

Česká Zemědělská Univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Bakalářská práce

2021

Vojtěch Pánek

Česká Zemědělská Univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**VLIV PODÁVACÍ A ŘEZNÉ RYCHLOSTI PŘI FRÉZOVÁNÍ NA HYGIENU
PRÁCE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Vojtěch Pánek

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

Praha 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Pánek

Dřevařství

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Vliv podávací a řezné rychlosti při frézování na hygienu práce.

Název anglicky

Influence of feed rate and cutting speed during milling on work hygiene

Cíle práce

Hlavním cílem práce bude zjištění, jak změna řezné a podávací rychlosti při frézování ovlivňuje hygienu práce. Z hlediska hodnocení se budou sledovat hlučnost a prašnost.

Metodika

1. Literární rešerše na dané téma (červenec – září 2020).
2. Stanovení hodnocených parametrů (bude probíhat v průběhu tvorby literární rešerše a parametry budou stanoveny postupně: srpen – listopad 2020).
3. Samotné zjištění parametrů a jejich zpracování (měření parametrů, jejich změny a částečné vyhodnocení proběhne v průběhu prosince 2020 a ledna 2021).
4. Vyhodnocení výsledků (první čtvrtletí roku 2021).
5. Závěr a diskuse + odevzdání (březen nebo duben 2021).

Doporučený rozsah práce

min 30 stran

Klíčová slova

Obrábění, hygiena práce, rychlost posuvu, řezná rychlost

Doporučené zdroje informací

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

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

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 02. 02. 2021

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv podávací a řezné rychlosti při frézování na hygienu práce“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Sedleckého, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské 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 Praze dne 20.4.2021



.....
Podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph.D. za odborné vedení při zpracování bakalářské práce a za veškerou pomoc s jejím dokončením.

Dále patří mé poděkování Bc. Tomášovi Kytkovi za pomoc při měření v laboratoři zpracování biomateriálů.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině nejen za psychickou podporu během studia a zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce zjišťuje, jaké parametry mají vliv na hlučnost a prašnost pracovního procesu obrábění středně tvrdých dřevovláknitých desek. Měření bylo provedeno na surové MDF desce a na jednostranně laminované MDF desce. Byly použity dva stroje: starší spodní svislá frézka FVS (ED, APT Line II; Tuttlingen, Německo) a novější spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie). Pro měření hlučnosti byl použit měřicí přístroj Casella CEL 63X a pro měření prašnosti Casella CEL712 MicroDust Pro. Byla zjištěna závislost mezi řeznou rychlostí, podávací rychlostí, druhem materiálu a hlučností i prašností.

Klíčová slova: obrábění, hygiena práce, podávací rychlost, řezná rychlost

Abstract

This thesis deals with it, which parameters influences noise and dust emission while milling of medium density fibreboards. Measurements were done at oneseide laminated medium density fibreboard and regular medium density fibreboard. Two machina were used. Older downside milling machine FVS (ED, APT Line II; Tuttlingen, Německo) and newer downside milling machine SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie). Measurement of noise emission was done with sound level meter Casella CEL63X. Measurement of dust emission was done with instrument Casella CEL712 MicroDust Pro. Influence of feed rate, cutting speed, txpe of material and noise and dust emission was discovered.

Key words: machining, work hygiene, feed rate, cutting speed

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
1 Úvod.....	11
2 Cíle práce	12
3 Rozbor problematiky	13
3.1 Frézování	13
3.1.1 Kinematika frézovacího procesu.....	19
3.1.1.1 Výpočet rezné rychlosti	20
3.1.1.2 Výpočet posuvné rychlosti	20
3.1.1.3 Výpočet posuvu na zub.....	20
3.1.2 Nástroje k frézování	21
3.1.3 Geometrie břitu	21
3.1.4 Materiály pro výrobu nástrojů.....	22
3.2 Frézovaný materiál	23
3.2.1 Materiály na bázi dřeva.....	23
3.2.1.1 Středně hustá vláknitá deska.....	24
3.2.1.2 Vývoj středně hustých vláknitých desek	25
3.2.1.3 Povrchová úprava středně hustých vláknitých desek	25
3.2.1.4 Opracování desek s umělým povrchem	26
3.3 Hygiena práce	26
3.3.1 Hlučnost	27
3.3.1.1 Biologické účinky	27
3.3.1.2 Specifické účinky.....	28
3.3.2 Prašnost	28

3.3.2.1	Působení prachu na člověka.....	29
4	Metodika	30
4.1	Použité materiály	31
4.2	Použité nástroje	31
4.3	Strojní vybavení	32
4.3.1	Frézka FVS	32
4.3.1.1	Podávací zařízení	33
4.3.2	Frézka SCM	34
4.3.2.1	Podávací zařízení	35
4.3.3	Formátovací kotoučová pila.....	36
4.4	Přístrojové vybavení.....	36
4.4.1	Měřicí přístroj Casella CEL 63X	36
4.4.2	Měřicí přístroj Casella CEL 712 MicroDust Pro	37
4.5	Příprava zkušebních vzorků	38
4.6	Metodika měření.....	38
4.7	Statistické zpracování dat	38
5	Výsledky a diskuze	40
5.1	Hlučnost.....	40
5.2	Prašnost	45
6	Závěr	49
7	Seznam použitých zdrojů.....	51
	Citovaná literatura.....	51
	Internetové zdroje.....	52

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Druhy frézování (Dillinger, 2007)	14
Obrázek 2 - Válcové frézování (Siklienka, a další, 2013)	15
Obrázek 3 - Kuželové frézování (Siklienka, a další, 2013)	16
Obrázek 4 - Čelní frézování (Siklienka, a další, 2013)	16
Obrázek 5 – Čelně-kuželové frézování (Siklienka, a další, 2013)	17
Obrázek 6 - Způsoby frézování z hlediska použití (Siklienka, a další, 2013)	18
Obrázek 7 - Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Kvietková, 2015)	19
Obrázek 8 - Úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a další, 2013)	21
Obrázek 9 - Pracovní úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a další, 2013)	22
Obrázek 10 - Varianty měření	30
Obrázek 11 - Spodní svislá frézka FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)	32
Obrázek 12 - Podavač materiálu MAGGI STEFF 2034 (Itálie)	33
Obrázek 13 - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)	34
Obrázek 14 - Podavač materiálu MAGGI STEFF 2044 (Itálie)	35
Obrázek 15 - Měřicí přístroj Casella CEL 63X (Casella, Bedford, Velká Británie)	36
Obrázek 16 - Měřicí přístroj Casella CEL 712 MicroDust Pro (Casella, Bedford, Velká Británie)	37
Obrázek 17 - Vliv použitého stroje pro frézování na hlučnost	40
Obrázek 18 - Vliv frézovaného materiálu na hlučnost při frézování	41
Obrázek 19 - - Vliv řezné rychlosti na hlučnost při frézování	42
Obrázek 20 - Vliv podávací rychlosti na hlučnost při frézování	43
Obrázek 21 - Vliv použitého stroje pro frézování na prašnost	45

Obrázek 22 - Vliv frézovaného materiálu na prašnost při frézování	46
Obrázek 23 - Vliv řezné rychlosti na prašnost frézování.....	47
Obrázek 24 - Vliv podávací rychlosti na prašnost při frézování.....	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vlastnosti použitých materiálů	31
Tabulka 2 - Parametry spodní svislé frézky FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo).....	32
Tabulka 3 - Parametry podavače materiálu MAGGI, STEFF 2034 (Itálie).....	33
Tabulka 4 - Parametry spodní svislé frézky SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie).....	34
Tabulka 5 - Parametry podavače materiálu MAGGI, STEFF 2044 (Itálie).....	35
Tabulka 6 - Parametry formátovací kotoučové pily SCM Class si300 (SCM, Rimini, Itálie).....	36
Tabulka 7 - Vyhodnocení testovaných faktorů na základě hodnoty "P"	39

1 Úvod

Dřevo jako materiál je vlastně přírodní kompozit složený ze svazků celulóзовých vláken, které jsou obklopeny ligninem. Jeho unikátní vlastnosti ho předurčují pro všestranné použití. Kromě rostlého dřeva ve formě kulatiny a řeziva nacházejí širší využití i materiály na bázi dřeva (Požgaj, 1993). Díky vzrůstajícímu technickému pokroku se zvyšují možnosti zpracování dřeva a výroby technologicky dokonalejších materiálů (Hoadley, 1990). Materiály na bázi dřeva do určité míry zachovávají výhodné a překonávají nevýhodné vlastnosti dřeva.

Materiály na bázi dřeva jsou materiály vytvořeny buďto pomocí tlaku a tepla, které působí na směs dřevních částic (dřevní prach, piliny, vlákna, třísky) a živice nebo slepením a následným lisováním z menších kousků dřeva a dýh dohromady. Je velmi důležité se těmito materiály věnovat a dále zkoumat možnosti jejich využití a jejich zpracování. Z hlediska obrábění těchto materiálů je frézování velmi častým způsobem obrábění.

Frézování patří mezi základní typy opracování dřeva a dřevních materiálů, kde rotačním pohybem frézovací hlavy dochází k odběru určité vrstvy materiálu, a tím ke změně jeho rozměrů a tvaru (Zuzana Jamberová, 2016). Optimálním výsledkem frézování je kvalita opracovaného povrchu, která je vhodná pro další technologický proces. Rovinné frézování je proces vhodný pro dřevo a materiály na bázi dřeva (například spárovka), kde se dosahuje výsledná kvalita povrchu rozhodující pro povrchovou úpravu a konečný vzhled (Miroslav Rousek, 2005). Boční frézování je typickým procesem pro dřevní materiály, které jsou vyrobeny lisováním (MDF, DTD), a to hlavně z technologického hlediska pro následující operaci olepování. Ovšem může se použít pro všechny typy materiálů na bázi dřeva, hlavně při nepravidelných a zaoblených tvarech výrobků. Při frézování je zapotřebí optimálního nastavení parametrů, které udrží požadovanou kvalitu při zachování dobré hygieny práce.

2 Cíle práce

Hlavním cílem práce bude zjištění, jak změna řezné a podávací rychlosti při frézování ovlivňuje hygienu práce. Z hlediska hodnocení se budou sledovat hlučnost a prašnost.

Na základě výsledků lze zjistit závislosti mezi proměnnými faktory:

1. Podávací rychlost: 4 m/min, 8m/min
2. Řezná rychlost: 16 m/s, 24 m/s, 32 m/s, 49 m/s, 54 m/s
3. Frézka: FVS 976, SCM tf130
4. Obráběný materiál: MDF, MDF-L

na sledované parametry, kterými byli:

1. Hlučnost
2. Prašnost

Oba sledované parametry byly měřeny v exponovaném místě za frézku ve směru odletujících částic, ve vzdálenosti dva metry od frézovací hlavy.

Výsledky bakalářské práce by měli posloužit pro srovnání strojů a jednotlivých faktorů, ovlivňujících parametry hygieny práce.

V praxi je důležité zhodnocení zvolené řezné rychlosti v kombinaci s podávací rychlostí, které ovšem záleží především na požadovaných vlastnostech obráběné plochy.

Dalším výstupem zhodnocení je porovnání dvou generačně odlišných strojů.

3 Rozbor problematiky

Hlavním tématem této bakalářské práce je proces obrábění aglomerovaného materiálu na bázi dřeva frézováním. Frézování je jeden z nejčastěji používaných druhů opracování dřeva a materiálů na bázi dřeva v truhlářském zpracování, hned po dělení materiálu. Při obrábění tímto způsobem se využívají různé nastavení stroje, resp. řezné a podávací rychlosti. Tyto dva faktory mají největší vliv na hygienu práce, na prašnost a hlučnost především.

3.1 Frézování

Frézování je technika obrábění dřeva, kde dochází k obrábění rovinných nebo tvarových ploch vícebřitým nástrojem, frézou. Frézováním nazýváme obrábění materiálu otáčejícím se nástrojem (frézou, frézovací hlavou). Frézováním se získává kvalitní povrch, přesné rozměry obrobku, rovinná, zaoblená nebo tvarovaná plocha. Frézování jako proces mechanického povrchového opracování obrobku je charakteristický tím, že je třískotvorným, kde se tloušťka třísky mění od minimální po maximální, případně naopak.

Dráha ostří tvoří na obrobku cykloidu vzhledem k tomu, že řezná rychlost je daleko vyšší než podávací rychlost, můžeme řeznou dráhu považovat na kružnici. Hlavním pohybem při frézování je otáčivý pohyb nástroje, vedlejšími pohyby jsou posuvný pohyb obrobku (nejčastěji přímočarý) a přísuv, kterým se nastavuje hloubka řezu. Složením hlavního otáčivého pohybu a vedlejšího posuvného vznikne cykloidní pohyb. Frézováním se obrábí především plochy rovinné, ale také plochy tvarové, drážky pravoúhlé, speciální i šroubovité, závity, ozubená a řetězová kola i plochy rotační. Účelem frézování je opracování dílce na požadovaný tvar, rozměr a povrchovou kvalitu. V praxi je frézování velmi rozšířenou technologií obrábění dřeva. (Kvietková, 2015)

Podle hlavního řezného pohybu se obrábění rozděluje do čtyř kategorií (Prokeš, 1982)

1. Rotační pohyb vykonává obrobek (soustružení).
2. Rotační pohyb vykonává nástroj (frézování, vrtání, zahlubování, broušení, řezání kotoučovou pilou).

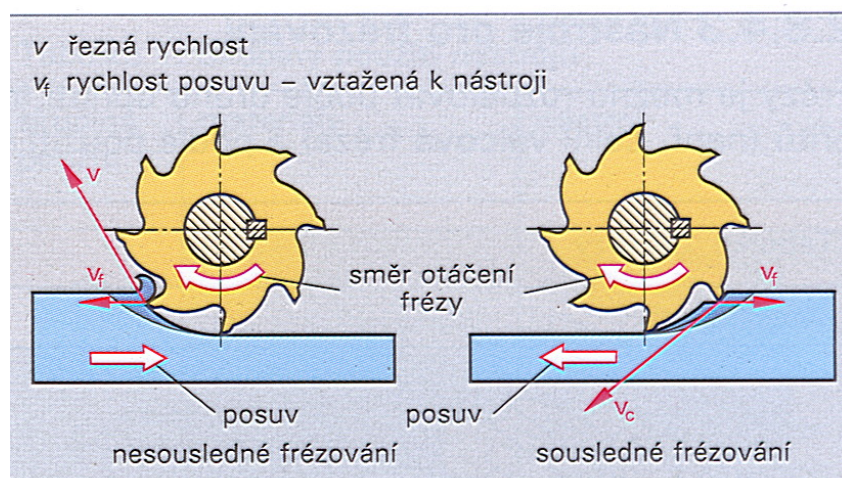
3. Přímočarý vratný pohyb vykonává obrobek (hoblování).
4. Přímočarý vratný pohyb vykonává nástroj (obrážení, protlačování, protahování, řezání rámovou pilou, řezání pásovou pilou, pilování).

Z klasifikace mechanické technologie obrábění podle Prokeše (1982) vyplývá, že frézování je obrábění mechanické → s porušením vazby dřevních vláken → řezání → třískové → frézování.

Podle posuvu obrobku do řezu lze frézování provádět jako souběžné (sousměrné) (Obrázek 1), protiběžné (nesousměrné) (Obrázek 1), nebo čelní. Při frézování souběžném je posuv obrobku ve směru rotace nástroje a tloušťka třísky jde od maximální po minimální, při frézování protiběžném je naopak posuv obrobku proti směru rotace nástroje a tloušťka třísky jde od minimální po maximální, při frézování čelním jde o kombinaci ostatních způsobů.

Při protiběžném (nesousměrném) frézování začíná řezná hrana každého zubu odřezávat vrstvu minimální tloušťky. Ve skutečnosti je vždy řezná hrana zaoblená a odebrání materiálu začíná vždy, když má vrstva nějakou tloušťku. Pokud je vrstva tenká, řezná hrana neřeže, ale pouze deformuje povrch. (Prokeš, 1982)

Při souběžném (sousměrném) frézování směřuje výsledná řezná síla do materiálu, to umožňuje zmenšovat upínací síly. Zmenšuje se náchylnost stroje ke chvění. Je možné zvýšit posuv na zub při nezměněné trvanlivosti, a tím dosáhnout vyššího výkonu obrábění. (Prokeš, 1982)



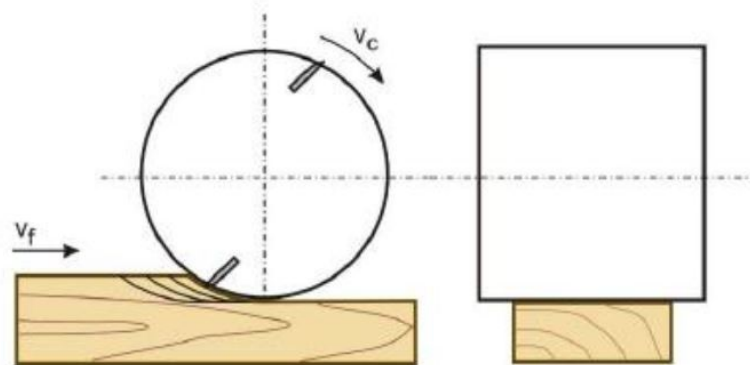
Obrázek 1 - Druhy frézování (Dillinger, 2007)

Během frézování můžeme rozlišit tři druhy ploch obrobku.

1. Obráběná plocha – je to plocha, která se obrábí. Odebírá se z ní vrstva materiálu a přeměňuje se na třísku
2. Plocha řezu – tzv. přechodná plocha, která je tvořena břitem nástroje a tvoří přechod mezi plochou obráběnou a plochou obrobenou
3. Obrobená plocha – výsledná plocha, která vzniká po odebrání vrstvy materiálu během frézování

Podle polohy osy otáčení a podle ploch, které při frézování opisují řezné klíny nástroje, lze rozlišit čtyři druhy frézování, válcové, kuželové, čelní a čelní kuželové.

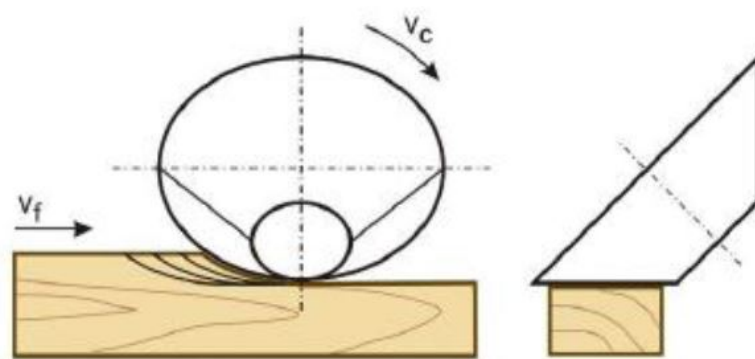
Prvním druhem frézování je válcové. Osa otáčení nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou (Obrázek 2). Během tohoto frézování jsou nože na nástroji upevněny po jeho obvodu a opisují válcovou plochu. Osa rotace je rovnoběžná s opracovanou plochou. Velikost posuvu na jedno otočení je dána poměrem řezné a posuvné rychlosti.



Obrázek 2 - Válcové frézování (Siklienka, a další, 2013)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

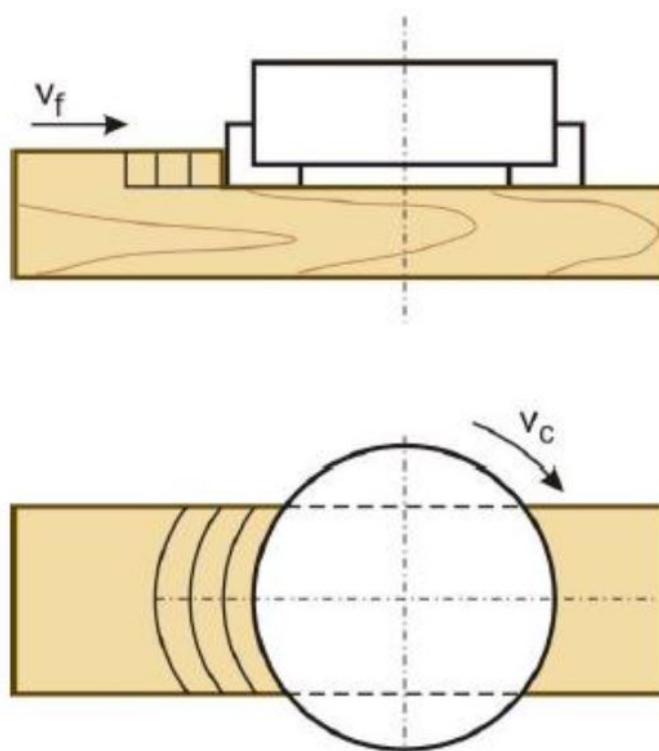
Dalším druhem je kuželové frézování. Při tomto frézování je doporučen sklon osy rotace nástroje o 10° až 12° vůči obráběné ploše (Obrázek 3). Během tohoto frézování je tloušťka třísky menší než při válcovém, díky tomu se může zvýšit rychlost posuvu až třikrát, a toto frézování je tedy velmi produktivní i se zachováním potřebné jakosti povrchu. (Prokeš, 1982)



Obrázek 3 - Kuželové frézování (Siklienka, a další, 2013)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

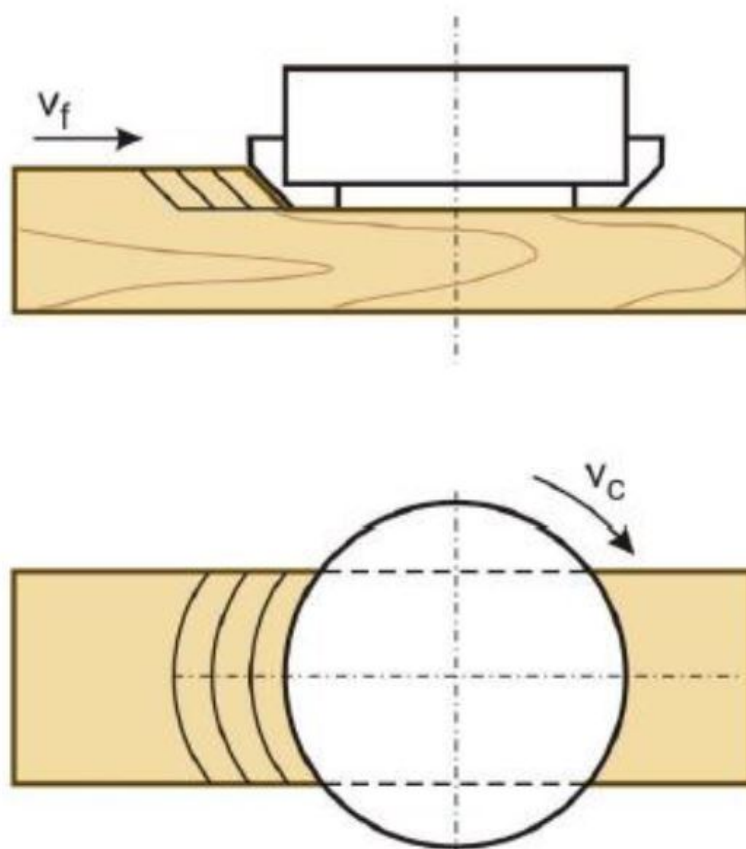
Během čelního frézování je osa rotace nástroje kolmá k obráběné ploše (Obrázek 4). Řezné klíny nástroje opisují válcovou plochu, boční řezné klíny pracují na principu válcového frézování a to přibližně kolmo ke směru dřevních vláken. Tento způsob se používá u některých tvarových a stopkových fréz. (Kvietková, 2015)



Obrázek 4 - Čelní frézování (Siklienka, a další, 2013)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

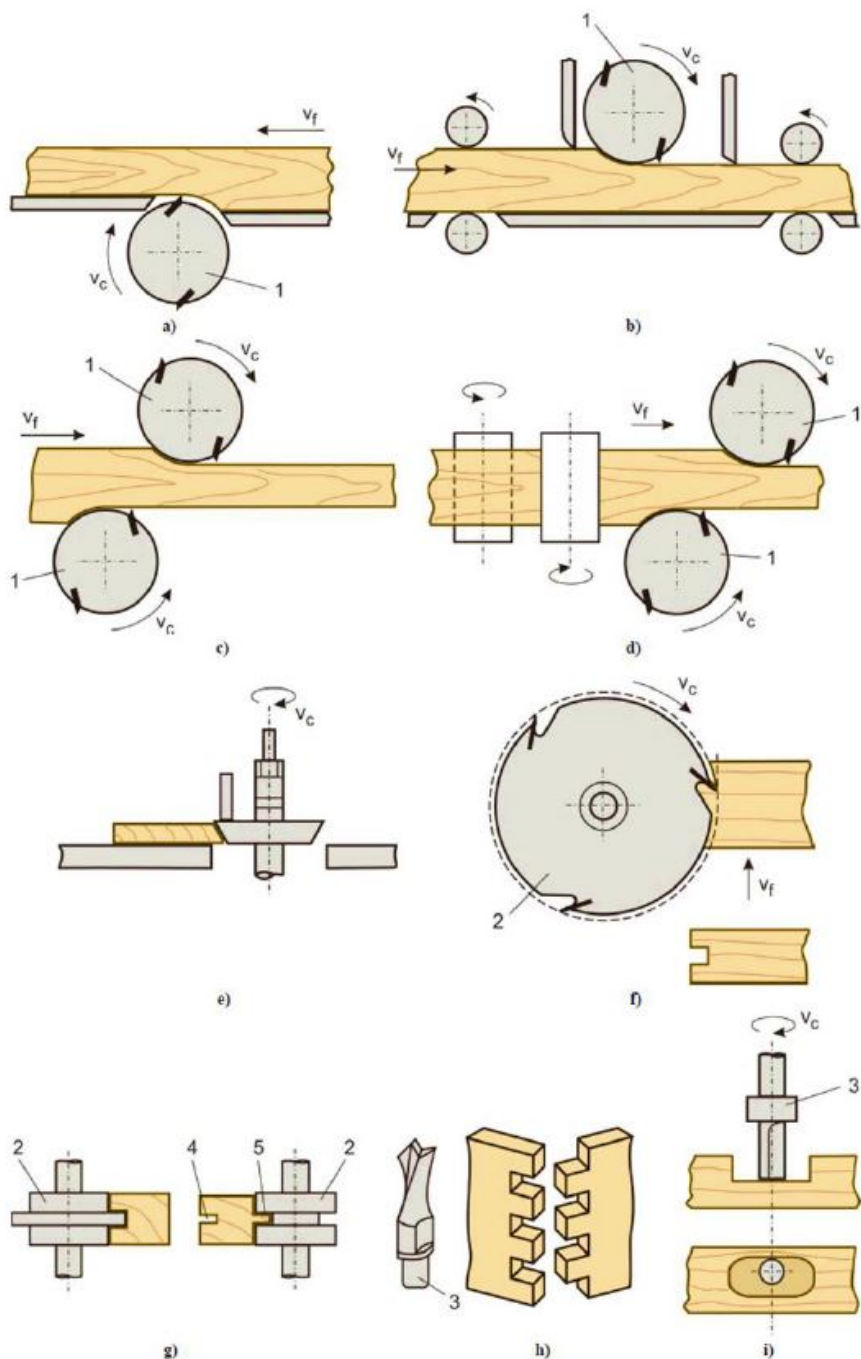
V průběhu čelního-kuželového frézování (Obrázek 5) je osa rotace nástroje kolmá k opracované ploše a umístění břitů je na obvodu nástroje v určitém úhlu vůči ploše opracovaného povrchu (Prokeš, 1982). Při tomto frézování dochází k podélnému až příčnému frézování. Kvůli tomu je nepříznivě ovlivněna kvalita opracovaného povrchu, zejména drsnost. Je tedy nezbytné, aby šířka opracované plochy nepřesáhla polovinu průměru nástroje.



Obrázek 5 – Čelně-kuželové frézování (Siklienka, a další, 2013)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

Na obrázku 6 jsou zobrazeny technologické způsoby frézování z hlediska použití: a) srovnávání, b) jednostranné tloušťkování, c) dvoustranné tloušťkování, d) čtyřstranné frézování, e) tvarové frézování, f) čepování, g) frézování drážky a pera, h) frézování spojů rybinovací frézou, i) kopírování stopkovou frézou.

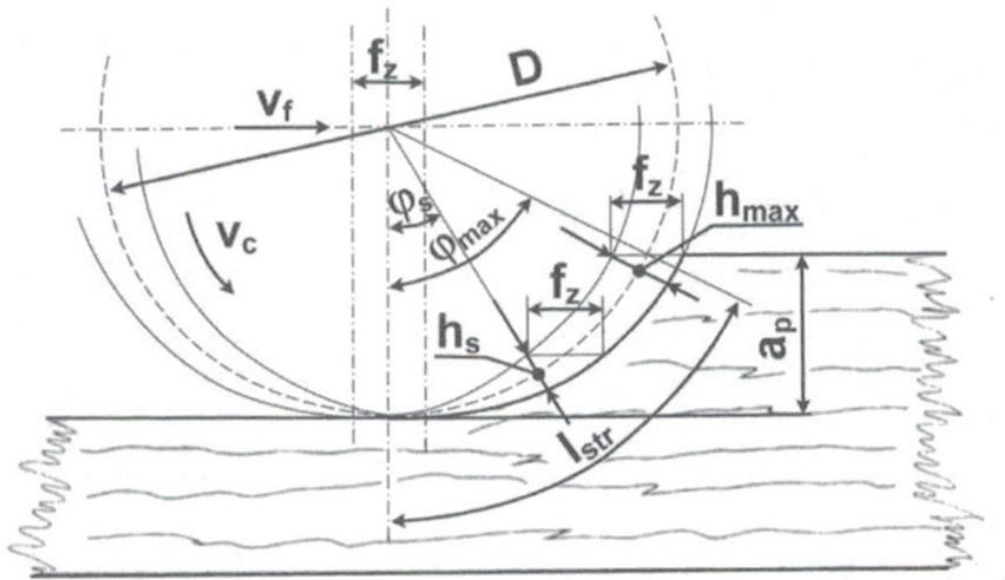


Obrázek 6 - Způsoby frézování z hlediska použití (Siklienka, a další, 2013)

v_f – rychlost posuvu, v_c – řezná rychlost, 1 – nožový hřídel,
2 – kotoučová fréza, 3 – stopková fréza, 4 – drážka, 5 – pero

3.1.1 Kinematika frézovacího procesu

Řezné podmínky lze definovat jako souhrn všech činitelů, kteří ovlivňují průběh frézování. Aby frézování probíhalo co nejoptimálněji - tedy produktivně a hospodárně, je třeba znát jednotlivé podmínky obrábění, jejich vzájemné propojení. Základními řeznými podmínkami jsou: řezná rychlost (v_c), posuvná rychlost (v_f) a hloubka řezu (a_p). Značným způsobem však průběh frézování ovlivňuje také: řezný materiál, druh obráběného materiálu, velikost a tvar průřezu třísky, geometrie nástroje, chlazení a mazání, celková tuhost obráběcí soustavy (stroj, nástroj, obrobek, přípravek). Při konstantní řezné rychlosti (v_c) i podávací rychlosti (v_f) má indikovaný pohyb řezné hrany cykloidní tvar. Řezná rychlost je u frézovacích nástrojů s větším průměrem v poměru k rychlosti posuvu velmi vysoká, takže na úseku záběru jednoho řezného klínu můžeme s dostatečnou přesností předpokládat, že jeho řezná dráha tvoří kružnici. Řezný klín je během jedné otáčky v záběru na délku oblouku l , který odpovídá střednímu úhlu $\varphi + \varphi'$. Úhel φ' je velmi malý, proto se při výpočtu délky třísky l většinou uvažuje úhel φ (Obrázek 7).



Obrázek 7 - Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Kvietková, 2015)

V_f – posuvná rychlost [m/min], v_c – řezná rychlost [m/s], h_{max} – maximální tloušťka (mm), h_s – tloušťka odřezané vrstvy (mm), a_p – hloubka řezu (mm), f_z – posuv na zub (mm), D – průměr nástroje (mm), φ_{max} – úhel záběru zubu ($^\circ$), φ_s – středový úhel ($^\circ$)

3.1.1.1 Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{60 * 1000} \quad [m/s]$$

Kde:

D – průměr frézy [mm]

n – otáčky frézy [ot/min]

3.1.1.2 Výpočet posuvné rychlosti

$$v_f = \frac{f * n}{1000} = \frac{f_z * n * z}{1000} \quad [m/min]$$

Kde:

f – posuv na otáčku frézy [mm]

f_z – posuv na zub [mm/zub]

n – otáčky frézy [ot/min]

z – počet řezných hran frézy [ks]

3.1.1.3 Výpočet posuvu na zub

$$f_z = \frac{v_f * 1000}{n * z} \quad [mm]$$

Kde:

v_f – rychlost posuvu [m/min]

n – otáčky frézy [ot/min]

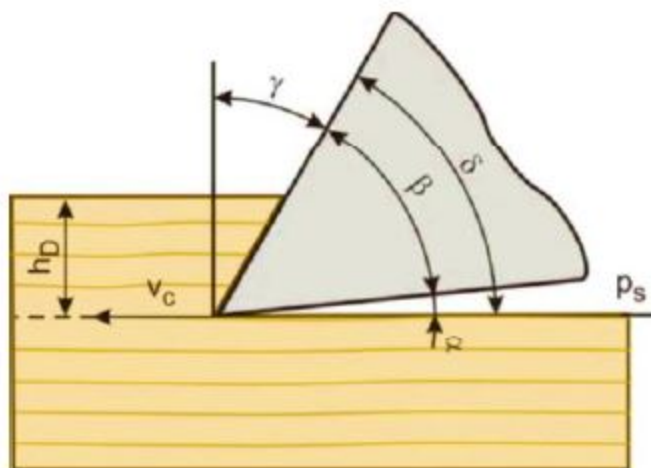
z – počet řezných hran frézy

3.1.2 Nástroje k frézování

Frézovací nástroje rozděljuje Prokeš (1982) podle kompletního provedení do čtyř různých kategorií. První skupinou jsou celistvé frézy, které mohou být buďto kružcem nebo se stopkou. Další skupinu tvoří frézy s noži nebo zuby, které jsou upnuty na obvodu nástroje a doplňují je nožové hřídele, dále nožové hlavy, stejně tak čepovací kotouče. Třetí kategorií jsou dělené frézy složené, které jsou obvykle složeny ze dvou až tří kružců. Čtvrtou a zároveň poslední skupinu tvoří složené frézy.

3.1.3 Geometrie břitu

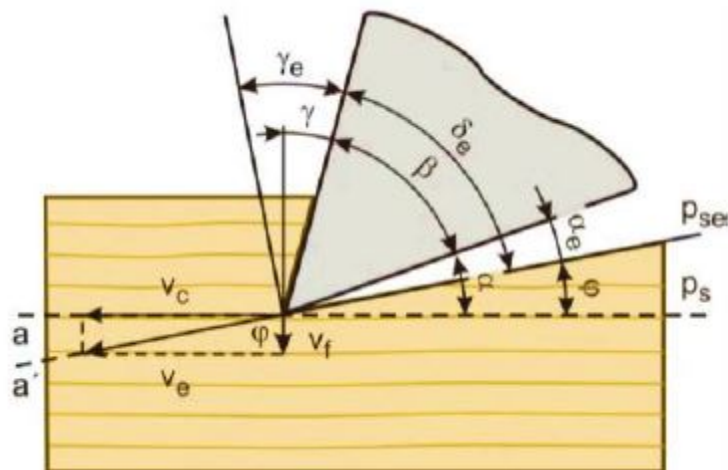
Úhlová geometrie břitu je potřebná z hlediska určení geometrické polohy řezné hrany, čela a hřbetu nástroje. Rozeznáváme dvě skupiny úhlů, nástrojové (Obrázek 8) a pracovní (Obrázek 9).



Obrázek 8 - Úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a další, 2013)

α – nástrojový úhel hřbetu, β – nástrojový úhel řezného klínu, γ – nástrojový úhel čela, δ – nástrojový řezný úhel, p_s – nástrojová základní rovina, h_D – nominální tloušťka třísky,

v_c – řezná rychlost



Obrázek 9 - Pracovní úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a další, 2013)

v_e – pracovní rychlost, v_f – posuvná rychlost, α – nástrojový úhel hřbetu, β – nástrojový úhel řezného klínu, γ – nástrojový úhel čela, δ – nástrojový řezný úhel, φ – úhel posuvného pohybu, α_e – pracovní úhel hřbetu, β_e – pracovní úhel řezného klínu, γ_e – pracovní úhel čela, δ_e – pracovní řezný úhel p_s – nástrojová základní rovina, p_{se} – pracovní základní rovina

3.1.4 Materiály pro výrobu nástrojů

Materiály na výrobu nástrojů pro obrábění se rozdělují do pěti základních skupin:

1. Nástrojové oceli (nelegované, legované, rychlořezné a na lité nástroje).
2. Slinuté karbidy.
3. Cermety (CERamics + METal = keramika + kov).
4. Řezná keramika.
5. Supertvrdé materiály (syntetický diamant, PVD a CVD povlaky).

Materiál nástroje je velmi důležitý faktor. Různé materiály nám předurčují i to, jak dlouho lze s daným nástrojem obrábět, než se nástroj otupí natolik, že ho nelze použít. (Adamcová, 2010) V dnešní době se stále více uplatňují nástroje ze supertvrdých materiálů, obzvláště při obrábění materiálů na bázi dřeva, které jsou v některých případech (např. MDF) hůře obrobitelné než rostlé dřevo.

3.2 Frézovaný materiál

Materiály na bázi dřeva jsou materiály vytvořeny buďto pomocí tlaku, tepla a živice nebo slepením a následným lisováním z menších kousků dřeva a dých dohromady.

První skupina materiálů (HDF, MDF, DTD, OSB) je nejpoužívanější v nábytkářském a stavebním průmyslu. Tyto materiály mají všeobecně homogennější složení než rostlé dřevo, které má naopak anizotropní charakter jeho struktury. Typický materiál z této skupiny je MDF. Středně hustá dřevovláknitá deska (MDF) je velice univerzální materiál na bázi dřeva pro nenosné účely ve výrobě nábytku, různých truhlářských konstrukcích, jako izolační materiál a další využití v interiéru. Má poměrně vysokou měrnou stabilitu, dobrou opracovatelnost a vysokou hladkost povrchu.

Druhá skupina materiálů (překližka, spárovková deska) má menší zastoupení a je specifická pro určité použití nebo konkrétní komponenty. Takovéto materiály se víc podobají dřevu a podíl jiných chemických látek (např. lepidel) v nich je minimální. Například spárovková deska (někdy nazývána i spárovka) je materiál, jehož celková šířka, případně i délka, může být vytvořena podle potřeby. Skládá se z malých kusů dřeva se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem, navzájem slepených bočními stranami k sobě. Na délku mohou být jednotlivé kusy dřeva spojeny pomocí nekonečného vlisu.

3.2.1 Materiály na bázi dřeva

Kuklík a Kuklíková (2002) rozdělují materiály na bázi dřeva na:

1. Překližované materiály
2. Vlákňité desky
3. Třískové desky
4. Lepené lamelové dřeva
5. Vrstvené dřevo
6. Zhuštěné dřevo
7. Modifikované dřevo

Dělení materiálů na bázi dřeva je mnoho a stále přibývají nové materiály, které je potřeba někam zařadit.

V současné době lze definovat mnoho druhů materiálů na bázi dřeva. Mezi překližované materiály se řadí dýhy (loupané, krájené, řezané), překližky (truhlářské, stavební, letecké atd.), spárovky, laťovky, lepené lamelové dřevo a různé výlisky. Mezi aglomerované materiály patří dřevotřískové desky, OSB a dřevovláknité desky. Některé aglomerované materiály mohou obsahovat přídavky nedřevěných materiálů, vznikají pak např. cementotřískové desky, sádrovláknité a cementovláknité desky, materiály s přídavkem gumy a kaučuku nebo materiály s přídavkem plastových hmot. Další kategorií mohou být modifikovaná dřeva, která se speciálně upravují pomocí teploty, tlaku (lisování) nebo chemicky.

Nevýhodou většiny materiálů na bázi dřeva je jejich lepení. Použitím chemických sloučenin se výrazně zhoršuje ekologie výroby. Vývoj tedy probíhá i v této oblasti. Posledním trendem je snižování množství použitých chemických sloučenin a snaha o jejich nahrazení přírodními látkami.

3.2.1.1 Středně hustá vláknitá deska

Podle ČSN EN 316 (2009) jsou vláknité desky (VD) definovány jako vláknitý materiál tloušťky 1,5 mm a více, vyrobený z lignocelulózových vláken použitím ohřevu nebo tlaku. MDF se vyrábí z dřevěných vláken o hustotě 600 – 800 kg/m³. MDF mají široké spektrum využití, jelikož struktura těchto desek umožňuje jejich následnou povrchovou úpravu laminováním, dýhováním nebo frézováním v ploše i hraně. Mají také velmi dobré mechanické, fyzikální a technologické vlastnosti, které jsou obdobné jako u masivního dřeva. (Wieloch, 2006)

MDF deska je vyráběna slisováním převážně smrkových dřevěných vláken za pomoci lepidla a vysoké teploty. Jsou plnohodnotnou náhradou masivního dřeva, proto se dají i podobně opracovávat. Jejich homogenní struktura umožňuje frézování. Na povrchu mají pevné hrany a běžně se upravují lakováním. Jsou určeny pro použití pro nenosné účely v nábytkářství, truhlářství, frézařských dílnách a další použití v interiéru (DDL). Ve výrobě nábytku, kde díky nehomogenní struktuře dřevotřískových desek se užívají nejvíce MDF desky. Dají

se u nich tvarovat hrany i plochy. To nejvíce využijeme ve výrobě dvířek a čel zásuvek. Dále to můžou být stolové desky, obkladové panely apod.

3.2.1.2 Vývoj středně hustých vláknitých desek

Technologie výroby vznikla již v roce 1924. Rozkvět této výroby a další následný rozvoj nastal až po druhé světové válce. Potenciál překližek a laťovek byl rychle vyčerpán a nevýhody tvrdých dřevovláknitých desek jako síťovaná spodní strana, malá tloušťka, vnitřní pnutí a rozměrová nestabilita umožnila vývoj MDF desek. Trh s velkoplošnými materiály potřeboval doplnit o kvalitní a homogenní materiál, který by mohl být využit v nábytkovém průmyslu. Nábytek, který vykazoval zaoblení, vytvořené z rostlého dřeva bylo nyní možné vyrobit z těchto desek. Nejstaršími a největšími výrobci jsou USA, Švédsko a Finsko. První výroba MDF desek suchým způsobem v Evropě, byla realizovaná v závodě Ribnitz na německém území. Následovalo Španělsko, Itálie a Jugoslávie. V USA byly první linky ve firmě Allied Chemical v Depositu. Další pak v Oakridge a v Meridianu.

Na českém území se nejprve vyráběli pouze tvrdé dřevovláknité desky. Jejich první výrobní linka byla zřízena roku 1951 v závodě Solo Sušice, s technologií ze Švédska. V současné době se v České republice vyrábí MDF desky v Dřevozpracujícím družstvu Lukavec. Mají více jak 60letou tradici v dřevařském průmyslu a exportují přibližně 60% své celkové produkce do Evropy.

3.2.1.3 Povrchová úprava středně hustých vláknitých desek

Povrchová úprava materiálů na bázi dřeva má velký význam, neboť prodlužuje jejich životnost, zvýrazňuje a dokresluje přirozenou krásu dřeva a materiálů na bázi dřeva, zlepšuje užité vlastnosti výrobků, potlačuje barevné rozdíly povrchu a zvýrazňuje tvar produktu (Jaroslav Hrázský, 2007). Desku je třeba někdy přizpůsobit nepříznivým vlivům, kterým bude vystavena. K nim patří především vlivy vlhkosti, možnost napadení houbami nebo hmyzem a často i oheň. Jindy je třeba přizpůsobit vzhled desek jejich použití (Čížek, 1985).

MDF desky se nechávají v surovém stavu nebo se opatří přírodním dýhovaným povrchem. S použitím mokřích povrchových úprav je desku možno tmelit, mořit,

lakovat a reliéfovat. Mezi umělé povrchy patří PVC fólie či dekorační laminovací papír. Jsou to tzv. suché povrchové úpravy. Kresba desky může být potlačena nebo zvýrazněna. Póry dle dokončení jsou buď otevřené, polozavřené nebo uzavřené. Povrchová úprava také zamezuje úniku těkavých organických látek, jako jsou aldehydy, terpeny a formaldehydy z podkladových materiálů.

3.2.1.4 Opracování desek s umělým povrchem

Při opracovávání je třeba mít na zřeteli, že vrstvené povrchy jsou velice tvrdé a křehké. Proto při obrábění desek s laminovanými povrchy je třeba věnovat zvláštní péči spolehlivé ochraně povrchů před poškrábáním a čistotě všech pracovních ploch. Je možno používat jen stroje, jejichž plochy jsou kryty pryžovými nebo plstěnými povlaky, nebo kde jsou obráběné desky uloženy v upínacím nebo podávacím přípravku, vyloženém měkkými hmotami, zabraňujícími poškození povrchu (Čížek, 1985).

3.3 Hygiena práce

Obor hygieny práce se zabývá posuzováním práce a jejích vlivů na zdraví zaměstnance.

Základní činností oboru v rámci státního zdravotního dozoru je kontrola plnění zákonných povinností v oblasti ochrany zdraví při práci, což jsou zejména požadavky na provedení pracovišť, včetně osvětlení, větrání, zajištění vyhovujících mikroklimatických podmínek na pracovišti, dodržování hygienických limitů pro fyzikální faktory, chemické škodliviny a prach v pracovním prostředí, ale i dodržení limitů pro fyzickou zátěž, naplnění ergonomických požadavků pro pracovní místo a pracoviště, dodržování zásad pro práci s biologickými činiteli, vybavení pracovišť sanitárními a pomocnými zařízeními, zásobování pracovišť vodou, ale i zajištění závodní preventivní péče.

V souvislosti s tím je hodnoceno působení fyzikálních faktorů, např. hluku, vibrací, neionizujícího záření, mikroklimatických podmínek, chemických faktorů (chemické škodliviny), biologických

faktorů (bakterie, viry) v pracovním prostředí na zdravotní stav pracovníků a posuzována technická, organizační a náhradní opatření provedená zaměstnavatelem ke snížení působení rizikových faktorů pracovního prostředí. (2003)

3.3.1 Hlučnost

Hlukem nazýváme každý zvuk, který má rušivý, nebo obtěžující charakter nebo který má škodlivé účinky, bez ohledu na jeho intenzitu, která v mnohých případech nehraje hlavní roli. Ve vnímání zvuku existují značné interindividuální rozdíly. Hluk by se dalo rozdělit do několika skupin podle časového průběhu a kmitočtového složení.

- Ustálený – jeho hladina se v daném místě a ve sledovaném časovém úseku v závislosti na čase mění o maximálně 5dB.
- Proměnný - jeho hladina se v daném místě a ve sledovaném časovém úseku v závislosti na čase mění o minimálně 5dB.
- Nízkofrekvenční – frekvence hluku nepřesáhne 100 Hz.
- Vysokofrekvenční – frekvence hluku je vyšší než 8000 Hz.
- S tónovými složkami – jeho spektrum obsahuje tónové (diskrétní) složky, jejichž hladiny akustického tlaku jsou o více než 5dB vyšší než v sousedních kmitočtových oblastech.
- Impulsní – je vytvářen jednotlivými zvukovými impulzy s dobou trvání kratší než 200 ms, nebo sledem takových impulzů, následujících po sobě v intervalech delších než 10 ms.

3.3.1.1 Biologické účinky

Rozhodujícím faktorem pro účinek zvuku na člověka je fakt, jakým způsobem je akustická informace zpracována. Biologicky účinnější jsou zvuky silnější, přerušované, s tónovými složkami, s impulzy nebo rázy, než zvuky tiché a ustálené.

Z hlediska intenzity lze říct, že hluky nad 30 dB jsou nebezpečím pro nervový systém a psychiku. Nad 60 dB je ohrožen vegetativní systém, nad 90 dB sluchový orgán a nad 120 dB mohou být poškozeny buňky a tkáně.

Spektrální složení hluku rozlišujeme jednak podle šířky pásma, jednak podle převažující oblasti frekvence. Širokopásmový hluk má výrazné účinky na oběhové funkce. Úzkopásmový hluk, resp. tónový hluk má pronikavější účinky na sluchové ztráty i vyšší subjektivní rušivost. Hluky s převahou frekvencí nad 2000 Hz jsou považovány za agresivnější. (Bencko, 1998)

3.3.1.2 Specifické účinky

Lidské ucho má nejvyšší citlivost pro frekvence 1000 Hz až 4000 Hz. Při stejné intenzitě vyvolávají zvuky různých frekvencí nestejně silný sluchový vjem, mají různou hlasitost. Účinky nadměrného hluku se na sluchovém aparátu projeví až po značné expoziční době. Většinou se již jedná o nevratné poškození. Člověk si obtížně přizná sluchové změny, protože zde chybí objektivní srovnání. Podstata poškození sluchu je v nevratném úbytku vláskových buněk Cortiho orgánu.

- Chronické akustické trauma – profesionální nedoslýchavost.
- Akutní poškození hlukem může být způsobeno výbuchem nebo třeskem. Výbuch poškozuje bubínek a sluchové kůstky. Třesk postihuje vláskové buňky, tektoriální membránu.

Počáteční znak poškození sluchu je zvýšení sluchového prahu pro frekvenci 4000 Hz. Je to diagnostický znak využívaný pro určení nemoci z povolání. (Bencko, 1998)

3.3.2 Prašnost

Prašností rozumíme znečištění ovzduší hmotnými částicemi, které rozptýleny ve vzduchu tvoří aerosoly. Aerosoly dělíme podle mechanismu vzniku na prach (vzniká drcením pevných materiálů), kouř (vzniká spalováním organických hmot) a dým (vzniká oxidací organických látek). Každý aerosol je charakterizován koncentrací, velikostí a vlastnostmi rozptýlených částic. Na všech těchto charakteristikách pak závisí působení na zdraví. Z hlediska působení na člověka dělíme prach na toxický a bez toxického účinku. U netoxických prachů může být závažné jejich fibrogenní působení. Prašnost ovzduší měříme a podle platné legislativy hodnotíme. Zabýváme se také stanovením tříd čistoty prostoru se zvýšenými nároky na kvalitu ovzduší.

Prachy bez toxického účinku se dělí na:

- prachy mající převážně fibrogenní účinek tj. vedoucí k nadměrnému obsahu vaziva v určitém orgánu a následně k poruše jeho tkání a funkci (silikóza, azbestóza)
- prachy s možným fibrogenním účinkem - (slída, talek, saze)
- prachy s dráždivým účinkem - (minerální, textilní, živočišné, rostlinné) - prach ze dřeva (dřevný prach) se hodnotí podle původu dřeva
- minerální vláknité prachy
- prachy bez výrazného biologického účinku.

3.3.2.1 Působení prachu na člověka

Účinek prachu na lidský organismus je závislý na jeho fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech, na množství prachu v pracovním ovzduší a tělesné namáhavosti práce (nároky na plicní ventilaci).

Převážná většina částic větších než 0,005 mm neprojde do dolních částí dýchacích cest, tj. do průdušinek a plicních sklípků. Pouze nejmenší částice, tzv. respirabilní prach, pronikají až do dolních částí dýchacích cest.

Prachové částice mohou na organismus nepříznivě působit také tím, že se usazují na kůži, sliznicích a ve spojivkovém vaku a mohou mít dráždivý účinek vedoucí k zánětům kůže, sliznic a spojivek.

Toxické účinky se objevují např. po vdechování některých chemických sloučenin a kovů.

Karcinogenní účinky, způsobující nádorová onemocnění, mají např. některé chemické sloučeniny, některé těžké kovy a jejich sloučeniny a prachy vznikající při broušení a leštění některých druhů dřev.

4 Metodika

Metodiku bakalářské práce lze rozdělit na základě stanoveného cíle do několika bodů.

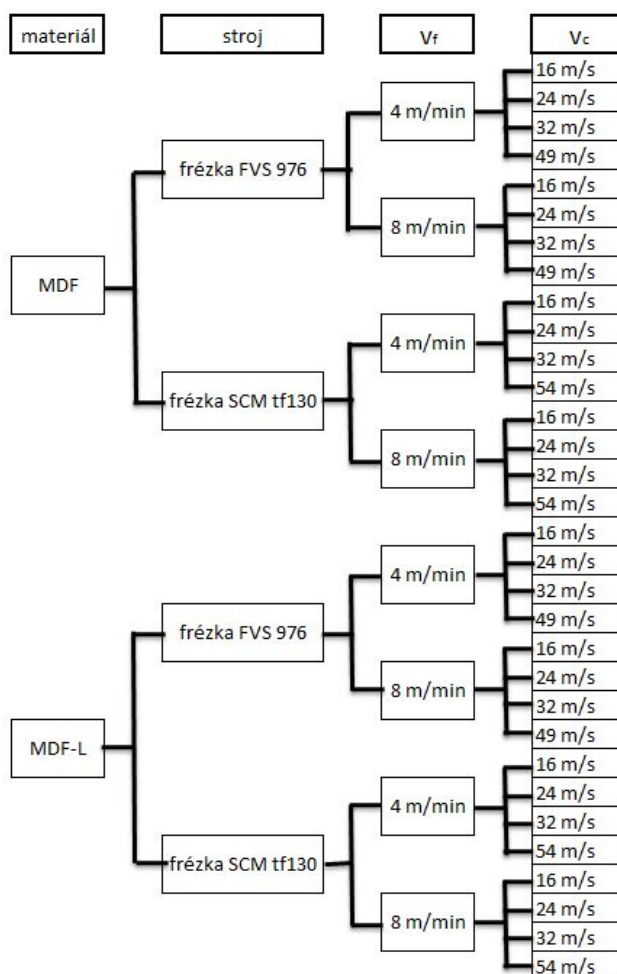
Zjištění vlivu vybraných faktorů:

1. Obráběný materiál: MDF, MDF-L
2. Podávací rychlost: 4 m/min, 8 m/min
3. Řezná rychlost: 16 m/s, 24 m/s, 32 m/s, 49 (54) m/s
4. Použitá frézka: FVS 976, SCM tf130

Na sledované charakteristiky, kterými jsou

1. Hlučnost
2. Prašnost

Následující schéma znázorňuje všechny proměnné faktory, z čehož vychází 32 variant pro zjištění výsledné hlučnosti a prašnosti.



Obrázek 10 - Varianty měření

4.1 Použité materiály

Materiály použité pro frézování byly MDF (medium-density fibreboard) v surovém stavu, MDF-L (medium-density fibreboard - laminated) s jednostrannou laminací.

Veškerý materiál byl zakoupen ve velkoplošných formátech u společnosti Démos-Trade a.s. Výrobcem MDF a MDF-L byla firma DDL - Dřevozpracující družstvo Lukavec. MDF a MDF-L byly pořízeny v rozměrech 2790x2060x18 mm a SSP v rozměrech 2500x1220x18 mm.

Tabulka 1 - Vlastnosti použitých materiálů

Ozánění	Materiál	Hustota [kg/m ³]	Výrobce
MDF	Středně tvrdá dřevovláknitá deska	750	DDL - Dřevozpracující družstvo (Lukavec, Česká republika)
MDF-L	Středně tvrdá dřevovláknitá deska s laminací	730	DDL - Dřevozpracující družstvo (Lukavec, Česká republika)

4.2 Použité nástroje

Během frézování byly použity žiletkové nože od firmy Leitz, které byly osazeny do frézovací hlavy od společnosti Felder. Byla použita hlava o rozměrech 100x50x30 mm a byla osazena dvěma noži. Celkový průměr s noži byl 103 mm. Při otáčkách vřetene 3000, 4500, 6000 a 9000 (10000) ot/min vychází řezná rychlost 16 m/s, 24 m/s, 32 m/s, 49 (54) m/s vypočtená podle vzorce:

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{60 * 1000} \quad [m/s]$$

Kde:

v_c – řezná rychlost [m/s]

D – průměr frézy [mm]

n – otáčky frézy [ot/min]

4.3 Strojní vybavení

4.3.1 Frézka FVS

Spodní svislá frézka FVS (ED, APT Line II; Tuttlingen, Německo) je určena na obrábění podélného i deskového materiálu a v závislosti na použité fréze lze obrábět aglomerované i masivní materiály. Pomocí přehození klínových řemenů lze nastavit požadované otáčky stroje a tím i řeznou rychlost.

Tabulka 2 - Parametry spodní svislé frézky FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

Proudová soustava	Příkon	Otáčky [ot/min]	Řezná rychlost pro průměr hlavy 103 mm [m/s]	Rok výroby
380/220 V	4 kW	3000, 4500, 6000, 9000	16, 24, 32, 49	1975



Obrázek 11 - Spodní svislá frézka FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

4.3.1.1 Podávací zařízení

Podávací zařízení od firmy MAGGI je určeno pro posuv podélných dílců i deskového materiálu. Má čtyři fixní rychlosti, směry vpřed a vzad. Rychlosti měníme takto: prvních dvou rychlostí docílíme záměnou ozubených kol uložených za krytem převodovky a další dvě rychlosti změníme otočením páčky vypínače na motoru s dvojitým vinutím (1400-2800 ot/min). Podávací zařízení je vybaveno přestavitelným univerzálním stojanem, který umožňuje nastavení stroje do libovolné pozice.

Tabulka 3 - Parametry podavače materiálu MAGGI, STEFF 2034 (Itálie)

Motor	Příkon	Otáčky [ot/min]	Podávací rychlost [m/min]	Rok výroby
400 V	0,6 - 0,8 kW	1400/2800	4, 8, 11, 22	2005



Obrázek 12 - Podavač materiálu MAGGI STEFF 2034 (Itálie) (Šimek, 2021)

4.3.2 Frézka SCM

Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie) je určena na obrábění podélného i deskového materiálu a v závislosti na použité fríze lze obrábět aglomerované i masivní materiály. Pomocí přesazení klínového řemenu lze nastavit požadované otáčky stroje a tím i řeznou rychlost.

Tabulka 4 - Parametry spodní svislé frézky SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)

Proudová soustava	Příkon	Otáčky [ot/min]	Řezná rychlost pro průměr hlavy 103 mm [m/s]	Rok výroby
400 V	4 kW	3000, 4500, 6000, 10000	16, 24, 32, 54	2012



Obrázek 13 - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie) (Šimek, 2021)

4.3.2.1 Podávací zařízení

Podávací zařízení od firmy MAGGI je určeno pro posuv podélných dílců i deskového materiálu. Má čtyři fixní rychlosti, směry vpřed a vzad. Rychlosti měníme takto: prvních dvou rychlostí docílíme záměnou ozubených kol uložených za krytem převodovky a další dvě rychlosti změníme otočením páčky vypínače na motoru s dvojitým vinutím (1400-2800 ot/min). Podávací zařízení je vybaveno přestavitelným univerzálním stojanem, který umožňuje nastavení stroje do libovolné pozice.

Tabulka 5 - Parametry podavače materiálu MAGGI, STEFF 2044 (Itálie)

Motor	Příkon	Otáčky [ot/min]	Podávací rychlost [m/min]	Rok výroby
400 V	0,6 - 0,8 kW	1400/2800	4, 8, 11, 22	2005



Obrázek 14 - Podavač materiálu MAGGI STEFF 2044 (Itálie) (Šimek, 2021)

4.3.3 Formátovací kotoučová pila

Formátovací kotoučová pila SCM si300 class je vhodná pro řezání plošných materiálů na bázi dřeva i masivu. Pojezdový pracovní stůl o délce 3200 mm je vyroben z hliníkové slitiny s povrchovou úpravou.

Tabulka 6 - Parametry formátovací kotoučové pily SCM Class si300 (SCM, Rimini, Itálie)

Výkon motoru	Otáčky [ot/min]	Maximální výška řezu	Rok výroby
4 (5) kW	4000	100 mm	2012

4.4 Přístrojové vybavení

4.4.1 Měřicí přístroj Casella CEL 63X

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



Obrázek 15 - Měřicí přístroj Casella CEL 63X (Casella, Bedford, Velká Británie)
(Enviro-Equipment, 2021)

4.4.2 Měřicí přístroj Casella CEL 712 MicroDust Pro

Casella CEL 712 MicroDust Pro (Casella, Bedford, Velká Británie) je přístroj pro měření prašnosti v rozsahu od $0,001 \text{ mg/m}^3$ do 250 mg/m^3 .



Obrázek 16 - Měřicí přístroj Casella CEL 712 MicroDust Pro (Casella, Bedford, Velká Británie) (Enviro-Equipment, 2021)

4.5 Příprava zkušebních vzorků

Všechn deskový materiál byl naformátován na zkušební tělesa o rozměrech 300x1000x18 mm. Rozměry byly zvoleny tak, aby se se zkušebním tělesem dalo snadno manipulovat při obrábění. Vzorky byly klimatizovány dva týdny při standardních podmínkách vlhkosti a teploty vzduchu ($\phi = (65 \pm 3) \%$ a $t = (20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$), tedy na vlhkost 12 %. Takto připravená zkušební tělesa byla obrobena frézku v daném nastavení. Délka frézované strany byla 1000 mm a úběr materiálu byl 1 mm. Při obrábění se zaznamenávala hlučnost a prašnost pomocí měřících přístrojů.

4.6 Metodika měření

Při frézování byly umístěny měřící přístroje vedle frézky na podstavci. Poloha pro měření byla vybrána s větším ohledem na měření prašnosti. Měřící přístroje byly umístěny do prachem relativně vysoce exponovaného směru ve vzdálenosti 2 metrů od vřetene frézky. Měřící přístroje byly umístěny u obou strojních zařízení stejně pro možnost porovnání strojů. Naměřené hodnoty byly později přeneseny do počítače a zpracovány pomocí softwaru Insight firmy Casella (Casella, Bedford, Velká Británie).

4.7 Statistické zpracování dat

Úkolem statistického zpracování naměřených dat bylo vyhodnocení jednotlivých hodnot sledovaných proměnných znaků. Pro statistické vyhodnocování byl použit software Microsoft EXCEL 2007 (Microsoft, Redmont, Washington, Spojené státy americké) a STATISTICA 14 (Statsoft Inc., Tulsa, Oklahoma, Spojené státy americké).

Pro vyhodnocení naměřených hodnot hlučnosti a prašnosti byla použita statistická metoda ANOVA. Vyhodnocení bylo provedeno na zvolené hladině významnosti $\alpha = 0,05 = 5\%$.

Tabulka 7 - Vyhodnocení testovaných faktorů na základě hodnoty "P"

(Gaff, a další, 2009)

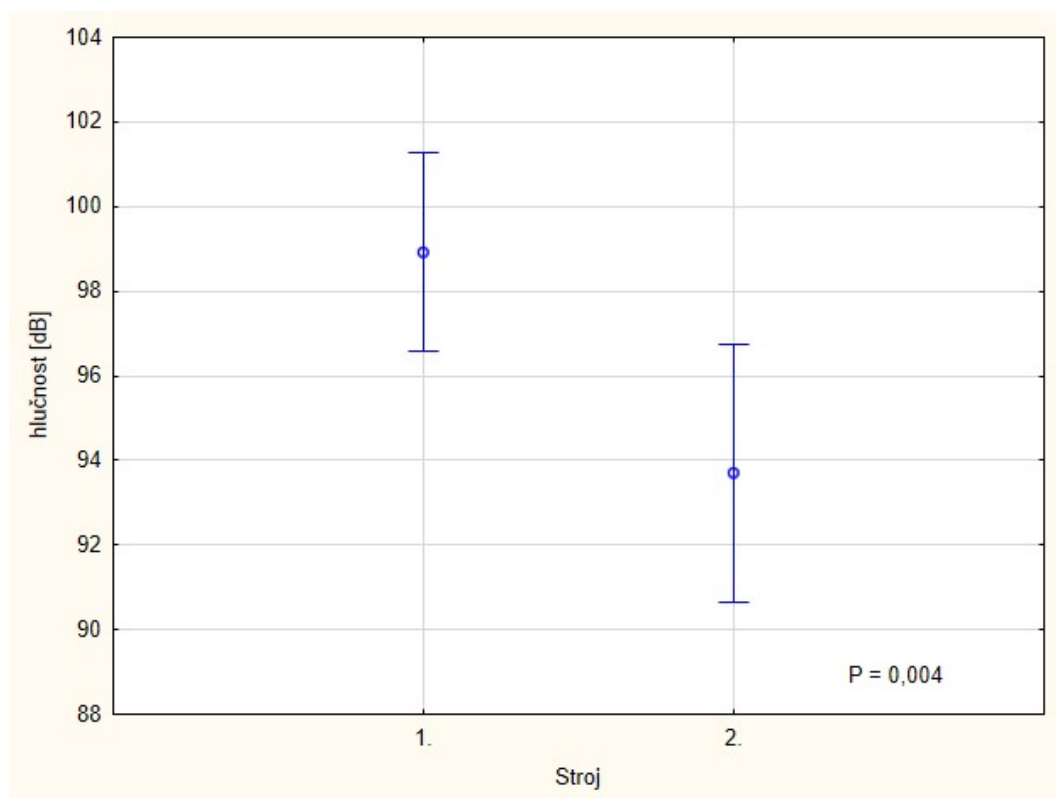
Hodnota P	Statistická významnost faktoru
$\emptyset P < 0,05$	vliv faktoru je statisticky významný
$\emptyset P > 0,05$	vliv faktoru není statisticky významný
$\emptyset P = 0,05$	vliv faktoru se nachází na hranici statistické významnosti
$\emptyset P = 0$	faktor působí
$\emptyset P < 0,001$	vliv faktoru je statisticky velmi významný
$\emptyset 0,001 < P < 0,01$	vliv faktoru je statisticky středně významný
$\emptyset 0,01 < P < 0,05$	vliv faktoru je statisticky málo významný

5 Výsledky a diskuze

5.1 Hlučnost

Výsledky statistické analýzy ANOVA ukazují, že statisticky významné ($P < 0,05$) faktory ovlivňující hlučnost jsou jen některé.

Vliv použitého stroje na hlučnost frézování je z grafu zřejmý a statisticky středně významný ($P = 0,004$). Viditelný rozdíl lze předpokládat, jelikož stroj 1. je staršího data výroby (1975). Jelikož je stroj 2. novější o několik dekad (2012) dalo by se očekávat vyšší zlepšení než jen o 5,6%.

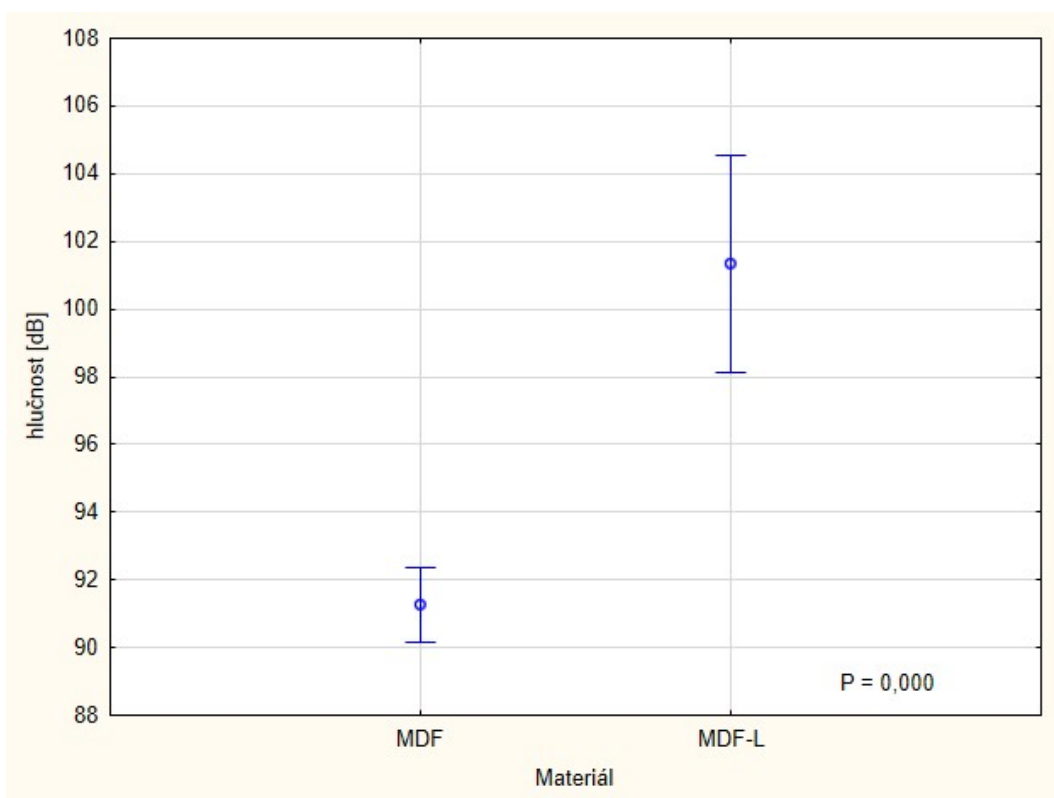


Obrázek 17 - Vliv použitého stroje pro frézování na hlučnost

Stroj 1. – Spodní svislá frézka FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

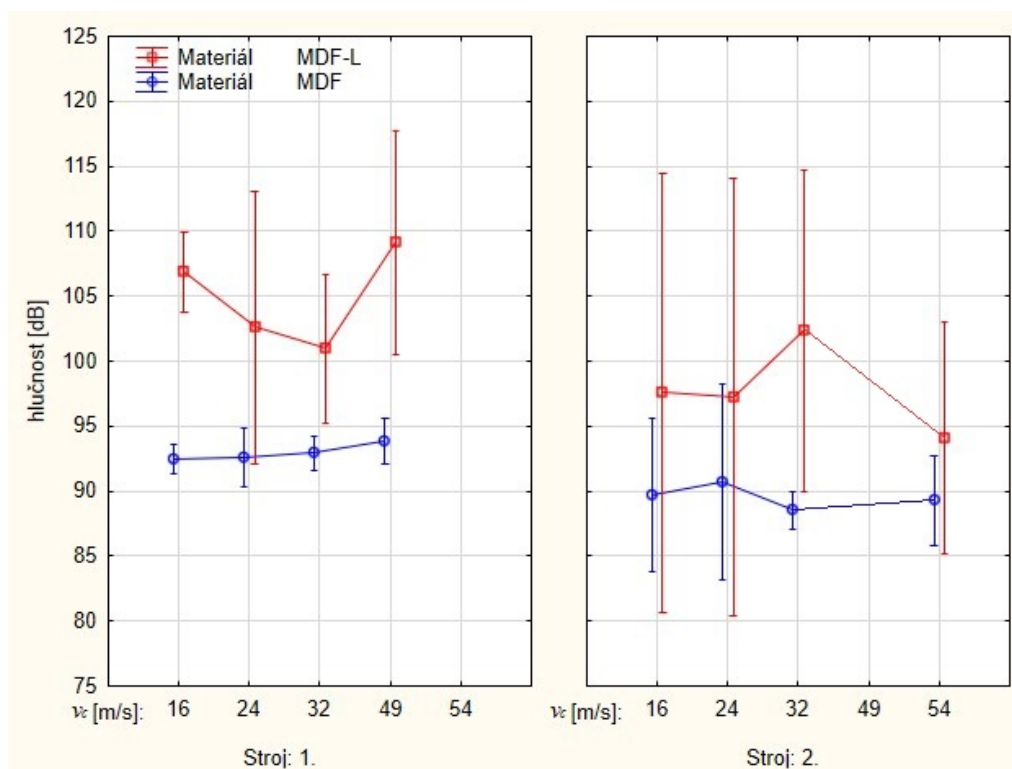
Stroj 2. - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)

Vliv obráběného materiálu na hlučnost je zcela jednoznačný. Výsledky statistické analýzy ANOVA potvrzují, že tento má faktor statisticky velmi významný vliv na hlučnost frézování ($P=0,000$). Při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky s laminací byla naměřena hlučnost o 10,9% vyšší, než při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky bez laminace. Domnívám se, že je to způsobeno tvrdým materiálem laminace. Laminace není odřezávána jako středně tvrdá dřevovláknitá deska, ale je žiletkovými noži odlamována.



Obrázek 18 - Vliv frézovaného materiálu na hlučnost při frézování

Vliv řezné rychlosti na hlučnost je rozdílný jak u jednotlivých strojů, tak u materiálů. Z Duncanova testu (Tabulka 8) lze vidět, že statisticky významných bylo prokázáno jen 23,3% měřených případů. Při frézování MDF na stroji 1. Lze vidět takřka lineární závislost hlučnosti na řezné rychlosti. U MDF-L už to tak zcela není. Nicméně právě u frézování MDF-L je nejvíce statisticky významných kombinací.



Obrázek 19 - - Vliv řezné rychlosti (v_c) na hlučnost při frézování

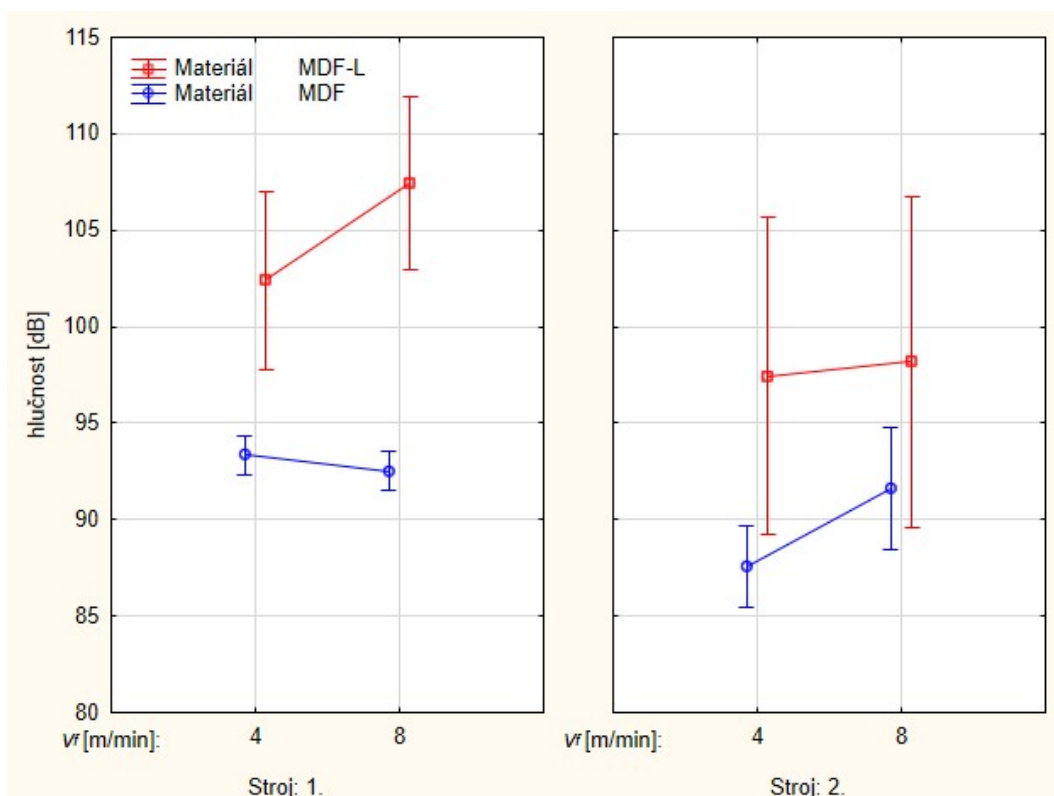
Stroj 1. – Spodní svislá frézka FVS , ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

Stroj 2. - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)

Tabulka 8 - Duncanův test vlivu řezné rychlosti na hlučnost

Stroj	v_c [m/s]	Materiál	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}
1	16	MDF	92,45	106,87	92,58	102,62	92,93	100,97	93,80	109,15	89,73	97,60	90,75	97,18	88,53	102,35	89,27	94,08
1	16	MDF-L	0,016		0,016	0,395	0,018	0,286	0,025	0,647	0,004	0,101	0,007	0,092	0,002	0,397	0,003	0,027
1	24	MDF	0,979	0,016		0,091	0,944	0,151	0,820	0,005	0,607	0,386	0,731	0,418	0,484	0,097	0,560	0,787
1	24	MDF-L	0,089	0,395	0,091		0,100	0,757	0,131	0,220	0,032	0,365	0,048	0,339	0,020	0,957	0,027	0,138
1	32	MDF	0,928	0,018	0,944	0,100		0,163	0,862	0,006	0,574	0,412	0,694	0,443	0,454	0,106	0,527	0,829
1	32	MDF-L	0,149	0,286	0,151	0,757	0,163		0,206	0,148	0,060	0,500	0,085	0,478	0,039	0,781	0,051	0,213
1	49	MDF	0,808	0,025	0,820	0,131	0,862	0,206		0,009	0,483	0,493	0,592	0,526	0,374	0,137	0,440	0,955
1	49	MDF-L	0,005	0,647	0,005	0,220	0,006	0,148	0,009		0,001	0,043	0,002	0,039	0,001	0,218	0,001	0,009
2	16	MDF	0,610	0,004	0,607	0,032	0,574	0,060	0,483	0,001		0,187	0,838	0,208	0,822	0,035	0,925	0,459
2	16	MDF-L	0,380	0,101	0,386	0,365	0,412	0,500	0,493	0,043	0,187		0,247	0,247	0,933	0,133	0,373	0,165
2	24	MDF	0,733	0,007	0,731	0,048	0,694	0,085	0,592	0,002	0,838	0,247		0,272	0,690	0,052	0,781	0,565
2	24	MDF-L	0,414	0,092	0,418	0,339	0,443	0,478	0,526	0,039	0,208	0,933	0,272		0,149	0,351	0,184	0,535
2	32	MDF	0,491	0,002	0,484	0,020	0,454	0,039	0,374	0,001	0,822	0,133	0,690	0,149		0,022	0,883	0,353
2	32	MDF-L	0,096	0,397	0,097	0,957	0,106	0,781	0,137	0,218	0,035	0,373	0,052	0,351	0,022		0,030	0,144
2	54	MDF	0,566	0,003	0,560	0,027	0,527	0,051	0,440	0,001	0,925	0,165	0,781	0,184	0,883	0,030		0,417
2	54	MDF-L	0,775	0,027	0,787	0,138	0,829	0,213	0,955	0,009	0,459	0,509	0,565	0,535	0,353	0,144	0,417	

Vliv podávací rychlosti na hlučnost byl Duncanovým testem vyhodnocen jako statisticky významný v 42,9% měřených případech. Změna podávací rychlosti z 4 m/min na 8 m/min se u porovnávaných strojů projevila v podstatě opačným směrem. Zatímco u stroje 1. je při frézování MDF-L hlučnost vyšší o 4,9%, u stroje 2. je zvýšení hlučnosti jen o 0,7%. Při frézování MDF na stroji 2. byla hlučnost zvýšena o 4,6%, u stroje 1. byla snížena o 0,9%.



Obrázek 20 - Vliv podávací rychlosti (v_f) na hlučnost při frézování

Stroj 1. – Spodní svislá frézka FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

Stroj 2. - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)

Tabulka 9 - Duncanův test vlivu podávací rychlosti na hlučnost

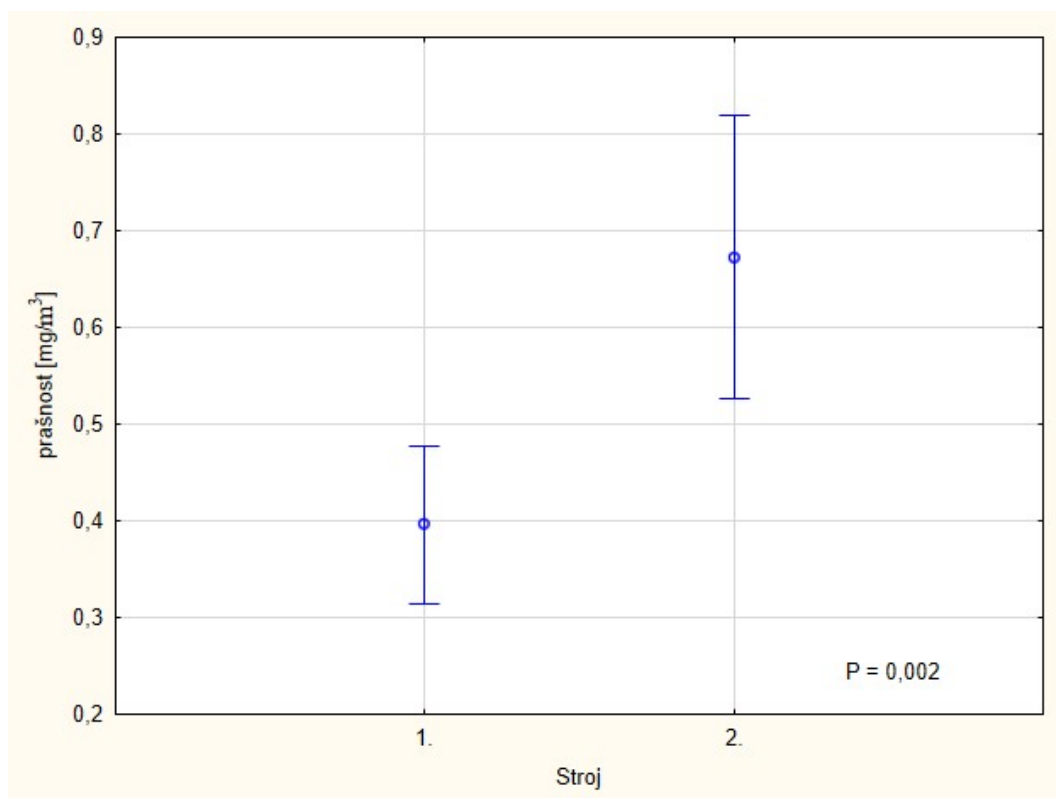
	Stroj	v_f [m/min]	Materiál	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
				93,36	102,40	92,53	107,40	87,54	98,44	91,60	98,17
1	1.	4	MDF		0,020	0,813	0,000	0,136	0,249	0,641	0,202
2	1.	4	MDF-L	0,020		0,013	0,159	0,000	0,188	0,007	0,232
3	1.	8	MDF	0,813	0,013		0,000	0,186	0,192	0,793	0,148
4	1.	8	MDF-L	0,000	0,159	0,000		0,000	0,010	0,000	0,014
5	2.	4	MDF	0,136	0,000	0,186	0,000		0,012	0,252	0,008
6	2.	4	MDF-L	0,249	0,188	0,192	0,010	0,012		0,134	0,837
7	2.	8	MDF	0,641	0,007	0,793	0,000	0,252	0,134		0,100
8	2.	8	MDF-L	0,202	0,232	0,148	0,014	0,008	0,837	0,100	

Na hlučnost na pracovišti se vztahují určité normy a právní opatření. (zákon 258/2000 Sb.) (nařízení vlády č. 148/2006 Sb.) Je to jeden z faktorů ovlivňující podmínky na pracovišti, kde je třeba dodržovat předpisy bezpečnosti práce a ochrany zdraví. Hlučnost je ve dřevozpracujících závodech všudypřítomná. Vysoká úroveň hluku nebo četnost má následky na fyzické i psychické zdraví. (Owoyemi, a další, 2016) Hlučnost ovlivňují stejné parametry jako obrábění celkově. Především řezná rychlost a podávací rychlost mají velký vliv na hlučnost celého procesu. Se zvyšující se podávací rychlostí se zvyšuje i hlučnost, což potvrzují i další studie. (Çota, a další, 2019) (Çota, a další, 2020) Zároveň velice záleží na vlastnostech obráběného materiálu, na jeho hustotě a tvrdosti. (Çota, a další, 2020) Dalším z faktorů ovlivňující obrábění, který má velký dopad na hlučnost, je použití daných nástrojů a jejich geometrie. (Pangestu, a další, 2021)

5.2 Prašnost

Výsledky statistické analýzy ANOVA ukazují, že statisticky významné ($P < 0,05$) faktory ovlivňující prašnost jsou jen některé.

Vliv použitého stroje na prašnost frézování je z grafu zřejmý a statisticky středně významný ($P = 0,002$). Rozdíl mezi stroji je jasně viditelný. Podle statistické analýzy je stroj 1. o 41,2% méně prašný, což je přesně opačná tendence, než jakou bych očekával. Vzhledem k tomu, že stroj 2. je o několik dekád novější a působí mnohem modernějším dojmem, se stroj ukazuje jako horší.

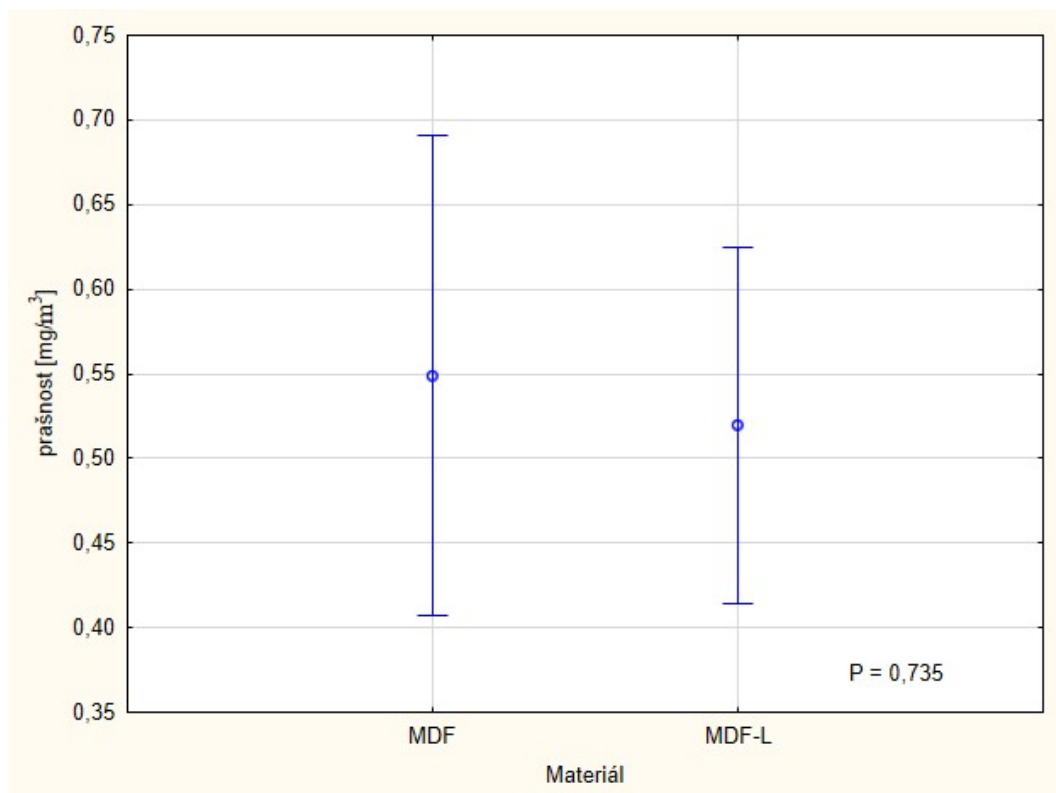


Obrázek 21 - Vliv použitého stroje pro frézování na prašnost

Stroj 1. – Spodní svislá frézka FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

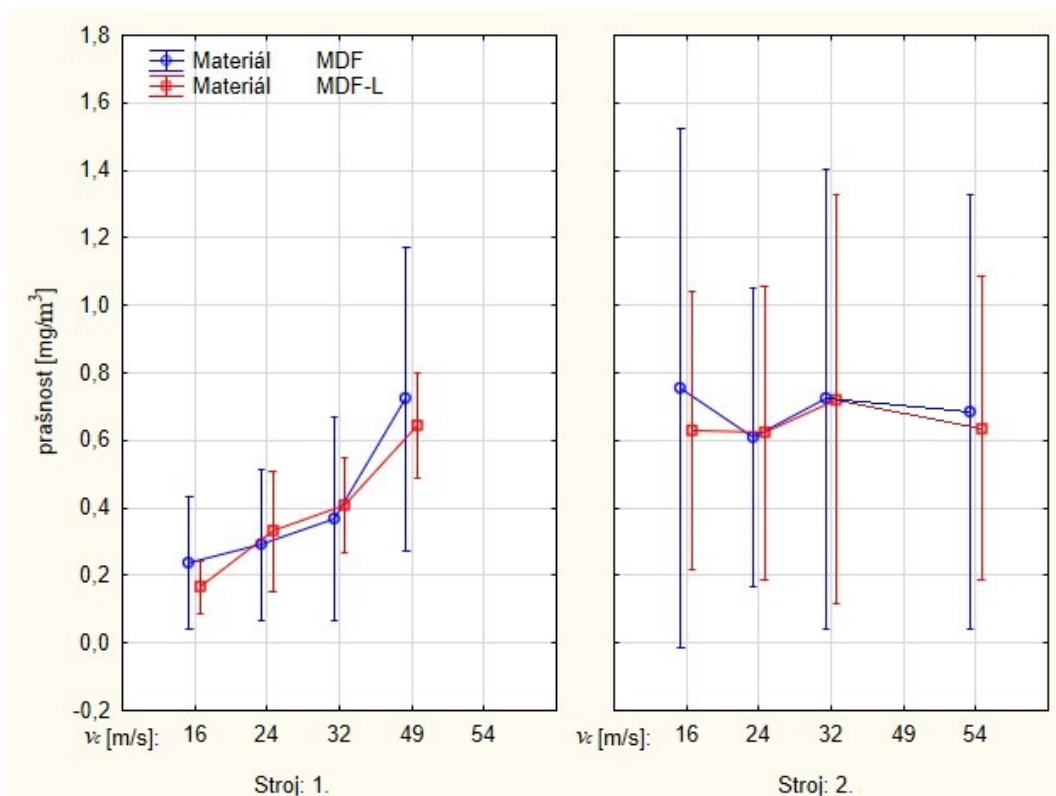
Stroj 2. - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)

Vliv obráběného materiálu na hlučnost není zcela význačný. Výsledky statistické analýzy ANOVA ukazují, že tento faktor nemá statisticky významný vliv na hlučnost frézování ($P=0,735$). Při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky s laminací byla vyhodnocena hlučnost o 5,6% nižší než při frézování středně tvrdé dřevovláknité desky bez laminace.



Obrázek 22 - Vliv frézovaného materiálu na prašnost při frézování

Z následujících grafů je vidět, že při frézování MDF za použití stroje 1. je vliv řezné rychlosti takřka úměrný prašnosti. Při zvýšení řezné rychlosti o 206% se prašnost zvýšila o 204%. Rozdíl prašnosti mezi MDF a MDF-L je u stroje 1. přibližně 10%. Při použití stroje 2. se při změnách řezné rychlosti mění prašnost jen v rozmezí 19%. Nicméně Duncanův test prokázal jen jedno porovnání měřených případů jako statisticky významné, ale jen těsně za touto hranicí.



Obrázek 23 - Vliv řezné rychlosti (v_c) na prašnost frézování

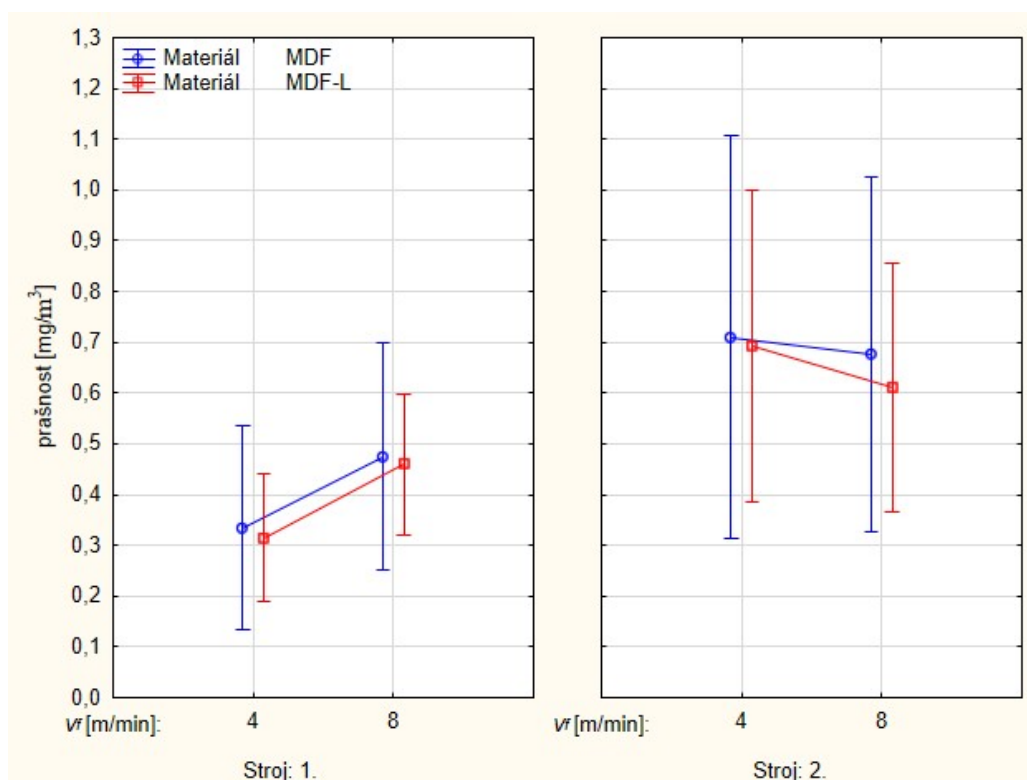
Stroj 1. – Spodní svislá frézka FVS, ED, APT Line II (Tuttligen, Německo)

Stroj 2. - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)

Tabulka 10 - Duncanův test vlivu řezné rychlosti na prašnost

Stroj	v_c [m/s]	Materiál	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	
1	16	MDF	0,238	0,165	0,290	0,331	0,367	0,411	0,723	0,643	0,756	0,630	0,608	0,623	0,724	0,722	0,684	0,636	
2	16	MDF-L	0,760		0,625	0,534	0,460	0,378	0,057	0,099	0,046	0,104	0,114	0,107	0,058	0,057	0,075	0,103	
3	1.	24	MDF	0,828	0,625		0,866	0,765	0,653	0,139	0,220	0,114	0,228	0,244	0,232	0,140	0,138	0,174	0,226
4	1.	24	MDF-L	0,718	0,534	0,866		0,880	0,757	0,178	0,274	0,148	0,282	0,298	0,286	0,179	0,177	0,220	0,280
5	1.	32	MDF	0,629	0,460	0,765	0,880		0,856	0,219	0,328	0,184	0,336	0,347	0,338	0,221	0,217	0,267	0,335
6	1.	32	MDF-L	0,529	0,378	0,653	0,757	0,856		0,278	0,404	0,236	0,411	0,411	0,409	0,280	0,275	0,333	0,411
7	1.	49	MDF	0,098	0,057	0,139	0,178	0,219	0,278		0,766	0,900	0,742	0,692	0,727	0,997	0,996	0,879	0,751
8	1.	49	MDF-L	0,161	0,099	0,220	0,274	0,328	0,404	0,766		0,689	0,961	0,902	0,942	0,770	0,760	0,866	0,975
9	2	16	MDF	0,080	0,046	0,114	0,148	0,184	0,236	0,900	0,689		0,665	0,614	0,648	0,895	0,902	0,796	0,674
10	2.	16	MDF-L	0,168	0,104	0,228	0,282	0,336	0,411	0,742	0,961	0,665		0,933	0,975	0,744	0,739	0,842	0,982
11	2.	24	MDF	0,182	0,114	0,244	0,298	0,347	0,411	0,692	0,902	0,614	0,933		0,952	0,691	0,691	0,791	0,922
12	2.	24	MDF-L	0,172	0,107	0,232	0,286	0,338	0,409	0,727	0,942	0,648	0,975	0,952		0,726	0,725	0,826	0,961
13	2.	32	MDF	0,099	0,058	0,140	0,179	0,221	0,280	0,997	0,770	0,895	0,744	0,691	0,726		0,994	0,883	0,755
14	2.	32	MDF-L	0,097	0,057	0,138	0,177	0,217	0,275	0,996	0,760	0,902	0,739	0,691	0,725	0,994		0,874	0,748
15	2.	54	MDF	0,125	0,075	0,174	0,220	0,267	0,333	0,879	0,866	0,796	0,842	0,791	0,826	0,883	0,874		0,852
16	2.	54	MDF-L	0,166	0,103	0,226	0,280	0,335	0,411	0,751	0,975	0,674	0,982	0,922	0,961	0,755	0,748	0,852	

Vliv podávací rychlosti na hlučnost byl Duncanovým testem vyhodnocen jako statisticky významný pouze v jednom porovnání měřených případů. Změna podávací rychlosti z 4 m/min na 8 m/min se u porovnávaných strojů projevila opačným směrem. Zatímco při frézování MDF za použití stroje 1. se prašnost zvýšila o 45,2% při dvojnásobné podávací rychlosti, při použití stroje 2. se prašnost o 5% snížila. Při frézování MDF-L byla u stroje 1. stejná závislost, při použití stroje 2. se prašnost o 11,7% snížila.



Obrázek 24 - Vliv podávací rychlosti (v_f) na prašnost při frézování

Stroj 1. – Spodní svislá frézka FVS , ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

Stroj 2. - Spodní svislá frézka SCM Class tf 130 (SCM, Rimini, Itálie)

Tabulka 11 - Duncanův test vlivu podávací rychlosti na prašnost

	Stroj	v_f [m/min]	Materiál	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
				0,334	0,315	0,475	0,460	0,710	0,693	0,675	0,612
1	1.	4	MDF		0,907	0,440	0,460	0,057	0,066	0,076	0,140
2	1.	4	MDF-L	0,907		0,396	0,423	0,047	0,055	0,065	0,122
3	1.	8	MDF	0,440	0,396		0,931	0,222	0,246	0,269	0,421
4	1.	8	MDF-L	0,460	0,423	0,931		0,203	0,227	0,253	0,403
5	2.	4	MDF	0,057	0,047	0,222	0,203		0,920	0,847	0,602
6	2.	4	MDF-L	0,066	0,055	0,246	0,227	0,920		0,915	0,653
7	2.	8	MDF	0,076	0,065	0,269	0,253	0,847	0,915		0,708
8	2.	8	MDF-L	0,140	0,122	0,421	0,403	0,602	0,653	0,708	

Výsledky měření prašnosti jsou ovlivňovány stejnými parametry jako obrábění jako takové. Většina parametrů ovlivňující drsnost obrobku má velký vliv i na prašnost celého procesu. Mezi hlavní parametry ovlivňující vlastnosti obrábění jsou obráběcí rychlosti, jak řezná rychlost nástroje, tak i podávací rychlost obrobku. (Očkajová, a další, 2009) Další Parametry ovlivňující obrábění je druh obráběného materiálu, především jeho hustota a tvrdost.

Z výzkumu (Rogoziński, a další, 2017) vyplývá, že složení jednotlivých materiálů na bázi dřeva významně ovlivňuje tvorbu prachu při frézování. Čím menší frakce, ze které je materiál vyroben, tím větší podíl malých a tedy potenciálně nebezpečných částic v prachu bude. Dle zmiňovaného výzkumu vyšla MDF deska s hustotou 750 kg/m³ jako jedna z nejhorších v procentuálním zastoupení frakce prachu v několika třídách: od 2,5 do 10 μm; od 1 do 2,5 μm, dokonce i frakce menší než 1 μm. Velice jemné frakce jsou pro lidské tělo nejhorší, jelikož se snadno vstřebávají. Větší podíl měla jen laminovaná MDF a standardní HDF. Obdobný závěr vychází i z dalších výzkumů. (Kic, a další, 2018) (Kos, a další, 2004)

6 Závěr

Záměrem teoretické části bylo informovat o problematice frézování, materiálu MDF a hygieny práce obecně. Předním cílem této práce bylo zjistit, jestli a jak ovlivňuje změna parametrů frézování hlučnost a prašnost v blízkosti strojního zařízení, případně změna obráběného materiálu.

Výsledky měření ukázaly, že faktory nejvíce ovlivňující hlučnost procesu frézování jsou dva. Je to změna obráběného materiálu, kde se ukázala laminovaná MDF deska jako výrazně horší než surová MDF deska. Druhým důležitým faktorem je podávací rychlost. Změna obráběného materiálu se však neukázala jako důležitý faktor pro ovlivnění prašnosti. Zde se naopak ukázalo, že důležitý faktor je řezná rychlost. MDF deska v porovnání s jinými materiály má velice vysokou prašnost. Z dalších výzkumů vyplývá, že u prašnosti je velice významná frakce.

Přínos této práce pro vědu je shrnutí informací o problematice prašnosti a hlučnosti na pracovišti. Nicméně může posloužit jako základ pro další zpracování této problematiky.

Tato práce připomíná, že z hlediska ochrany zdraví na pracovišti, je velice důležité téma hlučnosti a prašnosti nezanedbávat a myslet na něj i při výběru materiálu pro zpracování. Eliminovat prašnost by se v praxi dala pomocí kvalitního odsávacího systému, volbou jiného materiálu nebo automatizací výroby, aby se zamezilo přítomnosti člověka v blízkosti zdroje prašnosti.

Seznam použitých zdrojů

Citovaná literatura

Bencko, Vladimír. 1998. *Hygiena: učební texty k seminářům a praktickým cvičením.* Praha : Karolinum, 1998. ISBN 80-7184-551-5.

Čížek, Jan. 1985. *Vlastnosti a zpracování třískových a vláknitých desek.* Praha : SNTL, 1985. ISBN 04-840-85.

2009. ČSN EN 316. *Vláknité desky. Definice, klasifikace a značky.* 2009.

Dillinger, Josef. 2007. *Moderní strojírenství pro školu a praxi.* Praha : Europa Sobotáles, 2007. ISBN 8086706191.

Gaff, M. a Gáborík, J. 2009. *Vlastnosti povrchu dřeva modifikovaného reliéfováním.* Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2035-6.

Hoadley, R. Bruce. 1990. *Identifying Wood: Accurate Results With Simple Tools.* Newtown : Taunton Press, 1990. ISBN 978-0942391046.

Jaroslav Hrázský, Pavel Král. 2007. *Kompozitní materiály na bázi dřeva: Část I, Aglomerované materiály.* Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-034-3.

Kvietková, Monika. 2015. *Obrábění dřeva.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015. ISBN 978-80-213-2604-0.

Miroslav Rousek, Zdeněk Kopecký. 2005. *Monitoring of power consumption in high-speed milling. Drvna Industrija.* 2005.

nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Porovnanie opotrebenia drevo rezného nástroja z rýchloreznej a nástrojovej ocele pri frézovaní smreka. Adamcová, E. 2010. 2010, Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva, stránky 13-21.

Požgaj, Alexander. 1993. *Štruktúra a vlastnosti dreva.* Bratislava : Príroda, 1993. ISBN: 80-07-00600-1.

Prokeš, S. 1982. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva.* Praha : SNTL, 1982.

Siklienka, M. a Kminiak, R. 2013. *Delenie a obrábanie dreva.* Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2013. ISBN 9788022828451.

2003. Vyhláška 432/2003 Sb. místo neznámé, Česko : Ministerstvo zdravotnictví, 2003.

Wieloch, G. 2006. Smoothing of profiles on surfaces of MDF Boards by friction method with the rotational Tools. *Wood Research.* 2006, stránky 50-55.

Zuzana Jamberová, Marek Vančo, Štefan Barčík, Milan Gaff, Hana Čekovská, Jiří Kubš, Lukáš Kaplan. 2016. Influence of Processing Factors and Species of Wood on Granulometric Composition of Juvenile Poplar Wood Chips. *BioResources.* 2016.

Internetové zdroje