstvy (nitridace) nebo povlaky (tvrdý chrom), které neměly tak široké použití. Pro povlakování rychlořezné oceli se používá metoda PVD ( Physical Vapour Deposition). Tato metoda využívá fyzikálních principů (NOSEK, 2008).

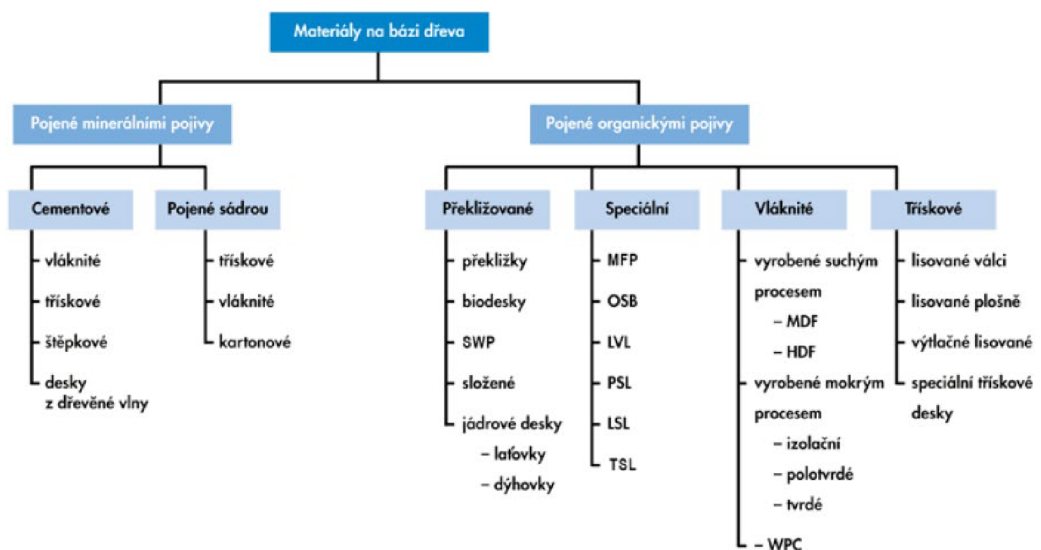
V současnosti se rozlišují tři typy povlakování metodou PVD, a to napařování, naprašování a iontové plátování. Nejčastěji se aplikuje povlak TiN, který se aplikuje zhruba na 75 % nástrojů. Dále se aplikují povlaky (Ti, Al)N a Ti(C, N). Hlavní výhodou je možnost povlakování ostrých hran, ale nevýhodou je složitý vakuový systém. Využívání rychlořezných ocelí má velký ekonomický význam (ČEP, 2013).

### 3.3. Materiály na bázi dřeva

Ve dřevě stromu se během jeho života tvoří suky, smolníky a jiné růstové vady. Tyto růstem podmíněné prvky narušují homogenitu a velmi ovlivňují vlastnosti dřeva. Tento problém se dá řešit například vyříznutím suků z prken a následným slepením těchto prken. Nebo rozdělením dřeva na menší částice a ty se opět slepí. Takto vzniká materiál na bázi dřeva, u kterého je možné vliv růstových vad dřeva potlačit (KUKLÍK A KUKLÍKOVÁ, 2002).

Materiály na bázi dřeva se od klasických dřevěných materiálů liší tím, že vznikají dělením dřevních částic na jednotlivé částice, kterými jsou třísky, štěpky, vlákna nebo dýhové listy. Následným slepením nebo slisováním pomocí lepidel nebo pojiv vznikají nové velkoplošné deskové materiály (NIS, 2013).

Materiály na bázi dřeva lze rozdělit podle několika hledisek, ale nejčastěji se rozdělují podle druhu použitého pojiva a způsobu konstrukce (BÖHM ad., 2012).



Obr. 5 – Rozdělení materiálů na bázi dřeva (BÖHM ad., 2012)

Dle KUKLÍKA A KUKLÍKOVÉ (2002) existuje v současné době několik druhů materiálů na bázi dřeva a to jsou: překlížované desky, vláknité desky, třískové desky a OSB desky, lepené lamelové dřevo, vrstvené dřevo, zhuštěné dřevo a modifikované dřevo.

Snaha o výrobu produktů využívající příznivé vlastnosti dřeva, jako jsou izolační vlastnosti, snadná obrobitelnost, příznivé působení na prostředí, nízké výrobní náklady na energii a jiné, byla hlavním důvodem k vývoji materiálů na bázi dřeva (BÖHM ad., 2012).

Další výhodou těchto materiálů je, že se dá regulovat stupeň anizotropie (například velikostí a orientací dřevních částic) dle požadavků na konečný způsob aplikace. Mezi další významné výhody materiálů na bázi dřeva patří možnost výroby produktů v rozměrech, které jsou omezeny použitou výrobní technologií. Dále možnost efektivnějšího využití přírodního materiálu, snadnější přizpůsobení měnícím se požadavkům na trhu a menší zatížení životního prostředí z důvodu minimální spotřeby chemických látek (BÖHM ad., 2012).

Hlavní nevýhodou materiálů na bázi dřeva je právě zmiňované lepení. Z lisovaných dřevěných výrobků se uvolňuje formaldehyd, který je karcinogenní. Kvůli emisím formaldehydu a s tím související ohrožení zdraví člověka může působit jako překážka pro přijetí těchto materiálů veřejností, právě kvůli ekologickému podvědomí a zájmu (SUMIN ad., 2006).

Jedná-li se o nové materiály a výrobky, může se formaldehyd uvolňovat i několik měsíců. Hlavně pokud je v interiéru vysoká relativní vlhkost vzduchu, vnitřní teplota a výměna vzduchu (RAJNOCH, 2012).

Přidáním roztoku močoviny, propylaminu, methylaminu, ethylaminu a cyklopentylaminu při výrobě materiálu na bázi dřeva bylo zjištěno, že se emise formaldehydu snížily. Naopak se ale zvýšila absorpce vody a hodnoty bobtnání. Toto bylo zjištěno ve studii BORANA ad. (2011).

### 3.3.1. Dřevovláknité desky se střední hustotou (MDF)

Vláknité desky (VD) jsou definovány jako vláknitý materiál o tloušťce 1,5 mm a více, který je vyrobený z lignocelulózových vláken pomocí použití ohřevu nebo tlaku. (ČSN EN 316, 2009).

MDF desky, polotvrdé dřevovláknité desky (Medium Density Fibreboard), mají hustotu od 400 do 900 Kg/m<sup>3</sup>. Od roku 1990 je výrobcem MDF v ČR Dřevozpracující družstvo Lukavec (BÖHM ad., 2012).



Obr. 6 – Dřevovláknitá deska se střední hustotou (BÖHM ad, 2012)

Dřevovláknité desky se střední hustotou se vyrábí z jehličnatého dřeva. Dřevo se dělí na štěpky, které jsou změkčovány tlakem páry 7-8 barů při teplotě 140-160°C. Dále jsou štěpky pod plným tlakem páry rozvlákněny na jemná vlákna a na vlhká vlákna se nanese lepidlo a naposledy se suší v sušárně (SMOLKOVÁ, 2010).

Hlavní a nejdůležitější vlastností MDF je homogenita v celém průřezu desky. Ta umožňuje čisté kvalitní opracování frézováním reliéfů do ploch a také profilování boků desek. Tyto desky mají také vysokou pevnost v tahu kolmo na plochu (BÖHM ad., 2012).

Desky s hustotou okolo 650 Kg/m<sup>3</sup> se používají ve výrobě nábytku. Používají se především na dílce, které mají tvarově profilované boky nebo reliéfované plochy (BÖHM ad., 2012).

MDF desky mohou být v surovém stavu nebo se ošetřují dýhovým povrchem. Desky lze také tmelit, mořit, lakovat a reliéfovat (mokrý povrchová úprava). Dále lze MDF desky opatřit umělým povrchem, tedy PVC fóliemi či dekoračním laminovacím papírem (suchá povrchová úprava) (ČÍŽEK, 1985).

Pokud se opracovává takto upravený materiál, je potřeba klást důraz na ochranu povrchů před poškrábáním a čistotu pracovních ploch, protože vrstvené povrchy jsou velice tvrdé a křehké. Musí se používat stroje, které mají pracovní plochy kryté pryžovými nebo plstěnými povlaky anebo je obráběný materiál uložený v upínacím nebo podávacím přípravku, který je vyložený měkkými hmotami (ČÍŽEK, 1985).

Časté použití takto ošetřených desek je na kuchyňská dvířka a čela zásuvek. Pro výrobu stolových desek se používají desky s laminovaným nebo dýhovaným povrchem. Pokud mají MDF desky zvýšenou odolnost proti vlhkosti, mohou být použity na výrobu vstupních dveří (BÖHM ad., 2012).



Obr. 7 – Probarvená MDF deska s laminovaným povrchem (BÖHM ad., 2012)

Vzhledem k vývoji a snahy o udržitelnost a ekologii se provádí řada výzkumů, kde se místo dřevních vláken používají na výrobu MDF jiné udržitelné materiály, většinou odpadové materiály jako jsou obilná sláma, sójová sláma, zbytky cukrové třtiny a podobně.

Bylo zjištěno, že dřevovláknité desky se střední hustotou, které byly vyrobeny z pšeničné a sójové slámy mají horší mechanické vlastnosti a odolnost proti vodě. Sójová sláma je srovnatelná s pšeničkou v porovnání mechanických vlastností a odolnosti proti vodě. Voděodolnost se ale velmi snížila s rostoucím podílem slaměných vláken (YE, 2007).

Sójový protein je obnovitelný a hojný materiál a je skvělou alternativou k pryskyřicím na bázi formaldehydu. XIN LI (2009) ve své studii zkoumal sójový protein jako lepidlo při výrobě dřevovláknitých desek střední hustoty. Ukázalo se, že vlastnosti desek vyrobených za použití sójového proteinového lepidla jsou podobné vlastnostem komerčních desek.

Ve studii ASHORIHO (2009) bylo použito bagasové vlákno z cukrové třtiny pro výrobu středně tvrdých dřevovláknitých desek. Tato studie ukázala, že MDF panely vyrobené z bagasy překračují normy EU pro vnitřní vazbu, modul pružnosti a statický ohyb. Hodnoty bobtnání byla však vyšší, tedy horší než požadavky. Je tedy potřeba vylepšit fyzikální vlastnosti dřevovláknitých desek vyrobených z bagasy.

Všechny výsledky těchto studií tedy naznačují, že desky vyrobené z alternativních materiálů mají horší vlastnosti, ale je zde prostor pro zlepšování a možnou jednou se budou tyto materiály používat.

### **3.4. Rizikové faktory pracovního prostředí**

Dle vyhlášky č. 432/2003 Sb. do rizikových faktorů pracovního prostředí zařazujeme:

- chemické látky
- fyzická zátěž
- prach
- hluk
- vibrace
- neionizující záření
- pracovní poloha
- psychická zátěž
- práce ve zvýšeném tlaku vzduchu
- zraková zátěž
- zátěž chladem
- zátěž teplem
- práce s biologickými činiteli

Tato vyhláška stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky pro odběr biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a také vysvětluje náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli (Vyhláška č. 432/2003 Sb).

V dřevoobráběcím procesu se nejčastěji měří a hodnotí emise hluku a prachu, kterým je také věnována tato diplomová práce a další kapitoly.



### 3.4.1. Zvuk a hluk

Zvukem se nazývá mechanické vlnění pružného prostředí v kmitočtovém rozsahu vnímaného sluchem. Rozlišují se dva druhy akustického vlnění, a to ultrazvuk a infrazvuk. Ultrazvuk je definován jako akustické vlnění, které je nad horním hraničním kmitočtem slyšitelného zvuku. Naopak infrazvuk je pod dolním hraničním kmitočtem slyšitelnosti. Akustické vlnění lze popsat základními fyzikálními veličinami – akustický tlak, akustická rychlost a kmitočet (MÁLEK, 2014).

#### a) akustický tlak (p):

Je určující veličinou pro popis zvukového signálu a jeho vlastností. Změny akustického tlaku jsou lidmi vnímány jako zvuk a minimální vnímatelná hodnota, nazývána jako práh slyšení neboli sluchový práh je dána hodnotou  $p_0=2 \cdot 10^{-5}$  Pa (KHSJK, 2013)

#### b) akustická rychlost

Akustická rychlost znázorňuje rychlost kmitání částic prostředí a je určena velikostí a směrem. Jednotka akustické rychlosti je ( $m \cdot s^{-1}$ ) (MÁLEK, 2014).

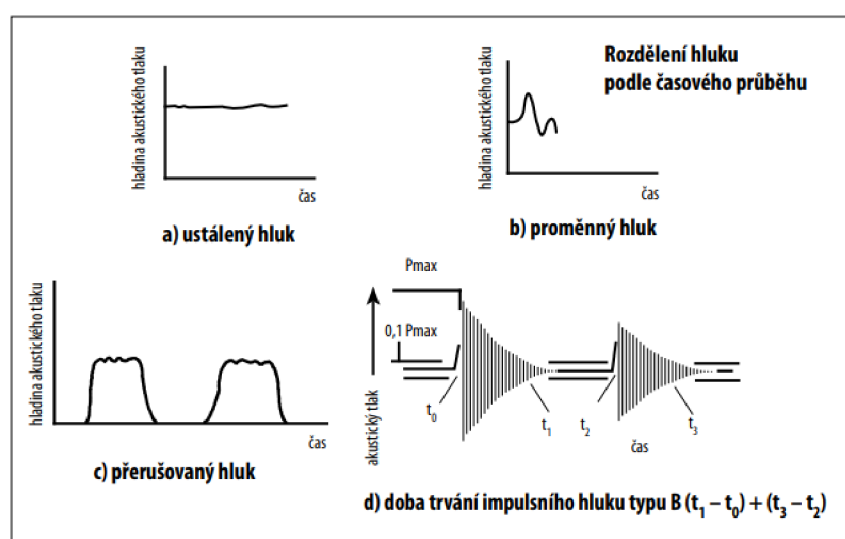
#### c) kmitočet

Kmitočet je udáván v hertzech (Hz) a je definován jako počet změn periodického děje za sekundu. Jak je zmíněno výše, infrazvuk je zvuk, jehož kmitočet je nižší než 16 Hz a ultrazvuk je zvuk, jehož kmitočet je vyšší než 20 000 Hz (MÁLEK, 2014).

Akustický výkon vyzařující do okolí charakterizuje určitý zdroj zvuku a jeho jednotka je watt (W). Ve skutečnosti většinou zdroj zvuku není volně v prostoru, ale postaven na podlaze nebo pověšen na zdi, a proto pak povrchem polokoule vyzařuje do poloprostoru a nevyzařuje zdroj zvuku rovnoměrně. V praxi vyjadřujeme hladinu akustického výkonu v decibelové stupnici. Akustický výkon procházející jednotkovou plochou ke směru šíření zvukové vlny se nazývá akustická intenzita udávána v decibelech (dB). Na většině pracovištích hluk pochází z více zdrojů (MÁLEK, 2014).

Tón jsou slyšitelné periodické změny tlaku vnímané sluchem, které trvají déle než 1 sekundu. Frekvence tlakových změn (tónu) se definuje jako počet period tlakových změn za jednu sekundu a jednotka frekvence je hertz (Hz). Rozdílné výšky tónu jsou vnímány jako rozdílné frekvence, a přitom hluboké tóny jsou vnímány jako frekvence vysoké. Se stoupající frekvencí stoupá i výška tónu (NAVRÁTIL, ROSINA ad., 2019).

Mladý dospělý člověk, který je v dobrém zdravotním stavu, uslyší zvuky v rozsahu kmitočtů 20 Hz - 20 000 Hz. Avšak lidský sluch není stejně citlivý na všech frekvencích. Na frekvencích 1000 Hz - 4000 Hz je nejvyšší citlivost sluchu a mimo toto pásmo citlivost sluchu klesá. Z tohoto důvodu se při měření hluku zařazují do měřícího řetězce váhové filtry (A, C). Tyto filtry upravují frekvenční charakteristiku zvukoměru podle charakteristik fyziologie slyšení a rušivosti hluku. Váhový filtr A je důležitější, používá se při hodnocení ustáleného, proměnného, přerušovaného nebo impulsivního hluku. (ŠVÁBOVÁ ad., 2015). Na obrázku č. 8 je znázorněno rozdělení hluku podle časového průběhu.



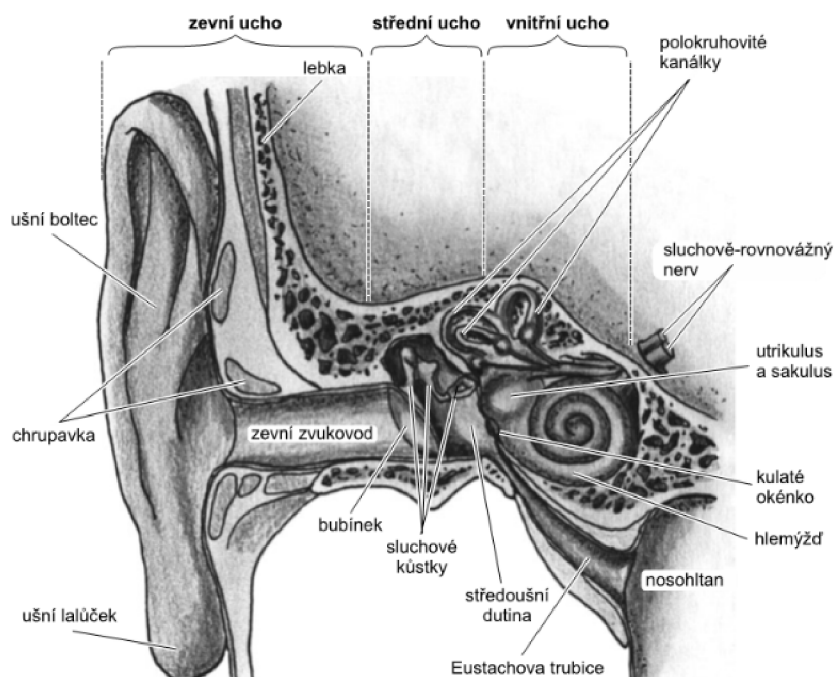
Obr. 8 – Rozdělení hluku podle časového průběhu (ŠVÁBOVÁ ad., 2015)

Pokud na člověka působí zvuk, který má nežádoucí a rušivý vjem anebo má na člověka škodlivý účinek, nazýváme ho hluk. (MÁLEK, 2014)

Tyto nepříjemné, nechtěné a rušící zvuky jsou nazývány hlukem bez ohledu na jejich intenzitu. Z tohoto důvodu považujeme hluk za bezprahově působící škodlivý faktor. Každý člověk má však určitý stupeň tolerance k jednotlivým rušivým účinkům hluku. Lze rozlišit krátkodobé neboli ojedinělé působení hluku, respektive působení náhodnými hluky, tj. hluky, které se mění náhodně a nepředvídatelně. Mezi tyto hluky lze zařadit hlasy lidí nebo zvířat, hudební projevy, hádky apod. Dále existují hluky způsobené dlouhotrvajícím působením definovaných zdrojů, například hluk z dopravy nebo strojů (MZČR, 2015).

### 3.4.1.1. Působení hluku na člověka

Uchem člověk přijímá zvuk (Obr. 9), ucho se skládá ze tří částí: vnější ucho, střední a vnitřní ucho. Vnější ucho je tvořeno boltcem a zvukovodem a zachycuje zvukové vlny ve vzduchu. Zvukové vlny rozkmitají bubínek, což je mezičlánek se středním uchem. Střední ucho se skládá ze tří kůstek (kladívko, kovadlinka a třmínek) neboli převodních pák vibrací bubínku do vnitřního ucha, tzv. oválné okénko. Vnitřní ucho obsahuje dva samostatné systémy polokruhových kanálků, které kontrolují rovnováhu člověka a dále hlemýžď (cochlea), který zpracovává zvuk (JOKL, 2002).



Obr. 9 – Zevní, střední a vnitřní ucho (OREL, 2019)

Při poslouchání slabého a sotva slyšitelného zvuku delší dobu přestane člověk tento zvuk vnímat. Tímto dochází k jevu, který se nazývá adaptace prahu sluchu. To znamená, že došlo k přizpůsobení sluchu na určitý zvuk, který nemá žádný varovný ani informační význam. Pokud je zvuk silnější, dojde pouze k oslabení zvukového vjemu, a ne k jeho úplného vymizení. Jev, který je tímto způsoben se nazývá adaptací organismu na zvuk. Pokud trvá intenzivní zvukový podmět delší dobu, dochází ke snižování hlasitosti a tím ke sluchové únavě. Maskováním se nazývá působení dvou nestejně hlasitých zvukových vjemů, dochází tak ke snížení vnímání slabšího zvuku. Tyto uvedené jevy jsou velmi složité a ovlivňují je vlastnosti působící na zvuky. O přetížení

sluchu hovoříme, když se při hromadění únavy její odeznění prodlužuje na několik hodin až dny. Pracovníci pak mohou mít zalehlé uši až několik hodin po skončení působení hluku. Působením krátkých zvuků vysoké intenzity (výstřely, třesky) může dojít k akutnímu poškození sluchu – akutnímu akustickému traumatu. V průmyslu se ale setkáváme spíše se silnými a dlouhotrvajícími hluky, které způsobují chronické akustické trauma, což vede k dlouhotrvající sluchové únavě, jejímu zvětšování a přetížení sluchu (MÁLEK, 2014).

Hluk, který vzniká na pracovišti a pochází z jakéhokoliv zdroje, vždy působí na pracovníky, kteří jsou hluku vystaveni po celou dobu pracovní směny, nepříznivě. Rozdíl je ale v tom, zda se pracovník nachází přímo u zdroje hluku nebo pracuje v určité vzdálenosti od zdroje hluku. Hluky nad 30 dB jsou nebezpečím pro nervový systém a psychiku, nad 60-65 dB pro vegetativní systém, nad 90 dB pro sluchový orgán a nad 120 dB mohou být poškozeny buňky a tkáně (HUBENÁ, 2011).

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací stanovuje hygienické limity ustáleného a proměnného hluku pro jednotlivá pracoviště. Uvádí, že přípustný expoziční limit ustáleného a proměnného hluku při práci se rovná 85 dB, není-li dále uvedeno jinak. Impulsní hluk má také expoziční limit 85 dB. Záleží však na druhu vykonávané práce.

Vyhláška č. 432/2003 Sb. stanovuje podmínky pro zařazování prací do kategorií dle expozičního limitu. Nízkofrekvenční hluk, infrazvuk a vysokofrekvenční zvuk se pro účely zařazení práce nehodnotí samostatně, proto nejsou stanovená kritéria pro zařazování do kategorií.

a) kategorie druhá:

- ustálený a proměnný hluk -  $L_{Aeq, 8 h}$  v rozmezí 80.84,9 dB, přičemž stanovený expoziční limit nebyl překročen
- impulsivní hluk -  $L_{Aeq, 8 h}$  v rozmezí 80.84,9 dB, avšak přípustný expoziční limit nebyl překročen a jeho hladina špičkového tlaku C v rozmezí 130-139,9 dB, však stanovený limit 140 dB nebyl překročen

b) kategorie třetí:

- ustálený a proměnný hluk -  $L_{Aeq, 8 h}$  se rovná nebo přesahuje přípustný expoziční limit, avšak nepřekračuje 105 dB

- impulsní hluk -  $L_{Aeq, 8 h}$  se rovná nebo přesahuje přípustný expoziční limit, avšak nepřekračuje 105 dB a jehož hladina  $L_{Cpeak}$  dosahuje nebo je vyšší než stanovený limit, ale nepřesahuje 105 dB

c) kategorie čtvrtá:

- ustálený a proměnný hluk – naměřená hodnota je vyšší než u kategorie třetí
- impulsní hluk -  $L_{Aeq, 8 h}$  i  $L_{Cpeak}$  jsou vyšší než kategorie třetí

Účinku hluku na člověka se rozdělují na specifické sluchové účinky a nespecifické mimosluchové účinky. Mezi specifické sluchové účinky patří například akutní akustické trauma, poruchy sluchu z hluku a zhoršené zpracování nových poznatků. Do nespecifických mimosluhových účinků se řadí například funkční poruchy v aktivaci centrálního nervového systému, funkční poruchy motorických funkcí, funkční poruchy emocionální rovnováhy, akutní zvýšení tepové frekvence a krevního tlaku nebo riziko kardiovaskulárních onemocnění (PROVAZNÍK, 1997).

#### **3.4.1.2. Měření hluku v pracovním prostředí**

Akustický výkon zdrojů hluku se zjišťuje pomocí měření hlukových emisí. Výsledky tohoto měření jsou používány hlavně při posuzování strojů a zařízení, ale hlavně slouží projektantům a konstruktérům strojů při návrzích řešení technických opáření, které se provádí přímo na zdroji, aby se omezily účinky hluku na člověk (MÁLEK, 2014).

Podle podmínek na pracovištích rozlišujeme dle MÁLKA (2014) při měření hlukových emisí:

- a) měření hluku na pracovním místě
- b) měření hluku v pracovním prostoru
- c) měření hlukové zátěže jednotlivce

Na základě umístění mikrofону a způsobu zpracování výsledku se tato měření liší. Pokud pracovníci při pracovní směně zůstávají větší část na pracovním místě, měří se hlučnost pracovního místa. Jestliže pracovníci mění své stanoviště a přecházejí mezi několika zdroji hluku během pracovní směny, měří se hluk v pracovním prostoru. Pokud ale pracovníci přecházejí mezi pracovními místy, prostory i zdroji, které se od sebe velmi liší, měří se hluková zátěž jednotlivých osob. Zvukoměry se používají jako

základní nástroje pro měření hluku. Tvoří je měřící mikrofon, zesilovač, vyhodnocovací obvody a indikátory nebo displej. Lze k nim také připojit kmitočtové nebo hladinové analyzátoary, zapisovač grafického záznamu spektrálního průběhu hladin akustického tlaku nebo časového záznamu včetně možnosti přenosu dat do počítače. Osobní zvukové expozimetry jsou upravené přístroje používané pro přímé měření hlukové dávky, tedy pro měření hlukové zátěže jednotlivce (MÁLEK, 2014).

Všechna měřící zařízení, jako jsou zvukoměry, měřící mikrofony a pásmové filtry jsou stanovená měřidla, a to dle zákona č. 505/1990 Sb. Podléhají úřednímu ověření jednou za dva roky a svými parametry musí odpovídat normám ČSN EN 61672 a ČSN EN 61260. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., které zavádí evropskou směrnici 2003/10/ES, upravuje ochranu zdraví před nepříznivými účinky hluku. Dle normových metod v normách ČSN EN ISO 9612 a ČSN ISO 1999 se postupuje při měření hluku v pracovním prostředí. Dále také podle doporučeného metodického návodu pro měření hluku v pracovním prostředí a vibrací vydaného ve věstníku č. 4/2013, který vydalo MZ ČR (ŠVÁBOBÁ, 2015).

#### **3.4.1.3. Ochrana pracovníků před hlukem**

U hluku můžeme provést technická opatření, kterými jsou například vyřazení zdroje hluku z provozu, například nahrazením hlučné součástky nebo uplatňováním prvků, které snižují hluk. Dále lze zabránit přenosu hluku do konstrukce budovy pomocí vhodných opatření. Také lze zabránit šíření hluku do okolí zdroje vzduchem úplným zakrytím zdroje hluku neprůzvučným materiálem. Šíření hluku odrazem od stěn a okolních ploch se provádí především jako doplňkové. Lze také provádět organizační opatření jako jsou organizace práce, preventivní lékařské prohlídky apod. A v neposlední řadě také samozřejmě osobní ochranné pracovní prostředky – sluchátka nebo protihlukové přilby (MÁLEK, 2014).

### 3.4.2. Prach

Prach se definuje jako polydisperzní aerosol, který do organismu proniká s vdechovaným vzduchem. V horních dýchacích cestách jsou zadržovány velké částice, které se přichytávají k hlenům na stěnách. Čím menší jsou částice, tím je větší pravděpodobnost, že se částice dostanou do plicních sklípků (MÁLEK, 2014).

Prach lze podle MÁLKA (2013) rozdělit do 3 frakcí:

- a) Inhalabilní (vdechovatelnou) – obsahuje prach všech velikostí, které mohou proniknout do dýchacího ústrojí
- b) Thorakální – zahrnuje částice, které mohou proniknout do dýchacích cest plic a plicních sklípků
- c) Respirabilní – obsahuje částice, které se dostanou až do plicních sklípků

V praxi se většinou měří výsledky celkové koncentrace prachu (inhalabilní frakce) a respirabilní frakce (MÁLEK, 2014).

Podle hlediska působení prachu na člověka se dělí prach na toxický prach a prach bez toxického účinku. Dále se prach bez toxického účinku dělí na:

- a) prach s převážně fibrogenním účinkem
- b) prach s možným fibrogenním účinkem
- c) prach s převážně nespecifickým účinkem
- d) prach s dráždivým účinkem
- e) minerální vláknitý prach (ŠVÁBOVÁ, 2015)

Dřevný prach vzniká všude, kde se obrábí dřevo či materiály na bázi dřeva. Jedná se hlavně o nábytkářské provozovny, truhlárny a pily. Je nutné rozlišovat, s jakým druhem dřeva pracujeme, jelikož se v důsledku tvrdosti dřeva mění i vliv prachu na zdraví člověka. Dřevní prach je dle IARC prokázáný karcinogen. Na základě buněčné stavby dřeva se dřeva dělí na měkká (např. jehličnany) a tvrdá (v zimě opadavé – dub, buk, lípa). Tvrdé dřeviny mají velmi jemný prach a vyšší podíl respirabilní frakce než dřeva měkká. U exotických dřevin může být prach až toxický (SEDLÁČKOVÁ, 2016).

### 3.4.2.1. Působení prachu na člověka

Účinek vdechovaných prachových částic je ovlivňován několika faktory, mezi nimi jsou některé vlastnosti samotných vdechovaných částic. Kritickým faktorem je často velikost částic, která určuje, kde v dýchacím traktu se částice usadí. Důležité je také chemické složení, protože některé látky ve formě částic mohou ničit řasinky, které používají plíce pro odstraňování částic. Důležitým faktorem je také kouření, které může změnit schopnost plic čistit se. Vlastnosti osoby, která částice vdechuje, také velmi ovlivňují účinky prachu. Mezi nejdůležitější patří právě zmiňované kouření a také frekvence dechu. Délka zadržování dechu a jak hluboko se člověk nadechuje ovlivňuje usazování prachu v plicích. Nemálo důležité je také to, zda člověk dýchá ústy nebo nosem (BOZP, 2022).

Dle nařízení vlády č. 361/ 2007 je přípustný expoziční limit (PEL) hygienickým limitem prachu v ovzduší. Je to celosměnově vážený průměr koncentrací prachu v pracovním ovzduší, kterým může být exponován zaměstnanec v osmihodinové nebo kratší směně týdenní pracovní doby, aniž by u něho došlo k poškození zdraví, k ohrožení jeho pracovní schopnosti a výkonnosti.

Vyhláška č. 432/2003 Sb. nastavuje kritéria kategorizace prací:

- a) kategorie druhá: práce, při níž jsou osoby vykonávající tuto práci vystaveny prachu, jehož průměrné celosměnové koncentrace v pracovním ovzduší jsou vyšší než 30% hodnoty PEL stanoveného pro tento druh prachu, ale hodnotu PEL nepřekračují
- b) kategorie třetí: práce, při níž jsou osoby vystaveny prachu, jehož průměrné celosměnové koncentrace v pracovním ovzduší jsou vyšší než hodnota PEL pro tento druh prachu, ale nepřekračují jeho trojnásobek
- c) kategorie čtvrtá: práce, při níž jsou osoby exponovány prachu, jehož koncentrace jsou vyšší, než je uvedeno pro třetí kategorii

Účinek prachu má za následek několik druhů nemocí, například pneumokonióza uhlokopu a azbestóza (způsobuje ji prach fibrogenní), dále pneumokonióza z tvrdokovů, sideróza (tzv. svářečské plíce), farmářské plíce, byssinóza apod. Pokud je člověk vystaven dlouhodobé expozici vysokým koncentracím prachu může vzniknout chronický zánět průdušek a poté plicní emfyzém. Toto platí i u netoxického a nefibrogenního prachu, který je nazýván jako prach inertní (MÁLEK, 2014).



V kapitole III z Nařízení vlády č. 290/1995 Sb., které stanoví seznam nemocí z povolání, se nachází nemoci z povolání týkající se dýchacích cest, plic, pohrudnice a pobřišnice. Položky č. 8, 9 a 10 se týkají prachu souvisejícího s prací se dřevem.

8.	Rakovina sliznice nosní nebo vedlejších dutin nosních	Nemoc vzniká při práci, u níž je prokázána taková expozice prachu dřeva, která je podle současných lékařských poznatků příčinou nemoci.
9.	Exogenní alergická alveolitida	Nemoc vzniká při práci spojené s vdechováním prachu s antigenním a infekčním účinkem.
10.	Astma bronchiale a alergická onemocnění horních cest dýchacích	Nemoc vzniká při práci, u níž je prokázána expozice prachu nebo plynným látkám s alergizujícími nebo iritujícími účinky.

Obr. 10 – Výtažek z tabulky z kapitoly III (NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 290/1995 Sb.)

### 3.4.2.2. Měření prachu v pracovním ovzduší

Koncentrace aerosolu vyjadřuje míru znečištění ovzduší prachem. Tato koncentrace se určuje hmotnostně, tzn. jaká je hmotnost všech částic obsažených v jednotce objemu vzduchu. V pracovním prostředí (ovzduší) se obvykle udává v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Měření se provádí např. gravimetrickou metodou nebo početně. Dále se určuje počtem částic, který je v jednotce objemu vzduchu (v pracovním ovzduší u vláknitého prachu  $\text{vl}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Měření se provádí např. mikroskopickou početní metodou (ŠVÁBOVÁ, 2015).

Metoda hmotnostního stanovení s odběrem na filtry je základní metoda měření prašnosti. Princip závisí na tom, že se přes filtr prosaje známé množství vzduchu, na filtru se zachytí prach obsažený ve vzduchu a vážením filtru před odběrem a po odběru se získá hodnota přivažku, která se poté přepočte na jednotku objemu vzduchu. Jednotka hmotnostní koncentrace je  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Stanovení koncentrace vláknitých prachů se provádí pomocí vyšetření vzorku optickou mikroskopií po zprůhlednění filtru. Výsledky jsou vyjádřeny počtem vláken  $\cdot\text{cm}^{-3}$  vzduchu (MÁLEK, 2014).

Pokud je potřeba zjistit údaje o celkové koncentraci prachu s fibrogenním účinkem i údaje o koncentraci respirabilní frakce, dává se před membránový filtr odlučovač, který k filtru propustí jen částice odpovídající velikosti respirabilní frakce. Výsledek se vyjadřuje dvěma hodnotami, a to koncentrací respirabilní frakce a celkovou koncentrací prachu (MÁLEK, 2014).

### **3.4.2.3.Ochrana pracovníka před prachem**

Do technických opatření při ochraně proti prachu řadíme změnu technologie, uzavření zdrojů prašnosti, srážení prachu zkrápěním, ředění prašnosti celkovým vyvětráním prostoru, izolováním pracovníka od prašného prostředí. Opět zde lze uplatnit organizační opatření jako je dodržovat určený způsob a režim práce, častý úklid a postřik podlah vodou apod. Je dobré používat osobní ochranné pracovní prostředky jako jsou respirátory, polomasky s protiprašnými filtry nebo kukly s přívodem vzduchu (MÁLEK, 2014).

## 4. METODIKA

### 4.1. Použité materiály

Pro obrábění byly ve výzkumu použity materiály na bázi dřeva – MDF (medium-density fibreboard) v surovém stavu, která měla hustotu  $750 \text{ Kg/m}^3$  a MDF-L (medium-density fibreboard – laminated) jednostranně laminovaná s hustotou  $730 \text{ Kg/m}^3$ .

Materiál byl dodán přímo od výrobce DDL – Dřevozpracující družstvo Lukavec.

Tloušťka materiálu byla 18 mm.

označení	materiál	hustota [ $\text{kg/m}^3$ ]	výrobce
MDF	středně tvrdá dřevovláknitá deska	750	DDL - Dřevozpracující družstvo Lukavec, ČR
MDF-L	středně tvrdá dřevovláknitá deska - laminovaná	730	DDL - Dřevozpracující družstvo Lukavec, ČR

Tab. 1 – Vlastnosti použitých materiálů

### 4.2. Použité nástroje a frézovací hlava

#### 4.2.1. Frézovací žiletkové nože

Na frézování byly použity dva typy nožů s označením I a II od firmy Leitz. Žiletkový nůž I byl vyroben z tvrdokovu a má typové označení Leitz 5086. Druhý žiletkový nůž II byl vyrobený ze stejného materiálu, a navíc byl opatřen povlakem na bázi chromu a titanu (CrTiN). Povlak aplikovala firma SHM Šumperk a byla použita PVD metoda. Rozměry obou nožů byly  $50 \times 12 \times 1,5 \text{ mm}$ . Mikrotvrdost samotných nožů byla 17 a 30 GPa pro nůž I a II. Úhlová geometrie byla u obou nožů totožná, a to úhel hřbetu  $10^\circ$ ; úhel břitu  $60^\circ$  a úhel čela  $20^\circ$ .

označení	materiál	typ	rozměry [mm]	výrobce
nůž I	tvrdokov	Leitz 5086	$50 \times 12 \times 1,5$	Leitz Co.
nůž II	tvrdokov s povlakem CrTiN	fréza s povlakem	$50 \times 12 \times 1,5$	Leitz Co.

Tab. 2 – Vlastnosti použitých nástrojů

označení	mikrotvrdost [Gpa]	úhel hřbetu $\alpha$	úhel břitu $\beta$	úhel řezu $\delta$
nůž I	17	10°	60°	20°
nůž II	30	10°	60°	20°

Tab. 3 – Technické parametry použitých nástrojů

#### 4.2.2. Frézovací hlava

Frézovací hlava byla nasazena na spodní jedno-vřetenovou frézku. Byla použita čtyř-nožová hlava a byly osazeny 2 nebo 4 stejné nože. Otáčky vřetena byly nastaveny na 6000 za minutu, při průměru frézky 125 mm. Podávací rychlost byla 8 m/min.

#### 4.3. Příprava zkušebních vzorků

Deskový materiál byl naformátován na zkušební tělesa s délkou jedné hrany 1000 mm. Vzorky byly ustáleny při standardních podmínkách vlhkosti a teploty vzduchu ( $\phi = (65 \pm 3) \%$  a  $t = (20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ ), tedy na vlhkost 12 %. Připravené vzorky byly obráběny při daném nastavení řezné a podávací rychlosti. Úběr byl nastaven na 1 mm a následně na 2 mm. Nože byly osazeny 2 nebo 4 a dále rozděleny na dva typy s povlakem a bez povlaku. Tyto proměnné faktory se nakombinovaly pro MDF i pro MDF-L.

#### 4.4. Měření hlučnosti a prašnosti

##### 4.4.1. Hlučnost

Casella CEL 63X (Casella, Bedford, Velká Británie) je přístroj pro měření hlučnosti v rozsahu od 20 do 140 dB.



Obr. 11 – Casella CEL 63X

#### 4.4.2. Prašnost

Casella CEL 712 MicroDust Pro (Casella, Bedford, Velká Británie) je přístroj pro měření prašnosti v rozsahu od 0,001 do 250 mg/m<sup>3</sup>.



Obr. 12 – Casella CEL 712 MicroDust Pro

#### 4.5. Statistické vyhodnocení dat

Pro zpracování a vyhodnocení dat byl použit software Microsoft EXCEL (Microsoft, Redmont, Washington, Spojené státy americké) a STATISTICA 12 (Statsoft Inc., Tulsa, Oklahoma, Spojené státy americké).

##### 4.5.1. Postup statistického hodnocení:

1. Vyloučení odlehlých hodnot (Dean-Dixonův test)
2. Prokázání normality ( $p=0,05$ ; Shapiro-Wilkův test)
3. Hodnocení dat ( $p=0,05$ ; ANOVA)
4. Hodnocení dat ( $p=0,05$ ; Duncanův test)

## 5. VÝSLEDKY A DISKUZE

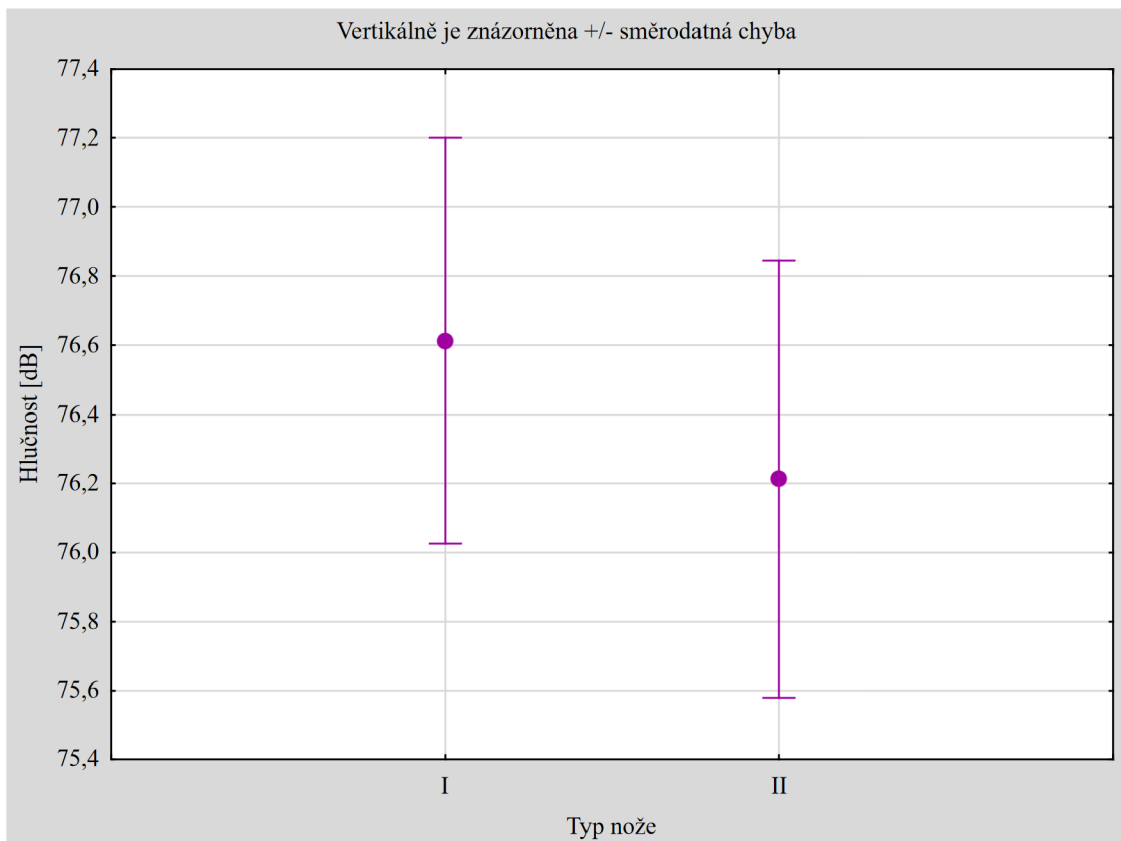
### 5.1. Hlučnost

Výsledky ANOVA ukazují, že statisticky významné faktory ( $p < 0,05$ ), které ovlivňují hlučnost jsou jen některé z uvedených (velikost úběru materiálu a počet nožů).

Výsledky ANOVA ukazují, že tento faktor nemá statisticky významný vliv ( $p = 0,514$ ) na hlučnost při frézování (Obr. 13). Při frézování typem nože II byla hlučnost o 0,5 % nižší, než při frézování typem nože I. Typ nože I je určený hlavně pro frézování masivního dřeva, ale lze ho použít i pro frézování materiálů na bázi dřeva. Povlak CrTiN na použitém noži II se aplikuje z důvodu zvýšení tvrdosti, zlepšení odolnosti proti korozi nebo oxidaci a snížení otupování břitů. Ale naopak tento povlak způsobuje nerovný povrch čepele, který ovlivňuje její tření o dřevo v průběhu frézování, a tím pádem se zvyšuje spotřeba energie. Tento vliv závisí na několika faktorech, a to na složení povlaku, jeho tloušťce a metodě nanášení (SEDLICKÝ, 2017). Ve studii PANGESTU (2021) výsledky ukazují, že spirálové hrany poskytují lepší odolnost proti opotřebení, lepší kvalitu povrchu a nižší emise hluku ve srovnání s konvenční hranou ( $0^\circ$ ). Opotřebení poloměru břitu, plocha toku třísky a rychlost, drsnost povrchu a hladina hluku se snižovali s rostoucím úhlem sklonu břitu řezného nástroje. Rozdíly ve struktuře materiálu na bázi dřeva, procesu frézování a rychlosti posuvu měli za následek rozdíl v opotřebení řezného nástroje, toku a tvaru třísky, drsnosti povrchu a jevu hladiny hluku.

č.	typ nože	{1} 76,612	{2} 76,212
1	I		0,514
2	II	0,514	

Tab. 4 – Vliv typu nože na hlučnost frézování – Duncanův test

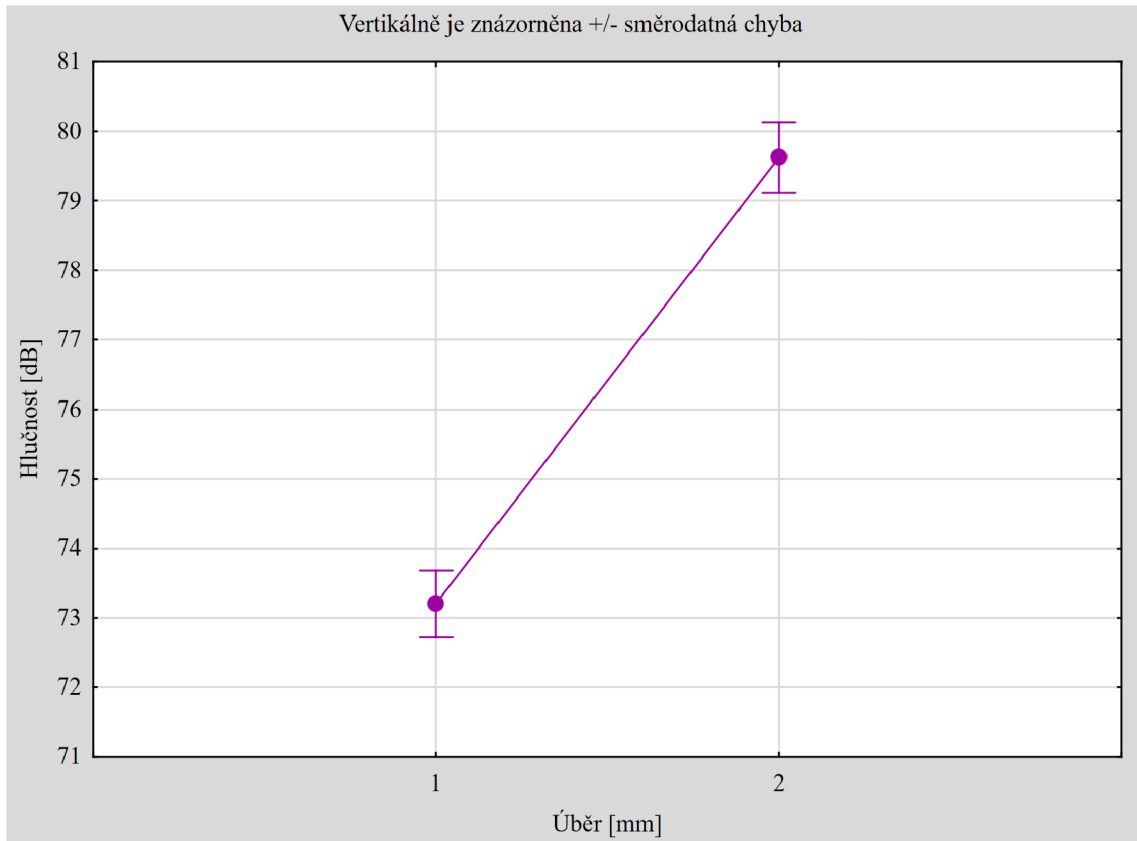


Obr. 13 – Vliv typu nože na hlučnost frézování

Velikost úběru materiálu má jednoznačný vliv na hlučnost při frézování (Tab. 5). Výsledky ANOVA potvrzují, že velikost úběru má statistický významný vliv ( $p=0,000$ ) na hlučnost (Obr. 14). Při větším úběru materiálu byla naměřena hlučnost o 8,2 % větší než při menší hodnotě úběru materiálu. Dle mého názoru je to logické, jelikož při větším úběru materiálu vykazuje použitý stroj vyšší hodnotu hlučnosti. Stroj musí při větším úběru materiálu vykonat větší práci, tím pádem vznikají větší vibrace a hluk. S tímto může souviset i tloušťka obráběného materiálu, jelikož se někdy na základě tloušťky materiálu rozhodujeme o velikosti úběru. Podle výzkumu ÇOTA, (2019) platí, že se zvětšením tloušťky materiálu z 18 mm na 36 mm se hladina hluku snižuje, což sice ukázaly průměrné hodnoty, nicméně rozdíly v naměřených hodnotách nebyly statisticky významné. Ve výzkumu, který provedl DURCAN (2018), byly vyhodnoceny vlivy druhu dřeva, počtu břitů a hloubky a šířky řezu vzhledem k hladině hluku při obrábění dřevěných materiálů ve vřetenové frézce. S rostoucí tloušťkou materiálů bylo naměřeno zvýšení hladiny hluku až o 9 dB. Bylo také zjištěno, že při obrábění materiálů šířkou řezu 1 mm místo 3 mm se zvýšila hladina hluku o 6 dB.

č.	úběr (mm)	{1} 73,200	{2} 79,625
1	1		0,000
2	2	0,000	

Tab. 5 – Vliv velikosti úběru materiálu na hlučnost frézování – Duncanův test



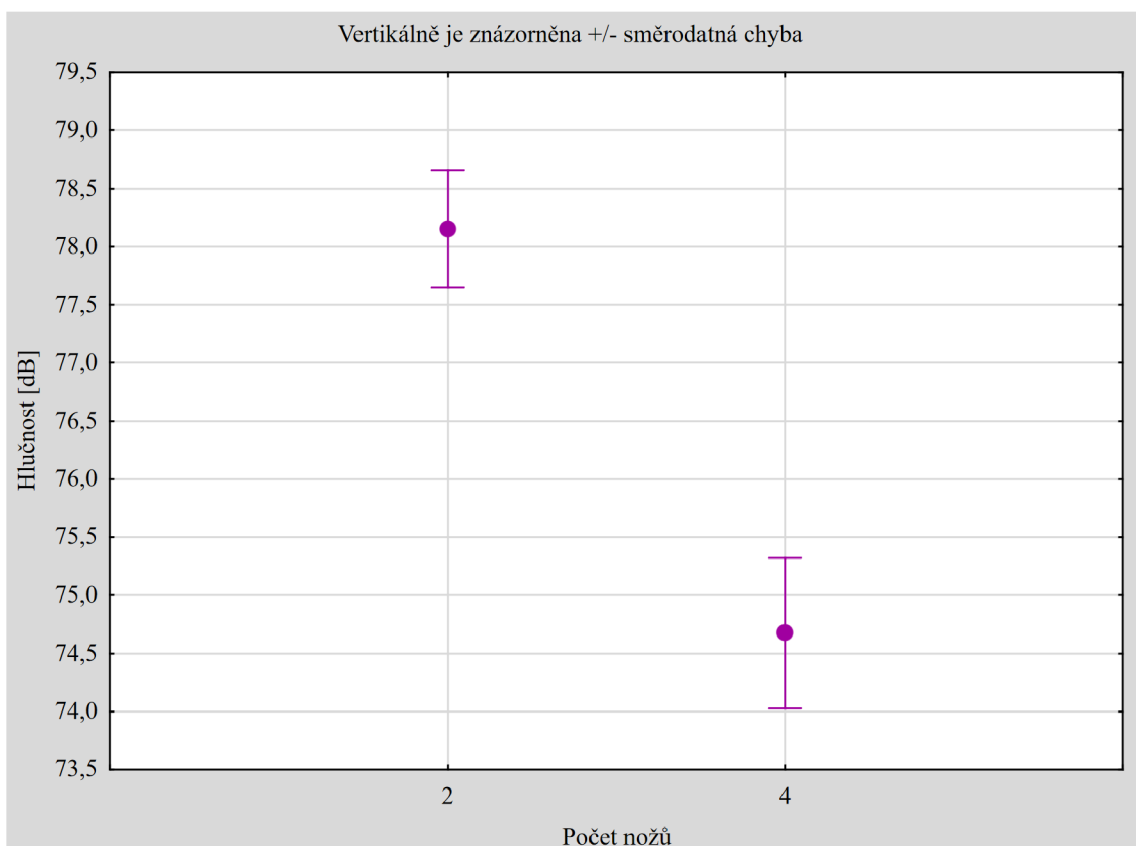
Obr. 14 – Vliv velikosti úběru materiálu na hlučnost frézování



Vliv počtu nožů na hlučnost frézování je z grafu viditelný (Obr. 15) a statisticky významný ( $p=0,000$ ) (Tab. 6). Při frézování 2 noži byla hodnota hlučnosti o 4,4 % vyšší než při frézování 4 noži. Výsledek je v tomto případě celkem předvídatelný. Pokud frézujeme 2 noži, každý z nich musí ubrat více materiálu a tím pádem je frézování hlučnější. Oproti tomu, pokud frézujeme 4 noži, velikost úběru materiálu se rozloží mezi všechny nože a frézování vykazuje menší hlučnost. Podle zjištěných údajů ve studii od DURCAN (2018) se zvýšila hladina hluku o 2 dB při frézování materiálů s jedním kotoučem místo čtyř kotoučů.

č.	počet nožů	{1}	{2}
1	2	78,150	74,675
2	4	0,000	0,000

Tab. 6 – Vliv počtu nožů na hlučnost frézování – Duncanův test

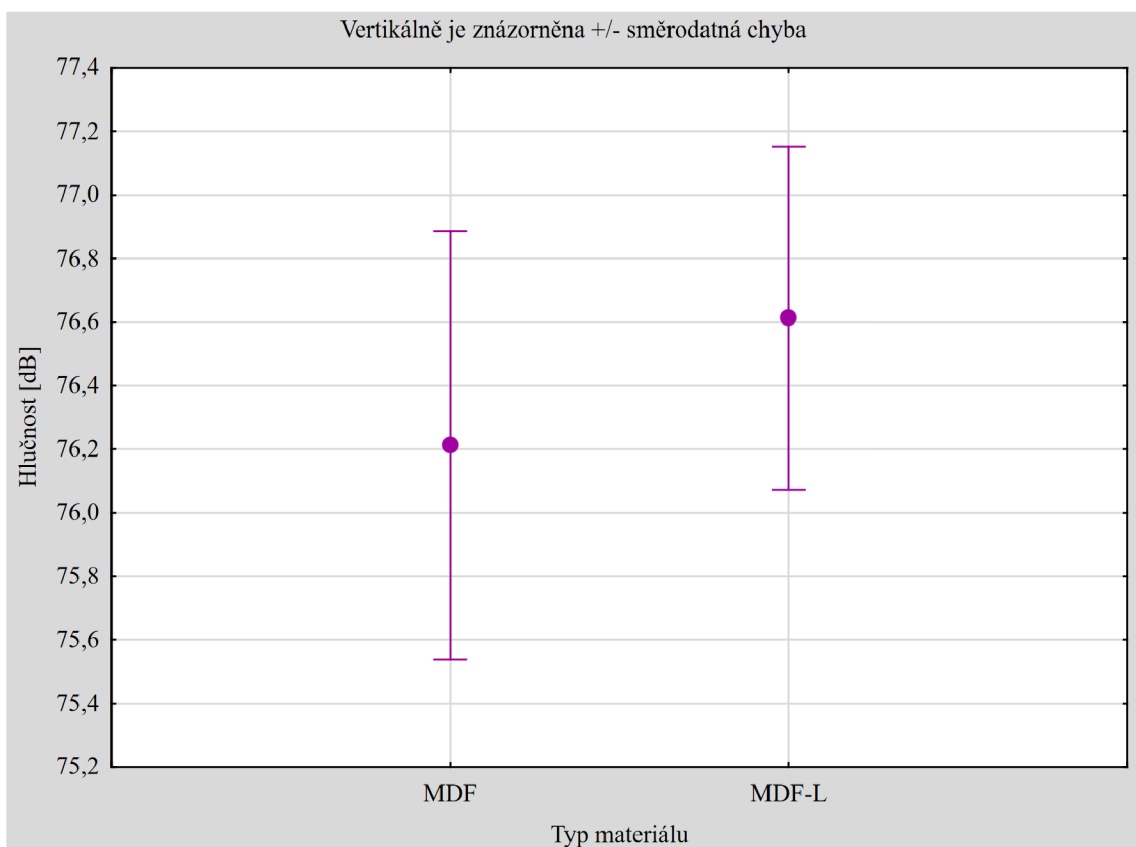


Obr. 15 – Vliv počtu nožů na hlučnost frézování

Vliv obráběného materiálu na hlučnost je z grafu zjevný (Obr. 16) a nemá dle ANOVA významný vliv ( $p=0,514$ ) na hlučnost při frézování (Tab. 7). Při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky laminované byla naměřena hlučnost pouze o 0,5 % vyšší než u středně tvrdé dřevovláknité desky bez laminace. Důvodem je hlavně tvrdost frézovaného materiálu, kdy tvrdý materiál vykazuje vyšší hlučnost při frézování. DURCAN (2018) ve své studii použil pro výzkum lombardský topol, orientální buk a dřevovláknité desky střední hustoty v tloušťkách 6 mm, 12 mm, 18 mm, 25 mm nebo 30 mm. Materiál byl hoblován po dobu 20 minut pro každou proměnnou při rychlosti posuvu 5 m/min a při hloubce řezu 1 mm, 2 mm nebo 3 mm s jedním nebo čtyřmi kotouči. Podle zjištěných údajů byla nejvyšší hladina hluku spojená s typem materiálu naměřena při obrábění topolového dřeva, dále pak bukového dřeva a naposledy MDF.

č.	typ materiálu	{1} 76,213	{2} 76,613
1	MDF		0,514
2	MDF-L	0,514	

Tab. 7 – Vliv druhu materiálu na hlučnost frézování – Duncanův test



Obr. 16 – Vliv druhu materiálu na hlučnost frézování

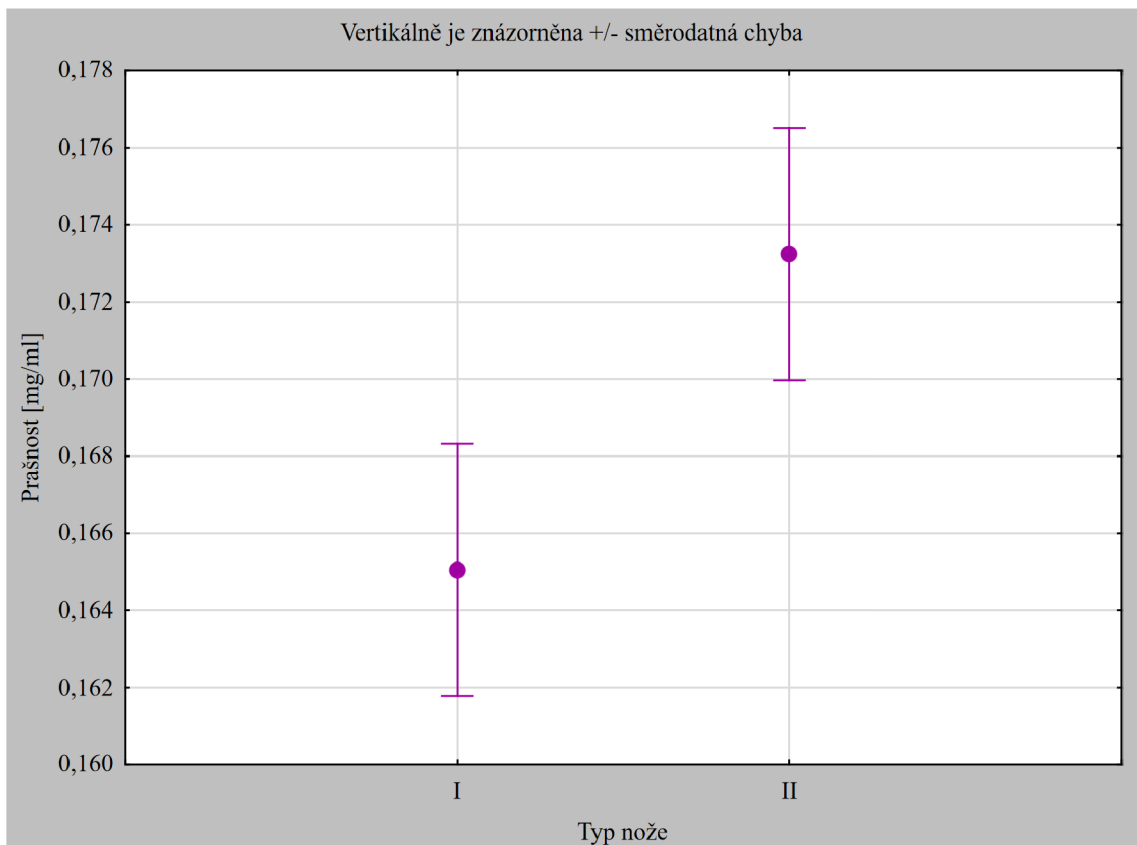
## 5.2. Prašnost

Výsledky ANOVA ukazují, že statistické významné faktory ( $p < 0,05$ ), které ovlivňují prašnost jsou všechny z uvedených (typ nože, velikost úběru materiálu, počet nožů a druh frézovaného materiálu na bázi dřeva).

Výsledky ANOVA ukazují, že tento faktor má statisticky významný vliv ( $p = 0,000$ ) na prašnost při frézování (Obr. 17). Rozdíl mezi typy nožů je zcela viditelný. Při frézování typem nože I byla prašnost o 4,6 % nižší než při frézování typem nože II, který je opatřen povlakem CrTiN. Povlak se aplikuje z důvodu zvýšení tvrdosti nože, proto je i menší prašnost, jelikož tvrdší nůž frézovaný materiál spíše odlupuje a vzniká menší množství malých prachových částic. Studie dle KAZLAUSKAS (2021) ukázala, že frézy s povlakem mají odolnost opotřebení o 19% lepší než frézy bez povlaku. Ukázalo se, že největší vliv na opotřebení ostří fréz má délka řezu, přičemž intenzita opotřebení frézy s povlakem i bez povlaku a řezný výkon se zvýšili při zvýšení posuvu z 0,5 na 1 mm. Můžeme tedy říct, že povlakovaný nástroj má vyšší odolnost, vyšší tvrdost a významný vliv i na prašnost při frézování materiálů na bázi dřeva. Tyto odolnější nože vykazují vyšší prašnost, což ukazuje, že při zlepšení některých vlastností můžeme nepříznivě ovlivnit i vlastnosti jiné. Nože s povlakem se budou v budoucnu využívat na vysokorychlostní obrábění, které půjde ruku v ruce s automatizací. Tím pádem budeme muset vyloučit lidský faktor z prašného prostředí.

č.	typ nože	{1} 0,16505	{2} 0,17324
1	I		0,000
2	II	0,000	

Tab. 8 – Vliv typu nože na prašnost při frézování – Duncanův test

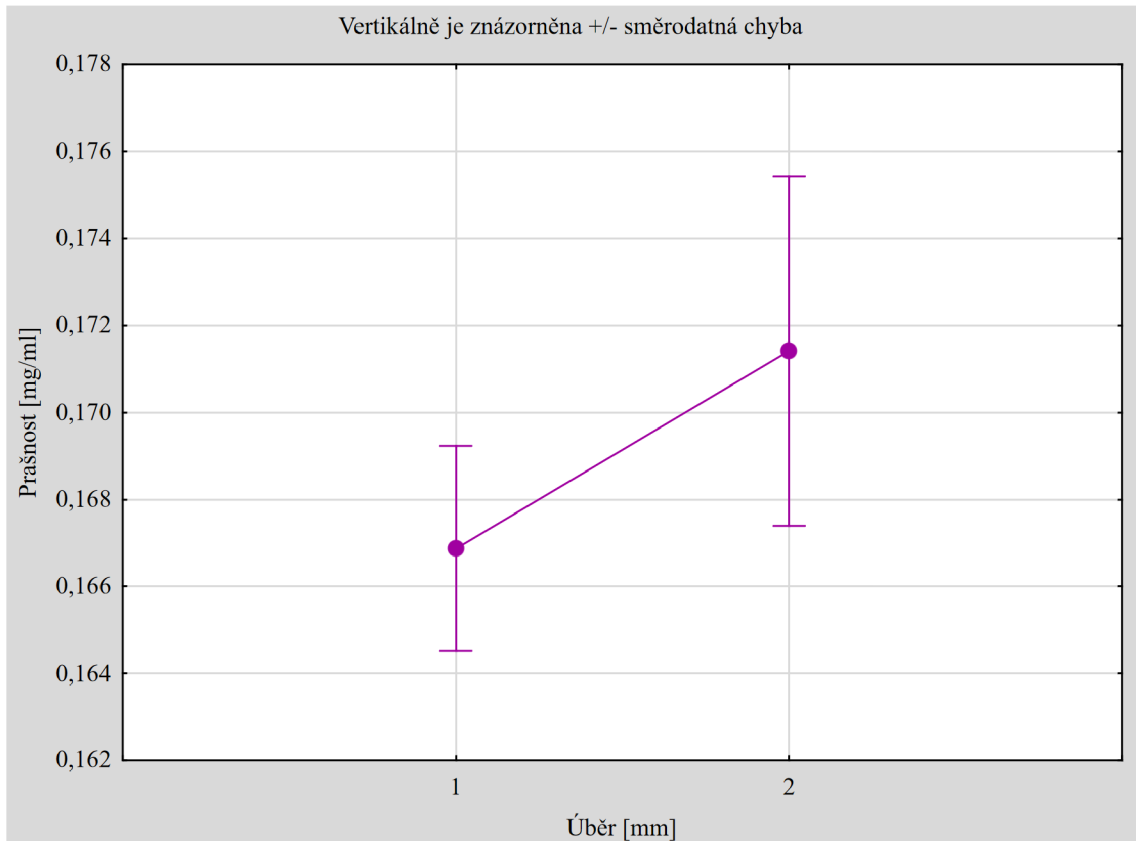


Obr. 17– Vliv typu nože na prašnost frézování

Velikost úběru materiálu má jednoznačný vliv na prašnost při frézování (Tab. 9). Výsledky ANOVA potvrzují, že velikost úběru má statistický významný vliv ( $p=0,004$ ) na prašnost (Obr. 18). Při větším úběru materiálu byla naměřena prašnost o 2,6 % větší než při menší hodnotě úběru materiálu. Je to poměrně jasné, jelikož při větším úběru materiálu je vyšší prašnost. Při větším úběru materiálu vzniká více prachu a odsávací zařízení nemusí stíhat odsávat vše, tak jako u menšího úběru, kde vzniká méně prachu. Dle studie od RAUTIO (2007) je nejvýznamnějším ovlivňujícím faktorem emisí prachu vznikající při frézování průměrná tloušťka třísky. Aby se snížilo množství prachu měly by být parametry frézování voleny tak, aby průměrná tloušťka třísky byla větší než 0,05 mm. Průměrná tloušťka třísky by mohla být získána s různými parametry frézování, například s různými kombinacemi posuvů a rychlostí posuvu. Stejně tloušťky třísek vedly k přibližně stejnému procentuálnímu podílu hmoty jemného prachu bez ohledu na to, jak byla získána průměrná tloušťka třísky.

č.	úběr (mm)	{1}	{2}
1	1	0,16687	0,17141
2	2	0,004	0,004

Tab. 9 – Vliv velikosti úběru materiálu na prašnost při frézování – Duncanův test

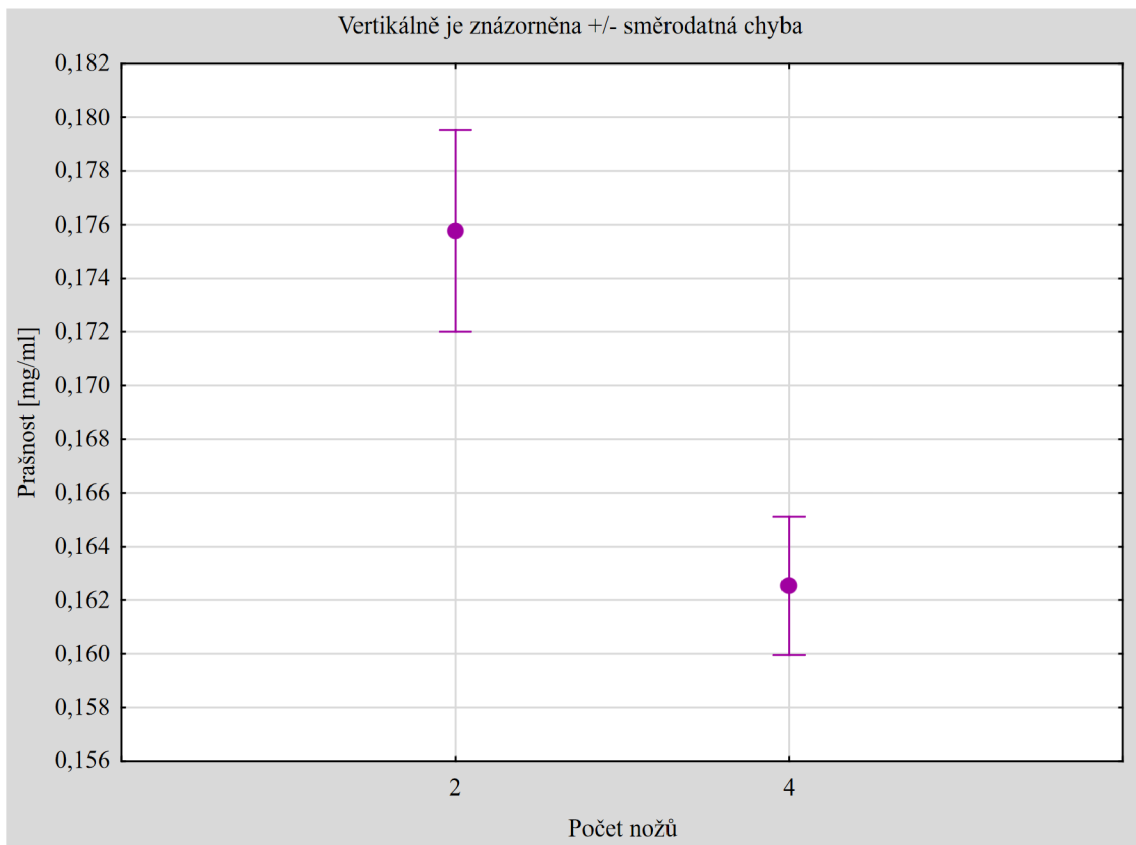


Obr. 18– Vliv velikosti úběru materiálu na prašnost frézování

Vliv počtu nožů na prašnost frézování je z grafu viditelný (Obr. 19) a statistický významný ( $p=0,000$ ) (Tab. 10). Při frézování 2 noži byla hodnota prašnosti o 7,6 % vyšší než při frézování 4 noži. Zde je to stejné jako při hlučnosti. Při frézování 2 noži každý z nich musí odebrat více materiálu a tím se zvyšuje i prašnost. Na druhou stranu při frézování 4 noži nevzniká tolik prachu, protože se velikost úběru materiálu rozloží mezi všechny čtyři nože. Zde je také důležité odsávání prachu. U frézování 2 noži vzniká více prachu a odsávání nestíhá tak rychle odsávat, proto se naměří větší prašnost. Kdežto u frézování 4 noži vzniká méně prachu a zařízení pro odsávání většinu odsaje. Ve výzkumu PAŁUBICKI (2020) výsledky ukázaly, že velký vliv na koncentraci prachu ve vzduchu obklopující pracovní prostředí má nastavení připojení výfukového systému. Použití hlavního i pomocného konektoru pro odsávání pilin dohromady zajistilo nejvyšší čistotu vzduchu s koncentrací prachu pouhých  $05 \text{ mg/m}^3$ . Při zavření horní kapoty vede k pětinasobné koncentraci prachu, při jejím odpojení je desetkrát vyšší obsah prachu.

č.	počet nožů	{1}	{2}
1	2	0,17576	0,16253
2	4	0,000	0,000

Tab. 10 – Vliv počtu nožů na prašnost při frézování – Duncanův test



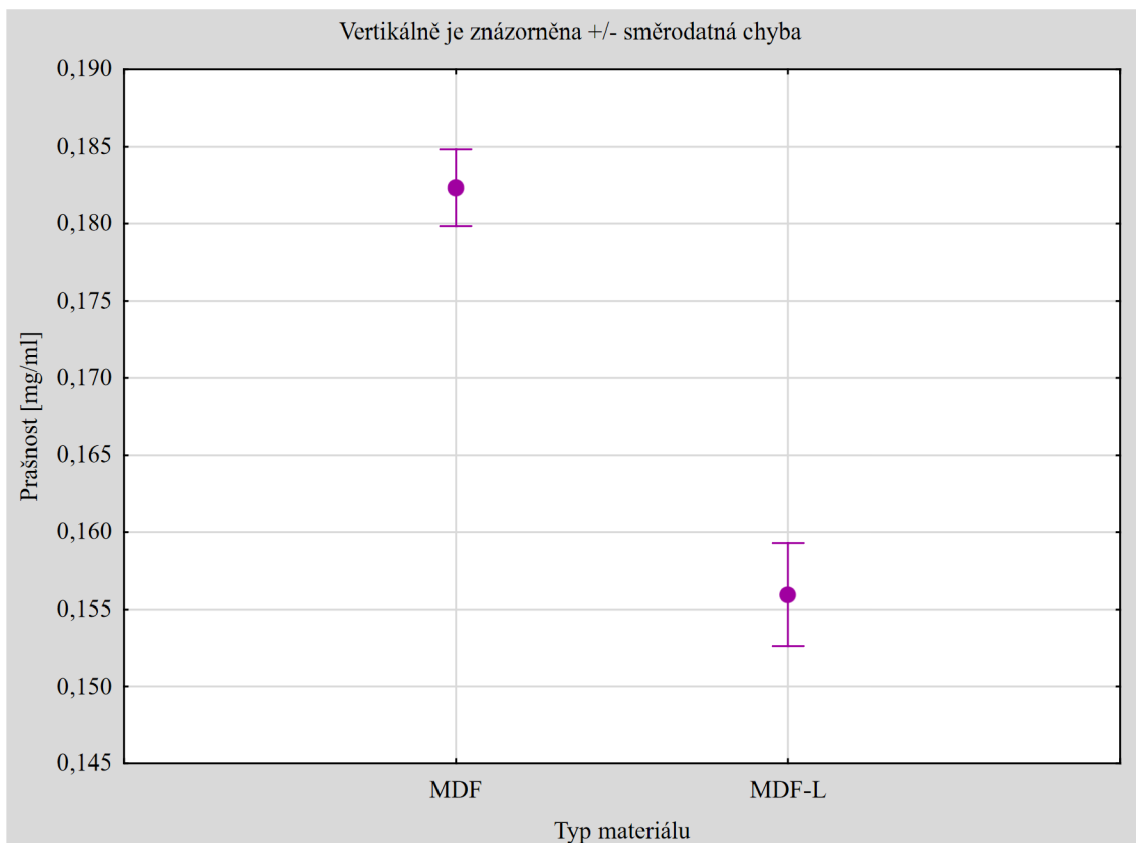
Obr. 19 – Vliv počtu nožů na prašnost frézování

Vliv obráběného materiálu má dle ANOVA významný vliv ( $p=0,000$ ) na prašnost při frézování (Tab. 11). Z grafu je to jasně viditelné (Obr. 20). Při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky laminované byla naměřena prašnost o 14,4 % nižší než u středně tvrdé dřevovláknité desky bez laminace. Důvodem je opět tvrdost materiálu. Jelikož má středně tvrdá dřevovláknitá deska laminovaná větší tvrdost a tím pádem i odolnost povrchu, při frézování se materiál spíše odlupuje na větší kusy odpadového materiálu a nevzniká tak prach. Naopak u středně tvrdé dřevovláknité desky bez laminace vznikají drobné částičky prachu a logicky se zvyšuje prašnost. Provedená studie ukazuje, že při zpracování různých dřevěných materiálů byl zjištěn významný rozdíl v emisích prachu v závislosti na struktuře materiálu. Při obrábění MDF vzniká asi pětinasobek celkového množství prachu ve srovnání s obráběním smrkového nebo dubového dřeva a dřevotřískových desek. Při obrábění dřevotřískových desek je koncentrace dýchacího prachu asi o 50% vyšší ve srovnání s obráběním smrkového nebo dubového dřeva a o 50% nižší než při obrábění MDF (KOS, 2001).

Výsledky studie KMINIAKA (2021) ukázaly, že obrábění přírodního dřeva je charakterizováno převážně tvorbou hrubých prachových frakcí (síta 2 mm – 1 mm), zatímco opracování MDF bylo spojeno s tvorbou jemných prachových frakcí o velikosti pod 100 µm. Z toho plyne, že velmi záleží na druhu materiálu, a hlavně na tvrdosti. Je tedy zcela jasné, že druh obráběného materiálu má významný vliv na emise prachu, ať už se jedná o masivní dřevo či materiály na bázi dřeva.

č.	typ materiálu	{1} 0,18234	{2} 0,15595
1	MDF		0,000
2	MDF-L	0,000	

Tab. 11 – Vliv druhu materiálu na prašnost při frézování – Duncanův test



Obr. 20 – Vliv druhu materiálu na prašnost frézování



## 6. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit, jak změna typu nože, velikosti úběru materiálu, počtu nožů a druhu frézovaného materiálu na bázi dřeva ovlivní emise hluku a prachu.

Při měření hlučnosti bylo zjištěno, že typ nože a druh obráběného materiálu nemá statisticky významný vliv na hlučnost při frézování dřeva. Při frézování typem nože II (nůž s povlakem CrTiN) byla hlučnost pouze o 0,5 % nižší, než při frézování typem nože I. Při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky laminované byla naměřena hlučnost pouze o 0,5 % vyšší než u středně tvrdé dřevovláknité desky bez laminace. Můžeme tedy říct, že tyto vybrané faktory významně neovlivňují emise hluku při obrábění dřeva. U vybraného frézovaného materiálu je to hlavně z důvodu tvrdosti materiálu, jelikož MDF-L má větší tvrdost než MDF. O málo vyšší hlučnost byla při frézování nožem bez povlaku, jelikož je určený hlavně pro frézování masivního dřeva.

Na druhou stranu, statisticky významný vliv na hlučnost při frézování má velikost úběru materiálu a počet nožů. Při větším úběru materiálu byla naměřena hlučnost o 8,2 % větší než při menší hodnotě úběru materiálu. Při frézování 2 noži byla hodnota hlučnosti o 4,4 % vyšší než při frézování 4 noži. U obou parametrů je to zcela logické a předvídatelné. Při větším úběru materiálu vykazuje stroj vyšší práci, tím pádem vyšší vibrace a hluk. Pokud je fréza osazena čtyřmi noži, stroj vykazuje nižší hlučnost, protože se práce rozloží mezi nože a snižuje se hlučnost.

Při měření prašnosti bylo zjištěno, že všechny z vybraných faktorů jsou statisticky významné a ovlivňují emise prachu při frézování dřeva. Při frézování typem nože I byla prašnost o 4,6 % nižší než při frézování typem nože II, který je opatřen povlakem CrTiN. Při větším úběru materiálu byla naměřena prašnost o 2,6 % větší než při menší hodnotě úběru materiálu. Při frézování 2 noži byla hodnota prašnosti o 7,6 % vyšší než při frézování 4 noži. Při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky laminované byla naměřena prašnost o 14,4 % nižší než u středně tvrdé dřevovláknité desky bez laminace. U frézování nožem s povlakem je důvodem tvrdost nože, kterou zvyšuje aplikovaný povlak. Větší úběr při frézování materiálů znamená také vyšší prašnost a odsávání nemusí být dostačující. U frézování dvěma noži je vyšší prašnost ze stejného důvodu jako u hlučnosti, dva nože musí vykonat větší práci a vzniká tak větší množství prachu. Středně tvrdá dřevovláknitá deska s laminací má větší tvrdost, tedy je odolnější a materiál se odlupuje a nevznikají drobné částice prachu, které zachytí měřící zařízení, a proto frézování vykazuje menší prašnost.

Ne všechny z vybraných parametrů lze změnit či nastavit jinak, aby se snížila hlučnost a prašnost. Materiál, který budeme frézovat nemůžeme měnit, jak chceme. Ale například velikost úběru materiálu či počet nebo materiál nožů lze zvolit tak, aby byly co nejmenší hodnoty prachu a hluku. Vliv prachu a hluku na pracovníky lze eliminovat ochrannými opatřeními a osobními ochrannými pracovními pomůckami. Avšak nejlepší eliminací vlivu prachu a hluku na člověka je samostatné vyloučení lidské práce z pracovního prostředí.

Cílem Průmyslu 4.0 je právě úplná eliminace pracovníka z problematického prostředí. Pokud by se povedlo zavést plně automatizovanou výrobu snížily by se náklady na vytápění, osvětlení, elektřinu a také náklady na platy dělnických profesí, ochranné pracovní prostředky apod. Snížil by se také počet pracovních úrazů a hlavně nemocí z povolání, nemuselo by se provádět žádné šetření události a tím pádem by odpadly i soudní spory mezi zaměstnanci a zaměstnavateli. To opět vede ke snížení nákladů a časové úspoře. Na druhou stranu je ale automatizovaná výroba poměrně drahá záležitost, takže počáteční investice je vysoká. I v případě plně automatizované výroby je však nutné mít pracovníky alespoň na údržbu a servis strojů, který se většinou provádí při vypnutých strojích, tedy nehrozí přímé ohrožení zdraví pracovníka hlukem a prachem a snižuje se také riziko úrazu. I za předpokladu, že se uskuteční revoluce 4.0, je ale nadále nutné tato měření a výzkumy provádět, jelikož prach i hluk ovlivňují i samotné stroje, budovy a jejich okolí a nejenom pracovníky. Všechny výsledky jsou součástí rozsáhlejšího výzkumu, který je zaměřený na optimalizaci procesu frézování, kde se kromě bezpečnosti práce řešila i optimalizace z hlediska kvality povrchu a energetické náročnosti.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

### Literární zdroje

ASHORI, A.; NOURBAKHSH, A.; KAREGARFARD, A., *Properties of Medium Density Fibreboard Based on Bagasse Fibers*, Journal of Composite Materials, 2009, roč. 43, č. 18, s. 1927-1934, ISSN 0021-9983

BORAN, S.; USTA, M.; GÜMÜSKAYA, E., *Decreasing formaldehyde emission from medium density fibreboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin*, International Journal of Adhesion and Adhesives, 2011, roč. 31, č. 7, s. 674-678, ISSN 0143-7496

BÖHM, M.; REISNER, J.; BOMBA, J., *Materiály na bázi dřeva*, první vydání, Praha, ČZU v Praze, 2012, 183 s., ISBN 978-80-213-2251-6

ÇOTA, H.; LATO, E.; QUKU, D., *Analysis of noise level at MDF and participleboard processing with different feeding speed*, PRO LIGNO, 2019, roč. 15, č. 2, s. 10-17, ISSN 2069-7430

ČEP, R.; PETRŮ, J., *Technologie obrábění v příkladech*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ostrava, 2013, 24 s., ISBN 978-80-248-3014-8

ČÍŽEK, J., *Vlastnosti a zpracování třískových a vláknitých desek*, první vydání, Praha, STNL, 1985, 352 s., ISB 04-840-85

DURCAN, F. M.; BURDURLU, E., *Effects of Some Machining Parametres on Noise Level in Planning of Some Wood Material*, BioResourcers, 2018, roč. 13, č. 2, s. 2702-2714,

FAGA, M. G.; SETTINERI, L., *Innovative anti-wear coatings on cutting tool for wood machining*, Surface and Coatings Technology, ELSEVIER, 2006, roč. 201, č. 6, s. 3002-3007, ISSN 0257-8972

GILL, S. S.; SINGH, H.; SINGH, R.; SINGH, J., *Cryoprocessing of cutting tool materials – a review*, The Internatinal Jourlan of Advanced Manufacturing Technology, Springer nature BV, 2010, roč. 48, č. 1-4, s. 175-192, ISSN 00170-009-2263-9

HUBENÁ, K., *Problematika práce v truhlářských dílnách*, Praha, 2011, Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, 3. lékařská fakulta, Klinika pracovního a cestovního lékařství, 73 s.

HUMÁR, A., *Materiály pro řezné nástroje*, Praha, MM Publishing, 2008, 235 s., ISSN 978-80-254-2250-2

JAMBEROVÁ, Z.; VANČO, M.; BARCÍK, Š.; GAFF, M.; ČEKOVSKÁ H.; KUBŠ, J.; KAPLAN, L., *Influence of processing factors and species of wood on granulometric composition of juvenile poplar wood chips*, BioResources, 2016, roč. 11, č. 4, s. 9572-9583, ISSN 1930-2126

JÍLEK, M., *Hygiena a bezpečnost práce v úseku praktického výcviku SOU*, Brno, 2011, Diplomová práce, Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra didaktických technologií, 87 s.

JOKL, M., *Zdravé obytné a pracovní prostředí*, Praha, 2002, Academia, 261 s., ISBN 80-200-0928-0

KACZOROWSKI, I.; BATORY, D.; SZAMAŃSKI, W.; NIEDZIELSKI, P., *Carbon-based layers for mechanical machining of wood-based materials*, Wood and Science Technology, 2012, roč. 46, č. 6, s. 1097-1108, ISSN 0043-7719

KAZLAUSKAS, D.; KETURAKIS, G.; JANKAUSKAS, V.; ANDRIUŠIS, A., *Investigation of TiCrN-Coated High Speed Steel Tools Wear during Medium Density Fibreboard Milling*, Journal of Friction and Wear, 2021, roč. 42, s. 124-129

KMINIAK, R.; KUČERA, M.; KRISTAK, L.; REH, R.; ANTOY, P.; OČKAJOVÁ, A.; ROGOZIŃSKI, T.; PEDZIK, M., *Granulometric Characterization of Wood Dust Emission from CNC Machining of Natural Wood and Medium Density Fiberboard*, Forests, 2021, roč. 12, č. 8, s. 1039

KOPECKÝ, Z., *Nástrojové materiály* [přednáška], Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Brno, 2016

KOS, A.; BELJO-LUČIĆ, R.; KREŠIMIR, Š., *Influence of woodworking material on dustiness near the circular saw*, Proceedings of the Fifth International Conference on the Development of Wood Science, Wood technology and Forestry, ICWSF, 2001, Ljubljana, Slovenija, roč. 13, s. 289-298, ISBN 9616144138

KRAUSS, A.; PIERNIK, M.; PINKOWSKI, G., *Cutting power during milling of thermally modified pine wood*, Drvna Industrija, 2016, roč. 67, č. 3, s. 215-222, ISSN 0012-6772

KUKLÍK, P.; KUKLÍKOVÁ A., *Materiály na bázi dřeva*, Lesnická práce, 2002, roč. 81, č. 6, s. 260-261, ISSN 0322-9254

LI, X.; LI, Y.; ZHONG Z.; WANG, D.; RATTO, J. A.; SHENG K.; SUN, S. X., *Mechanical and water soaking properties of medium density fibreboard with wood fiber and soybean protein adhesive*, Biorecources Technology, 2009, roč. 100, č. 14, s. 3556-3562, ISSN 0960-8524

LISIČAN, J., *Obrábání a delenie dřevných materiálův*, třetí vydání, Zvolen, Vysoká škola lesnická a dřevářská vo Zvolene, 1988, 412 s.

LISIČAN, J., *Teória a technika spracovania dreva*, 2 vydání, Zvolen MATCENTRUM, 1996, 626 s., ISBN 80-967315-6-4

MÁLEK, B., *Hygiena práce*, vydání druhé aktualizované (v Sobotáles první), Praha: Mgr. Irena Benešová 2014, 280 s., ISBN 978-80-86817-46-0

NAVRÁTIL, L.; ROSINA J., a další, *Medicínská biofyzika*, 2 zcela přepracované a doplněné vydání, Praha, 2019, Grada Publishing, 432 s., ISBN 978-80-271-2701-6

NOSEK, J., *Nástroje z rychlořezné oceli a jejich aplikace v současnosti*, Brno, 2008, Bakalářská práce, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojní technologie, 40 s.

OREL, M., *Anatomie a fyziologie lidského těla*, Pro humanitní obory, Praha, 2019, Grada Publishing, s. 1383-1384, 1636 s., ISBN 978-80-271-1180-0

PANGESTU, K. T. P.; NANDIKA, D.; WAHYUDI, I.; USUKI, H.; DARMAWAN, W., *Innovation of helical cutting tool edge for eco-friendly milling of wood-based materials*, Wood Material Science and Engineering, roč. 17, č. 6, s. 607-616

PAŁUBICKI B.; HLÁSKOVÁ L.; ROGOZIŃSKI T., *Influence of Exhaust System Setup on Working Zone Pollution by Dust during Sawing of Participleboards*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, roč. 17, č. 10

PROKEŠ, S., *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*, vydání 3 nezměněné, Praha, STNL, 1982, 584 s.

PROVAZNÍK, K.; KOMÁREK L.; CIKRT, M. a kolektiv, *Prevence nepříznivého působení faktorů pracovního prostředí a pracovních procesů*, Manuál prevence v lékařské praxi, 5 díl, Praha, 1997, Státní zdravotní ústav, 144 s., ISBN 80-7071-066-7

RAJNOCH, M., *Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou ovzduší vnitřního prostředí*, Ostrava, 2012, Bakalářská práce, Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství, 64 s.

RAUTIO, S.; HYNYNEN, P.; WELLING, I.; HEMMILÄ, P.; USENIUS, A.; NÄRHI, P., *Modelling of airborne dust emissions in CNC MDF milling*, European Journal of Wood and Wood Products, Holz als Roh-und Werkstoff, 2007, roč. 65, č. 5, s. 335-341, ISSN 0018-3768

SEDLÁČKOVÁ, L., *Hodnocení zdravotních rizik vybraných faktorů pracovního prostředí při výrobě nábytku ve vybraných firmách*, České Budějovice, 2016, Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, Ústav laboratorní techniky a veřejného zdraví, 84 s.

SEDLICKÝ, M., *Vliv druhu materiálu nástroje na kvalitu opracovaného povrchu při podélném frézování dřeva a materiálu na bázi dřeva*, Praha, 2017, Disertační práce, ČZU v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra základního zpracování dřeva, 149 s.

SHEIKH-AHMAD, J. Y.; STEWART, J. S.; FELD, H., *Failure characteristics of diamond-coated carbides in machining wood-based composites*, Wear, 2003, roč. 255, č. 7-12, s. 1433-1437, ISSN 0043-1648

SIKLIENKA, M.; KMINIAK, R., *Delenie a obrábanie dreva*, Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 2013, 207 s., ISBN 978-80-228-26118-1

SMOLKOVÁ, L., *Optimalizace výroby nábytku*, Zlín, 2010, Diplomová práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství, 80 s.

SUMIM, K.; JIN-A, K.; HYUN-JOONG, K.; SHIN DO, K., *Determination of formaldehyde and TVOC emission factor from wood-based composites by small chamber method*, Polymer Testing 25, 2006, roč. 25, č. 5, s. 605-614, ISSN 0142-9418

ŠVÁBOVÁ, K. a kolektiv, *Vybrané kapitoly z pracovního lékařství – díl 3*, Fyzikální faktory v pracovním prostředí, Návykové látky, Praha, 2015, Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví, s. 11-15

TUČEK, M., a kolektiv, *Hygiena a epidemiologie*, Učební texty UK, 1. dotisk 1 vydání, Karolinum, Praha, 2012, 358 s., ISBN 978-80-246-2025-1

VANČO, M.; JAMBEROVÁ, Z.; BARCÍK, Š.; GAFF, M.; ČEKOVSKÁ H.; KUBŠ, J.; KAPLAN, L., *The effect of selected technical technological and material factor on the size of juvenile poplar wood chips generated during face milling*, BioResources, 2016, roč. 12, č. 3, s. 4881-4896, ISSN 1930-2126

YE, X. P.; JULSON, J.; KUO, M.; WOMAC, A.; MYERS, D., *Properties of medium density fiberboards made from renewable biomass*, Bioresource Technology, 2007, roč. 98, č. 5, s. 1077-1084, ISSN 0960-8524

## Internetové zdroje

BOZP [online], BOZP.cz, vydáno 2015, dostupné: <https://www.bozp.cz/slovník-pojmu/osobni-ochranne-pracovni-prostredky/>

BOZP [online], BOZP.cz, vydáno 2020, dostupné: <https://www.bozp.cz/aktuality/prasnost-na-pracovisti/>

CIVOP [online], CIVOP s.r.o., vydáno 1.8.2018, dostupné: <https://www.civop.cz/bezpecnost-a-ochrana-zdravi-pri-praci-pri-obrabeni-dreva-pily/>

GHOBAKHLOO, Morteza, *Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability*, Journal of Cleaner Production [online], Volume 252, april 2020, dostupné: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619347390>

KHSHK [online], Krajská hygienická stanice Královohradeckého kraje se sídlem v Hradci Králově, Kurs 2, *Hluk v komunálním prostředí*, vydáno 2013, dostupné: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola\\_11\\_zvuk.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_11_zvuk.html)

MZČR [online], Ministerstvo zdravotnictví České republiky, vydáno 1.12.2015, dostupné: <https://www.mzcr.cz/co-je-to-hluk/>

NIS [online], Nábytkářský informační systém, vydáno, 28.8.2013, dostupné: <https://www.n-i-s.cz/cz/materialy-na-bazi-dreva/page/79/>

ZSBOZP [online], Znalostní systém prevence rizik v BOZP, vydáno 2020, dostupné: <https://zsbozp.vubp.cz/prumysl-4-0-uvod-do-problematiky#>

## **Zákony, normy a vyhlášky**

ČSN EN 316, *Dřevovláknité desky – definice, klasifikace a značky*, Praha, Český normalizační institut, 2009, 12 s.

Nářízení vlády č. 272/2011 Sb., *Nářízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*, In: *Zákony pro lidi* [online], dostupné:

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>

Nářízení vlády č. 290/1995 Sb., *Nářízení vlády, kterým se stanoví seznam nemocí z povolání*, *Zákony pro lidi* [online], dostupné: [https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-290)

[290](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-290)

Nářízení vlády č. 361/2007 Sb., *Nářízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*, In: *Zákony pro lidi* [online], dostupné:

[https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361?text=na%C5%99%C3%ADzen%C3%ADm+vl%C3%A1dy+%C4%8D.+361%2F2007+Sb)

[361?text=na%C5%99%C3%ADzen%C3%ADm+vl%C3%A1dy+%C4%8D.+361%2F2007+Sb](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361?text=na%C5%99%C3%ADzen%C3%ADm+vl%C3%A1dy+%C4%8D.+361%2F2007+Sb)

Vyhláška č. 432/2003 Sb., *Vyhláška, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli*, In: *Zákony pro lidi* [online], dostupné: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-432>