ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva

PVD POVLAK A JEHO VLIV NA ENERGETICKOU NÁROČNOST PŘI FRÉZOVÁNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Marek Rychtář, DiS.

Školitel: Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

Praha 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marek Rychtář, DiS.

Dřevařské inženýrství

Název práce

PVD povlak a jeho vliv na energetickou náročnost při frézování

Název anglicky

PVD coating and its impact on energy consumption during milling

---

Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je zjištění vlivu naneseného povlaku na energetickou náročnost při frézování. Žiletkový nůž s povlakem bude porovnán s klasickým žiletkovým nožem, který je vyroben ze stejného materiálu jako jádro povlakovaného nože.

Metodika

Postup práce spočívá v provedení literární rešerše, změření vlivu povlaku nástroje na energetickou náročnost. Materiál (MDF s jednostrannou laminací) se bude frézovat na spodní jednovřetenové frézce. Energetická náročnost se bude zaznamenávat vždy po určitém zatížení frézovacího nože.

Doporučený rozsah práce

50-70 stran textu

Klíčová slova

Frézování; energetická náročnost; řezná hrana; povlak materiálu

Doporučené zdroje informací

Barcík,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

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „PVD povlak a jeho vliv na energetickou náročnost při frézování‘‘, vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a na základě konzultací a doporučení školitele.

Souhlasím se zveřejněním diplomové práce dle zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 19.04.2020 ……...

Podpis

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph.D. za pomoc, odborné rady, připomínky a za jeho ochotu, kterou mi poskytl při zpracování této práce.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je zjištění vlivu otupení PVD povlaku řezné hrany na energetickou náročnost při válcovém frézování deskových materiálů. Materiálové zástupce byly vybrány jednostranně laminovaná MDF deska a oboustranně laminovaná DTD deska. Bylo aplikováno různých druhů materiálů nástrojů (5086 a CrTiN), mezi kterými je použit i nástroj s povlakem. Na základě výběru nástroje byl zjištěn vliv otupení řezné hrany na energetickou náročnost obráběcího procesu. Energetická náročnost byla zaznamenána vždy po určité odfrézované délce při daném nástroji. Energetická náročnost má vliv na ekonomiku celého procesu. Z hlediska výzkumu se ve vztahu k energetické náročnosti jeví výhodněji nástroj s povlakem CrTiN.

Klíčová slova

Frézování, energetická náročnost, řezná hrana, povlak materiálu

Abstract

The aim of this thesis is to determine the effect of blunting PVD of the cutting edge coating on the energy performance of cylindrical milling of plate materials. The material representatives were selected on one side laminated MDF board and on both sides laminated DTD board. Various types of tool materials (5086 and CrTiN) were applied, with a coating tool between them. Based on the tool selection, the effect of dulling the cutting edge on the energy performance of the machining process was found. Energy performance was always recorded after a certain milled length in a given tool. Energy intensity affects the economy of the entire process. From a research perspective, CrTiN-coated tool appears to be more advantageous in terms of energy performance.

Key words

Milling, energy performance, cutting edge, material coating.

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

1 ÚVOD 13

2 CÍLE PRÁCE 14

3 ROZBOR PROBLEMATIKY 15

3.1 Obráběný materiál 15

3.1.1 Materiály na bázi dřeva 15

3.1.2 Středně hustá vláknitá deska 16

3.1.3 Dřevotřísková deska 17

3.2 Frézování 19

3.2.1 Válcové frézování 23

3.2.2 Šroubovicové frézování 24

3.2.3 Úhlové frézování 24

3.2.4 Profilové frézování 25

3.2.5 Kuželové frézování 25

3.2.6 Čelní frézování 26

3.2.7 Výpočet řezné rychlosti 27

3.2.8 Výpočet posuvné rychlosti 27

3.2.9 Výpočet posuvu na zub 27

3.3 Nástroje pro obrábění 28

3.3.1 Materiály pro výrobu nástrojů 28

3.3.2 Metody povlakování 28

3.3.2.1 Metoda PVD 29

3.3.2.2 Metoda CVD 30

3.3.2.3 Čištění a úprava nástrojů před povlakováním 31

3.3.2.4 Vlastnosti povlaků 32

3.4 Energetická náročnost procesu 33

3.4.1 Řezná práce a její členění 35

3.4.2 Členění práce z hlediska pohybu 36

3.4.3 Výpočet výkonu a příkonu 37
4 METODIKA 39
4.1 Použité materiály 39
4.2 Použité nástroje a frézovací hlava 39
4.2.1 Frézovací žiletkové nože 40
4.2.2 Frézovací hlava 41
4.3 Strojní vybavení 41
4.3.1 Frézka 42
4.3.2 Podávací zařízení 43
4.3.3 Formátovací kotoučová pila 44
4.4 Měřící přístroj METREL Power Q plus MI 2392 44
4.5 Příprava zkušebních vzorků 45
4.6 Zjišťování měření hustoty a vlhkosti 45
4.7 Metodika měření energetické náročnosti obráběcího procesu 45
4.8 Použitý software k vyhodnocení naměřených výsledků 46
5 VÝSLEDKY A DISKUZE 48
5.1 Statistické zpracování dat 48
6 ZÁVĚR 55
6.1 Celkové shrnutí 55
6.2 Přínos pro vědu 55
6.3 Přínos pro praxi 56
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 57

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

PVD	physical vapour deposition (fyzikální povlakování)
CVD	chemical vzpour deposition (chemické povlakování)
DTD	dřevotřísková deska
DTDL	dřevotřísková deska - laminovaná
Et al.	Et alii (a kolektiv)
MDF	medium density fibreboard (středně tvrdá vláknitá deska)
MDFL	středně tvrdá vláknitá deska – laminovaná

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Srovnávací frézka (Siklienka et.al 2017).....20

Obr. 2 Spodní jednovřetenová frézka (Siklienkaet.al 2017)…….21

Obr. 3 Horní kopírovací frézka (Siklienka et.al 2017)…….……..22

Obr. 4 Čtyřstranná fréza (Siklienka et.al 2017) 22

Obr. 5 Technologické schéma válcového frézování(Siklienka et.al 2017).....23

Obr. 6 Schéma pro úhlové (Siklienka et.al 2017) 25

Obr. 7 Schéma vytvoření profilu obrobku (Siklienka et.al 2017).....25

Obr. 8 Rozdělení frézování podle polohy a osy otáčení (Siklienka et.al 2017).....26

Obr. 9 Frézovací hlava Felder.....41

Obr. 10 Spodní svislá frézka FVS.....42

Obr. 11 Podávací zařízení Maggi, Steff 2034 ……..……..43

Obr. 12 Přístroj Metrel Power Q plus a schéma jeho zapojení……..44

Obr. 13 Princip záznamu přístroje Metrel Power.....45

Obr. 14 Vliv druhu materiálu na energetickou náročnost. 50

Obr. 15 Vliv druhu nástroje na energetickou náročnost 51

Obr. 16 Vliv odfrézované vzdálenosti na energetickou náročnost ……..….52

Obr. 17: Vliv materiálu, tytu nástroje a odfrézované vzdálenosti na energetickou náročnost při bočním frézování ……..……..…54

Tab. 1: Vlastnosti vybraných povlaků švýcarské firmy Platit 33

Tab. 2: Parametry aplikovaných materiálů 39

Tab. 3: Vlastnosti použitých nástrojů…….…….……...40

Tab. 4: Technické parametry použitých nástrojů.....40

Tab. 5: Cenové srovnání nástrojů.....41

Tab. 6 Vlastnosti spodní svislé frézky FVD, ED, ATP Line II (Německo) 42

Tab. 7: Parametry podavače materiálu Maggi, Steff 2034……..…..43

Tab. 8: Parametry formátovací kotoučové pily SCM SI 300.....44

Tab. 9: Průměrné hodnoty řezného příkonu u materiálu DTD-L.....48

Tab. 10: Průměrné hodnoty řezného příkonu u materiálu MDF-L 49

Tab. 11 Vliv druhu materiálu na energetickou náročnost.....50

Tab. 12 Vliv energetické náročnosti mezi materiály a jejich statistické rozdíly ...50

Tab. 13 Vliv druhu nástroje na energetickou náročnost 51

Tab. 14 Vliv energetické náročnosti mezi nástroji a jejich statistické rozdíly.....52

Tab. 15 Vliv ofrézované vzdálenosti na energetickou náročnost 53

Tab. 16 Vliv energetické náročnosti na odfrézovanou vzdálenost a jejich statistické rozdíly 53

Tab. 17 Vliv spotřeby elektrické energie na cenu…….……54

1 ÚVOD

Dřevo je přírodní materiál skládající se z celulózy, hemicelulózy, ligninu a extraktivních látek s vícestranným využitím. Je možné ho použít jako rostlý materiál nebo na bázi dřeva. Materiály na bázi dřeva je možné rozdělit z více hledisek např. na velkoplošné, konstrukční, aglomerované nebo kompozitní (Böhm et. al.2012). Materiály na bázi dřeva jsou vytvořené za pomoci tlaku a tepla, které působí na dřevní částice a vzájemným slepením a lisováním jsou spojené dohromady. Tyto materiály mají zlepšené některé vlastnosti a tím musí být i lépe upravené nástroje na obrábění.

Dřevo a dřevní materiály lze obrábět několika způsoby. Mezi mechanické způsoby obrábění patří řezání, frézování, okružování, soustružení a vrtání. Při obrábění frézováním dochází k rotačnímu pohybu frézy a tím dochází k úběru vrstvy materiálu a ke změně jeho rozměrů a tvaru (Jamberová et al.,2016).

Pro aglomerované materiály je častější využití nástrojů s povlakem, diamantových nástrojů nebo slinuté karbidy. Povlaky se velmi často nanášejí pomocí metody PVD – Physical Vapour Deposition (fyzikální napařování) nebo CVD – Chemical Vapour Deposition (chemické napařování z plynné fáze). Nástroje s povlakem jsou charakterizované delší výdrží oproti nástrojům bez povlaku. Pro frézování je důležitým faktorem energetická náročnost procesu (Holubář et al. 2009).

Spotřeba energie je zastoupena řezným příkonem, který je významným činitelem výrobního procesu, podílejícího se na nákladech na výrobu výrobku (Quintana et al., 2011; Mandic et al., 2015; Kubš et al., 2011).

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce je zjištění vlivu PVD povlaku a jeho vlivu na energetickou náročnost při frézování. Přičemž byl porovnáván nástroj s povlakem a bez povlaku.

Na základě výsledků se zjišťuje závislost mezi proměnnými faktory:

1. Materiál nástroje: fréza 5086 a fréza CrTiN
2. Obráběný materiál: MDFL, DTDL
3. Otáčky vřetena: 6000 ot/min

Na sledované charakteristiky, které jsou:

1. Množství aktivní energie spotřebované při obrábění.

Výsledky diplomové práce by měly posloužit k vyhodnocení, jak povlak ovlivňuje energetickou náročnost.

Z hlediska praxe je vyhodnocení použitých nástrojů a výběru vhodnějšího z nich s ohledem vlivu na energetickou náročnost.

3 ROZBOR PROBLEMATIKY

Nejvýznamnějším tématem diplomové práce je frézování. Frézování spolu s řezáním patří k nejčastějším způsobům obrábění. Při obrábění dřevních materiálů se používají nástroje s rozdílnými vlastnostmi v závislosti na materiálu. Menší nároky na nástroje se kladou na materiály z rostlého dřeva a více odolné nástroje (tvrdší, nebo nástroje s povlakem) se využívají na aglomerované materiály. Uvedené faktory mají velký vliv na výrobek na jeho kvalitu a také na energetickou náročnost procesu.

3.1 Obráběný materiál

Ve dřevozpracujícím průmyslu se využívá řezivo a aglomerované materiály na bázi dřeva. Aglomerované materiály ovlivnily celkové využití dřevní hmoty. Díky aglomerovaným materiálům výrazně stouplo průmyslové využití dřeva a téměř se přestal používat pojem dřevní odpad. Mezi zásadní přednosti desek patří velkoplošnost, konstantní tloušťka, odstranění anizotropních vlastností dřeva, hladkost povrchu, odstranění vad a lze je povrchově upravovat fóliemi nebo dýhou a imitovat tím strukturu dřeva.

V České Republice se výrobou aglomerovaných materiálů zabývají např. Středomoravské dřevařské závody v Břeclavi, Dřevozpracující družstvo Lukavec, Jihlavské dřevařské závody – Kronospan, Jihočeské dřevařské závody Volary a spousty dalších (Böhm et al., 2012).

3.1.1 Materiály na bázi dřeva

Mezi hlavní představitele materiálů na bázi dřeva lze pokládat:

I. Překližované materiály.
II. Třískové desky.
III. Vláknité desky.
IV. Vrstvené dřevo.
V. Lepené lamelové dřevo.

VI. Zhuštěné dřevo.

VII. Modifikované dřevo.

Existuje více variant, podle kterých lze materiály s podstatou dřeva začlenit.

Hlavním záměrem, který vedl k vývoji materiálů na bázi dřeva, bylo úsilí o výrobu produktů využívajících kladné vlastnosti dřeva jako např. izolační vlastnosti, lehká opracovatelnost, žádoucí působení vzhledem k prostředí, malé výrobní požadavky na energii a současně překonávajících jeho nedostatky.

Při výrobě velkoplošných materiálů se dřevo nejdříve rozloží na drobné kusy, tyto drobné kusy se pak slučují do jediného bloku s utříděním podle požadavků na výsledný produkt. Takto lze získat menší vlhkostní roztažnost. Materiály na bázi dřeva, identicky jako aplikovaná výrobní surovina, vykazují anizotropní chování, na rozdíl od dřeva lze stupeň anizotropie aglomerovaných materiálů regulovat.

Mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálů na bázi dřeva mají významný vliv na veškeré výrobní parametry. Mezi často opakované lze uvést: druh dřeviny, vlhkost, geometrie, orientace, formování a kvalita třísek, typ a množství použitého lepidla a přídavných látek a lisovací faktory. Většinou platí, že se zmenšující se velikostí částic se vylepšuje uskutečnitelnost jejich formování, jehož výsledek je stoupající hustota vytvářeného materiálu (Böhm et. al.2012).

3.1.2 Středně hustá vláknitá deska

U každého typu dřevovláknitých desek je primární vstupní surovinou jakostní bílá štěpka z odkorněného, převážně jehličnatého dřeva. Ideální velikost štěpky je 20-30 mm šířka, 40-50 mm délka a 3-5 mm tloušťka. Pro zhotovení vláknitých desek není možné uplatňovat piliny.

Před skutečným rozvlákňováním musí být štěpky roztříděné na plošných vibračních síťových třídičích, kde je odstraněna hrubá i jemná frakce a díky několikastupňových magnetických oddělovačů jsou zlikvidovány kovové příměsi. Vybrané štěpky se propírají v pračkách, aby došlo k vymýcení subtilních nečistot.

Následující výrobní operací je rozvláknění štěpek na samostatná vlákna nebo seskupení vláken. Pomocí tlakového předehřívače jsou změkčené štěpky

vtlačovány do rozvlákňovací drtící komory, ve které dojde mezi pevným a rotujícím drážkovaným diskem k roztřídění štěpek na vlákna a nastává mokrá vodní suspenze (Böhm et al., 2012).

Dřevovláknité desky vyráběné mokrým způsobem. Rozvlákňováním dřeva a jiných lignocelulózových surovin se získávají samostatné vlákna, častěji svazky vláken, které tvoří základní stavebně konstrukční jednotky vláknitých výrobků. Vlastnosti vlákna a také spotřeba energie při rozvlákňování jsou závislé na použitých měřících nástrojů, tlaku a času jeho trvání, teploty, vlhkosti, případně použitých chemikálií (Očkajová, Kučerka, 2011).

V dnešní době se nabízí několik druhů dřevovláknitých desek v síle od 6 mm až do 120 mm. Měkké vláknité desky jsou aplikovány především jako tepelná a zvuková izolace. Desky jsou doručovány v normalizovaných formátech s rovnou hranou nebo úpravou hran (Böhm et al., 2012).

Polotvrdé dřevovláknité desky, většinou označované jako MDF desky (desky se střední hustotou vláken), mají hustotu od 400 do 900 kg/m^3.

Podstatným znakem MDF je sourodost veškerého průřezu desky, která dovoluje dokonalé jakostní opracování frézováním reliéfů do ploch desek a profilování boků desek. U tohoto druhu desek je také příznivě klasifikován relativně veliký význam pevnosti v tahu kolmo na plochu.

MDF desky jsou aplikovány tam, kde nedostačují běžné typy dřevotřískových desek, které jsou lacinější, ale mají nehomogenní uspořádání. Četné využití tohoto materiálu je ve výrobě nábytku, kde bývají uplatňovány desky s hustotou cca 650 kg/m^3. (Böhm et al., 2012).

3.1.3 Dřevotřísková deska

Dřevotřísková deska je tvořená třemi vrstvami s všesměrně rozloženými třískami. Pojivem je ve všech vrstvách kvalitní a nezávadné umělé pojivo na bázi pryskyřice. Využití najde nejen ve stavebnictví a nábytkářství, ale také v obalovém průmyslu (Kron, 2019).

Uplatněním výroby dřevotřískových desek se hlavním postupem změnila možnost používání reliktního dřeva všeho druhu, které bylo v minulosti použito pro

energetické účely. Dřevotřískové desky jsou v přítomnosti nejvíce rozšířeným a nejvíce vytvářeným kompozitním materiálem (Böhm et al., 2012).

Dřevotřískové desky se dělí podle:

Způsobu výroby:

- plošně lisované
- výtlačně lisované – plné nebo vylehčené

Stavu povrchu:

- surové (nebrousitelné)
- broušené nebo hoblované
- upravené - kapalnými látkami (lakem)
  - nalepením pevného materiálu (dýha, folie atp.)

Tvaru:

- ploché
- s profilovaným povrchem
- s profilovanými bočními plochami

Velikosti a tvaru částic:

- třískové desky
- desky z velkoplošných třísek
- desky z dlouhých tenkých orientovaných třísek (OSB)
- desky z jiných třísek

Struktury desky:

- jednovrstvé
- vícevrstvé

Použití:

- desky na všeobecné účely
- desky na vnitřní zařízení do suchého prostředí
- desky na nosné a vyztužovací účely ve stavebnictví

- desky na speciální účely (se zvýšenou odolností proti biotickým vlivům, desky se zvýšenou ohnivzdorností, akustické desky), (Očkajová a Kučerka, 2011).

Dřevotřískové desky se začaly ve světě vyrábět koncem čtyřicátých let minulého století. Zhruba od poloviny šedesátých let se všeobecně kvalita DTD zlepšovala, byly prosazovány vhodné nástroje a stroje pro precizní a kvalitní obrábění. Byly také vyřešeny nové typy konstrukčních spojů a kování. DTD se staly celosvětově značně uplatňovaným materiálem pro vybavení interiéru (Böhm et al., 2012).

Výroba dřevotřískových desek.

Vyrábění dřevotřískových desek je docela náročný proces, který požaduje investice i spousty miliard Kč.

Z ekonomických příčin výrobci usilují o získání co nejlacinější základní suroviny, proto nakupují piliny, hnědou štěpku, pilařské odřezky a použité dřevo. Nakupují se veškeré druhy dřevin získatelné za nižší cenu. Pro výrobu 1 m3 třískový desek se udává spotřeba 1,4 – 1,7 m3 dřeva (Böhm et al., 2012).

Vlastní výroba veškerých druhů dřevotřískových desek se vytváří z výroby třísek, jejich úpravy, nanášení lepidla a lisování. Vyrábějí se převážně jako třívrstvé. Uprostřed desek jsou rozloženy velké třísky, které zabezpečují soudržnost desky. Povrchové vrstvy jsou homogennější, vyrobené z jemných třísek pro zaručení hladkého povrchu (Böhm et al., 2012).

3.2 Frézování

Frézování je nejrozšířenější metodou tvarování dřeva, kterou v porovnání s řezáním se získává lepší kvalita povrchu a vyšší rozměrová přesnost. Uplatňuje se v různých modifikacích – od vyrovnání povrchu až po složité tvarování povrchu obrobku. (Gaff, 2012).

Frézování je proces řezání dřeva s řeznými hranami na obvodě rotujícího nástroje, s posunutím dílce leckdy ve směru kolmém na osu otáčení nástroje, při úběru e

(hloubka odebírané vrstvy) menší jako hloubka obrobku h0 a poloměru nástroje R (Siklienka et al., 2017).

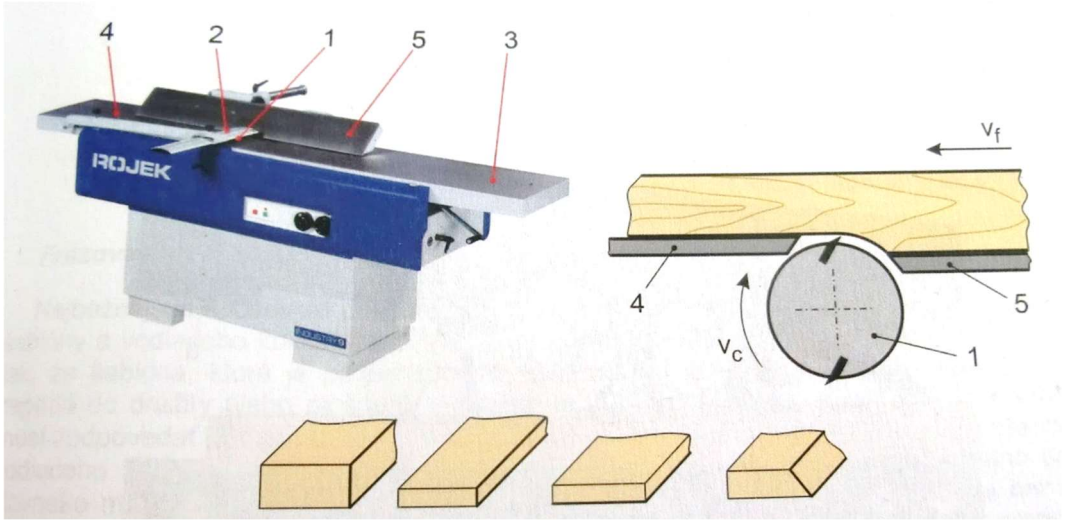
Frézovací stroje se řadí mezi nejrozšířenější a nejvýkonnější obráběcí stroje. (Borský, 1991).

Cílem frézování obrobku je třísko-tvorný proces na vyžadovaný rozměr, tvar a povrchovou kvalitu. V praxi je frézování prosazovanou technologií obrábění dřeva za účelem:

- **Srovnání křivých ploch**.

Tento proces se realizuje na srovnávacích frézkách a je určen na srovnání základní plochy, nebo boku desek, fošen, přířezů, spárovek apod. Srovnává se zpočátku plocha a následně bok obrobku (Siklienka et al., 2017).

Schéma srovnávací frézky je znázorněné na obr. 1.



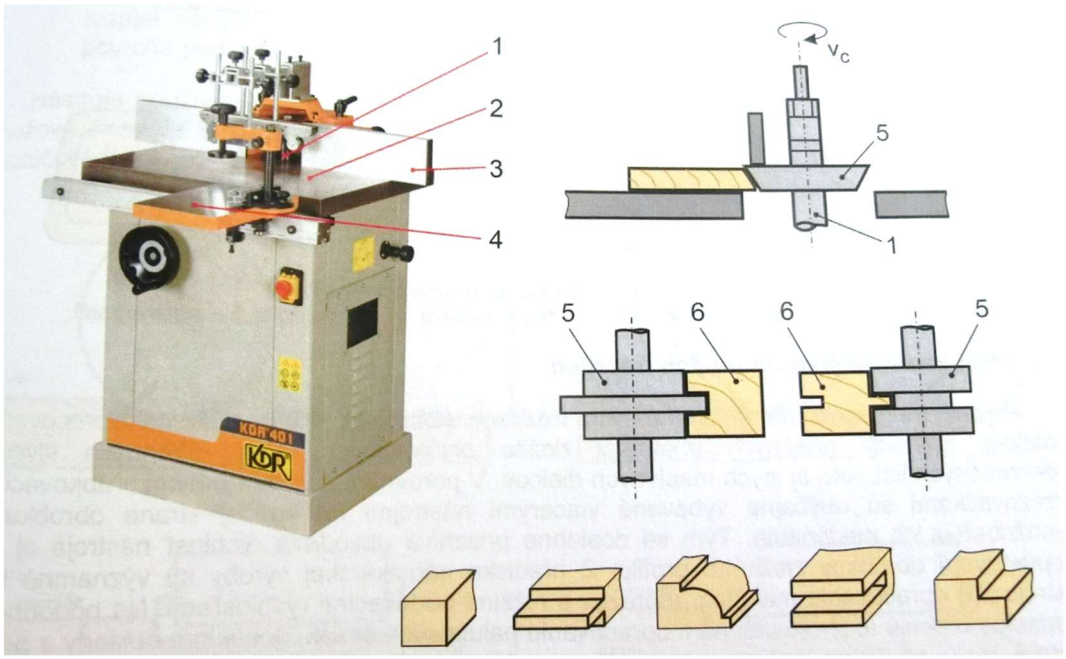
Obr. 1: Ukázka srovnávací frézky, kde jsou číslicemi označeny jednotlivé komponenty - 1.nožová hřídel, 2.kryt hřídele, 3. přední stůl, 4. zadní stůl, 5. pravítko (Siklienka et al., 2017)

- **Tloušťková egalizace.**

Je určena k frézování dílců na jmenovitou tloušťku, případně šířku. Velikost, na který se přířez upravuje, je stanovený vzdáleností mezi nožovou hřídelí a přestavitelným stolem.

- **Tvarové a profilové frézování na spodních frézkách.**

Rozsah operací je obrovský a rozmanitý, závisí na použitém druhu přípravku a nástroje.

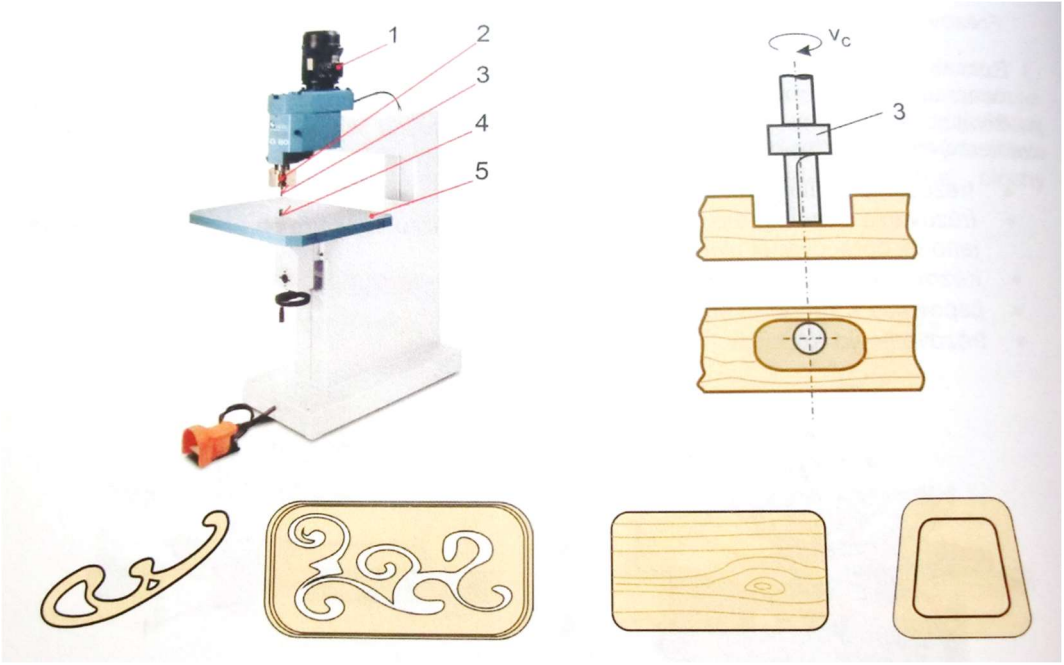


Obr. 2: Ukázka spodní jednovřetenové frézky, kde je znázorněné - 1. vřeteno pro osazení frézy, 2. pracovní stůl, 3. vodící pravítko, 4. čepovací vozík, 5. fréza, 6. obrobek (Siklienka et al., 2017)

Jako nástroje se aplikují různé druhy fréz, pilové kotouče a brusné válce. Na obrázku 2 je znázorněná spodní jednovřetenová frézka.

- **Tvarové a profilové frézování na vrchních frézkách.**

Způsob tkví v přenášení tvaru ze šablony na obrobek tak, že šablona, která je pevně spojená s obrobkem je řízená vodícím kolíkem, který zachází do drážky nebo plošného vybrání na její spodní straně (Siklienka et al., 2017). Na obrázku č. 3 se nachází horní kopírovací frézka.

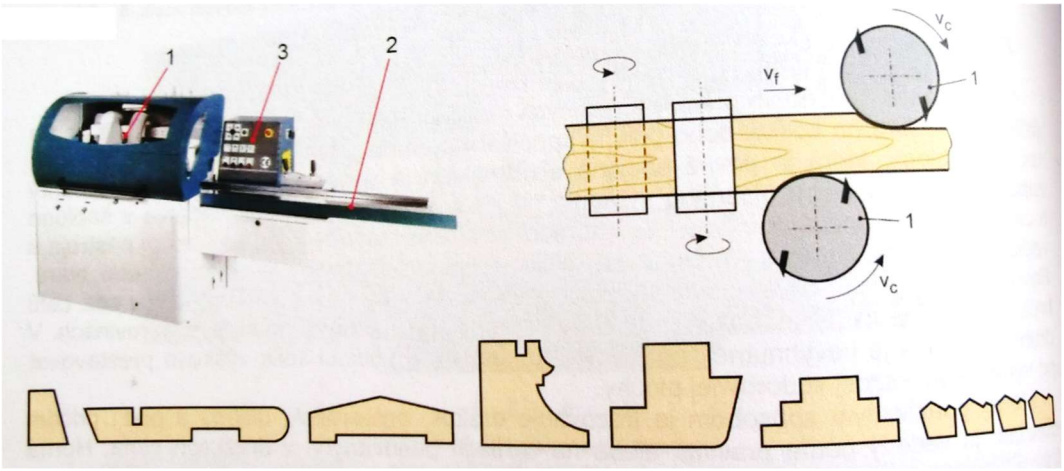


Obr. 3: Ukázka horní kopírovací frézky (Siklienka et al., 2017)

1.motor, 2. sklíčidlo, 3. stopková fréza, 4. vodící kolík, 5. pracovní stůl.

- **Čtyřstranné frézování.**

Slouží na opracování dílců menších příčných přířezů složitě profilovaných (obrázek 4) např. okenních vlysů, dekoračních lišt a jiných masivních dílců (Siklienka et al. 2017).



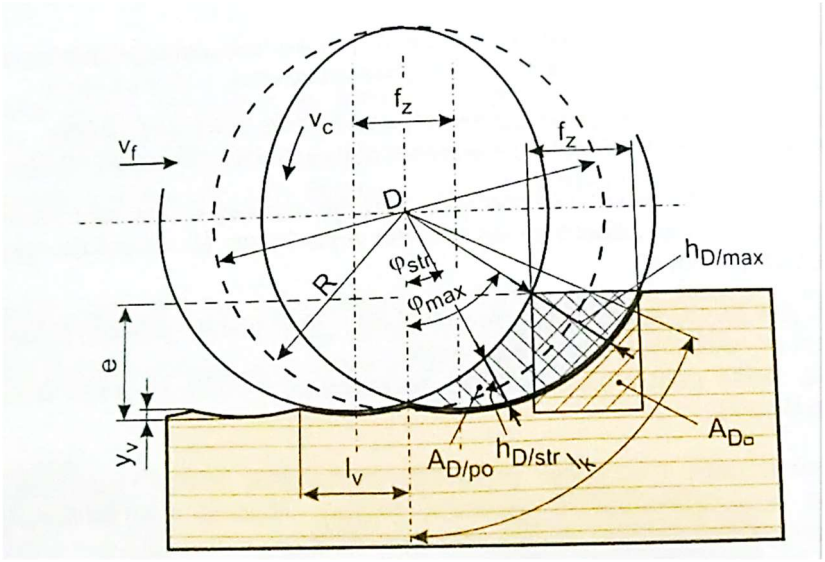
Obr. 4: Ukázka čtyřstranné frézy, kde znázorňuje - 1. frézovací hlava, 2. pracovní stůl, 3. řídící jednotka (Siklienka et al., 2017)

Základní pojmy vyskytující se při frézování:

- Obráběná plocha – je plocha, z níž se ubírá určitá vrstva materiálu, která se mění v třísku.
- Plocha řezu – je plocha, která se vytváří na obrobku břitem nástroje a tvoří přechod mezi obrobenou a obráběnou plochou.
- Obrobená plocha – jde o nově vzniklý povrch vytvořený odebíráním materiálu

3.2.1 Válcové frézování

Kinematický proces frézování je shodný s řezáním pilovými kotouči. Tyto metody obrábění se diferencují pouze určením a řezným nástrojem. Pokud je řezání určené pro dělení materiálu na části, frézování se používá pro získání požadovaného tvaru, rozměrů a kvality obrobené plochy (Siklienka et al., 2017).



Obr. 5 Technologické znázornění válcového frézování: D průměr nástroje, R poloměr nástroje, v_c řezná rychlost, v_f posuvná rychlost, e úběr, f_z posuv na řeznou hranu, l_v délka vlny, y_v výška vlny, l_k délka konstantního oblouku.

Při válcovém frézování se jako nástroj používají nožové hřídele, kotoučové frézy a stopkové frézy. Frézy bývají celistvé, s vyměnitelnými noži a soupravové.

Při válcovém frézování je odřezávaná nominální tloušťka vrstvy, odřezávaná řeznými hranami na obvodě frézy. Reálná tloušťka odřezávané vrstvy se střídá při souběžném frézování z maximální tloušťky od nuly a při protiběžném frézování od nuly do největší tloušťky (Siklienka et.al 2017).

3.2.2 Šroubovicové frézování.

Pro šroubovicové frézování dřeva jsou stanovené tenké nože tloušťky 0,6-1,0 mm, kterých šroubovitý tvar se určí bezprostředně na nožové hřídeli vložením do šroubovité drážky. Šroubovitá fréza může být i celistvá. Fréza se vyznačuje rozestupem řezných hran obvodovým t_{ob} a osovým t_{os} a též úhlem sklonu řezných hran rovnající se úhlu stoupání.

$$t_{ob} = \frac{\pi * D}{z} \quad (\text{mm}) \qquad (1)$$

Kde:

t_{ob} – obvodový rozestup řezných hran

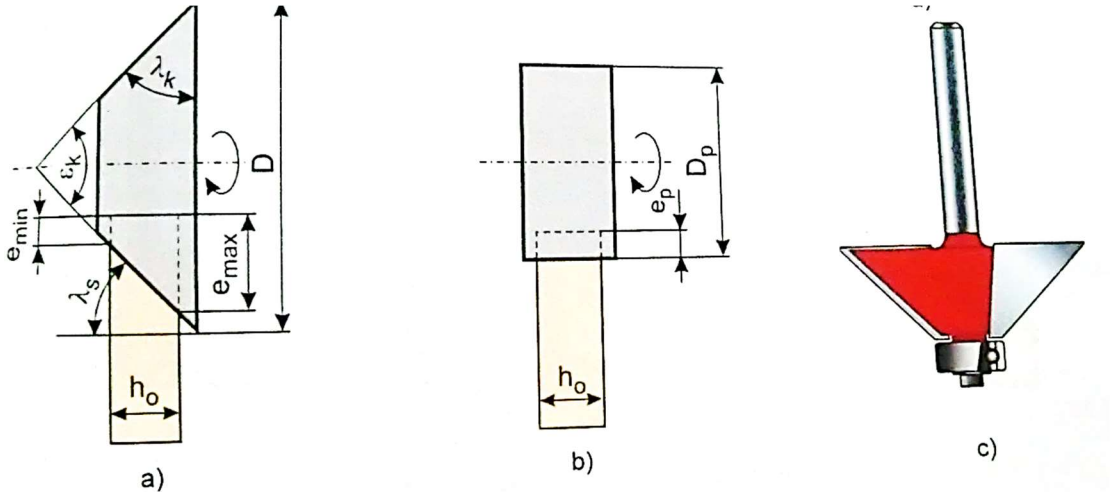
z – počet řezných hran fréz

Nyní se tyto celistvé nože zaměňují řeznými plátkami upravenými po šroubovici na nožové hřídeli anebo nožové hlavě.

Pro hodnoty tloušťky třísky je považována závislost jako pro přímé řezné hrany. Jmenovitá tloušťka odřezávané vrstvy je podobu řezání také přeměnná a rovná se místní jmenovité tloušťce přířezu třísky odpovídající lokálnímu úhlu a posuvnému pohybu (Siklienka et al., 2017).

3.2.3 Úhlové frézování

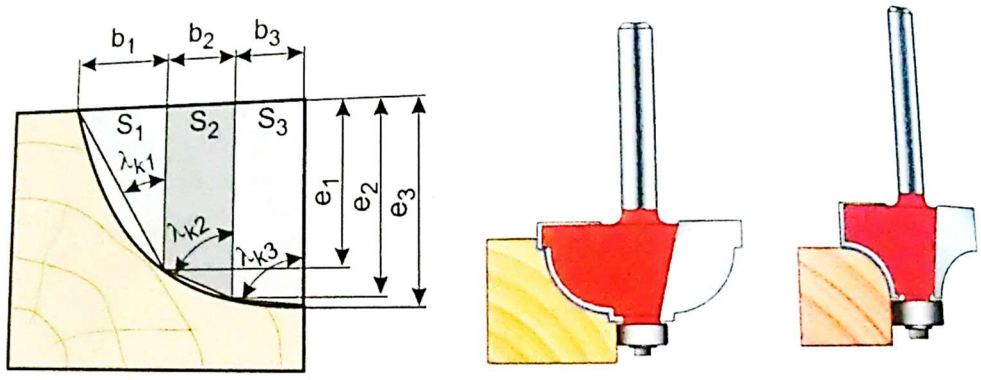
Jednostranné úhlové frézování smí být uskutečňované kotoučovými i stopkovými frézami. Při úhlovém frézování řezné hrany frézy svírají s osou otáčení ostrý úhel, opisující v prostoru kuželové povrchy a pracující při proměnném úběru (Siklienka et al., 2017).



Obr. 6: Ukázka schématu pro úhlové frézování, kde a, úhlové frézování, b, přepočítané válcové frézování, c, kuželová stopková fréza (Siklienka et al., 2017)

3.2.4 Profilové frézování

Při profilovém frézování se získává křivého povrchu. Pro splnění výpočtů se pro podmínky žádaného profilu využívají podmínky úhlového frézování (Siklienka et al., 2017). Na obrázku 7 je nakreslen princip zformování profilu obrobku.



Obr. 7: Ukázka schématu vytvoření profilu obrobku (Siklienka et al., 2017)

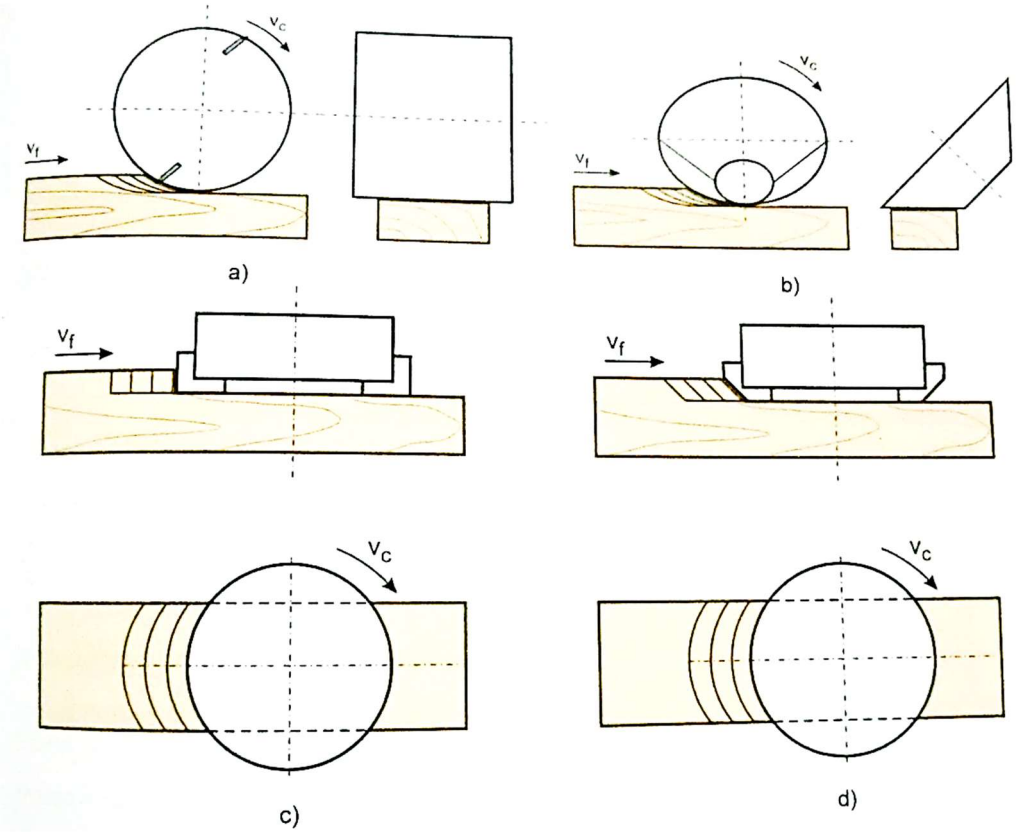
3.2.5 Kuželové frézování

Při kuželovém frézování osa otáčení řezného nástroje vytváří ostrý úhel s obráběným povrchem, řezné hrany opisují v prostoru kuželové plochy a odřezávají nadmíru konstantní tloušťky. Frézování se aplikuje pro získání plochých povrchů s výškou nerovností 16-30 µm v obrobcích pravoúhlého

průřezu. Při kuželovém frézování na obráběném povrchu fakticky není kinematická nerovnost (Siklienka et al., 2017).

3.2.6 Čelní frézování

Čelní frézování se využívá pro získání plochých povrchů obrobků pomocí frézy, které osa otáčení je kolmá na obráběný povrch (obr. 8). Toto frézování má hodně společného s řezáním řezným kotoučem. Čelní fréza má šikmé boční řezné hrany a čelní řezné hrany. Boční řezné hrany plní primární funkci odřezání nadmíry a čelní řezné hrany začišťují obráběný povrch (Siklienka et al., 2017).



Obr. 8: Ukázka rozdělení frézování podle polohy a osy otáčení: a, válcové, b, kuželové, c, čelní, d, čelně-kuželové (Siklienka et al., 2017)

3.2.7 Výpočet řezné rychlosti.

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{60000} \text{ (m/s)} \quad (2)$$

Kde:

D- průměr frézy (mm)

n – otáčky frézy (ot/min)

3.2.8 Výpočet posuvné rychlosti.

$$v_f = \frac{f * n}{1000} = \frac{fz * z * n}{1000} \text{ (m/min)} \quad (3)$$

Kde:

f – posuv na otáčku frézy (mm)

n – otáčky frézy (ot/min)

f_z – posuv na řeznou hranu frézy (mm)

z – počet řezných hran frézy

3.2.9 Výpočet posuvu na zub

$$f_z = \frac{vf * 1000}{n * z} \text{ (mm)} \quad (4)$$

Kde:

v_f – rychlost posuvu (m/min)

n – otáčky frézy (ot/min)

z – počet řezných hran frézy

3.3 Nástroje pro obrábění

V současnosti nelze předpokládat objevení úplně nového řezného materiálu, proto je snaha zaměřena více na specifikaci ideálního použití již známých materiálů, s velmi přesným určením aplikační oblasti. Aplikační oblasti materiálů pro řezné nástroje jsou definovány jejich fyzikálními, chemickými, tepelnými, a mechanickými vlastnostmi (Humár, 2006).

3.3.1 Materiály pro výrobu nástrojů

Soudobé řezné nástroje pro strojní obrábění jsou vytvářené z různých materiálů, nástrojové oceli (nejčastěji rychlořezné), přes slinuté karbidy (bez povlaku nebo tvrdým otěruvzdorným povlakem), cermety, řeznou keramiku až po supertvrdé materiály (syntetický diamant a kubický nitrid boru). Nástroje ze syntetického diamantu jsou poměrně nákladné, proto jsou často aplikovány nástroje s povlakem (Sheikh Ahmad et al., 2003). Široký sortiment materiálů je výsledkem dlouholetého a usilovného výzkumu a vývoje v daném odvětví (Humár, 2006).

3.3.2 Metody povlakování

Povlakové slinuté karbidy jsou vytvářeny tak, že na podklad z normálního slinutého karbidu typu K, P, nebo M se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Tyto příznivé vlastnosti jsou důsledkem zejména z toho, že povlakový materiál neobsahuje pojivo, má o jeden nebo i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturálních defektů a tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Atributy povrchové vrstvy povlaku se významně podílejí na zamezování tvorby nárůstku na břitu nástroje. Postupy povlakování lze rozdělit do dvou základních skupin:

- Metoda PVD (Physical Vapour Deposition –fyzikální napařování), která je vystihována nízkými pracovními teplotami (pod 500°C).

- Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze), která probíhá za vysokých teplot (700-1500°C), (Humár, 2006).

3.3.2.1 Metoda PVD

U metody PVD jsou povlaky zhotoveny za sníženého tlaku (0,1-1,0 Pa) kondenzací částic, které jsou uvolňovány ze zdroje částic fyzikálními metodami rozprašováním nebo odpařováním, některé metody využívají i klasický odporový ohřev. Uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn a záporným předpětím jsou urychlovány k povrchu substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku (Humár, 2006).

Vrstva povlaku je tvořena z jednotlivých dopadajících atomů. Atomy jsou na povrchu nejdříve zachyceny procesy sorpce, hýbající se po povrchu a potom jsou buď zachyceny trvalou vazbou, nebo zpětně uvolněny. Další dopadající atomy se díky pohyblivosti po povrchu mohou spojit vazbou s dříve zachycenými atomy a postupně tak vytvářet ionizované zárodky a ostrůvky rostoucí vrstvy. Ostrůvky se spojují do vytvoření spojité vrstvy, která nabývá a zvětšuje svojí tloušťku (Humár, 2006).

Za nedostatky lze považovat komplikovaný vakuový systém a požadavek pohybu s povlakovanými předměty, aby se dosáhlo rovnoměrného uložení povlaku po celém povrchu. Za pozitivum lze pokládat možnosti povlakování ostrých hran.

- **Naprašování** je uložení částic, oddělených od povrchu zdroje fyzikálním odprašovacím procesem. Mnohdy se uskutečňuje ve vakuu nebo při nízkém tlaku plynu, kdy se odprášené částice dostanou na povrch substrátu bez kolize s molekulami plynu, v prostoru mezi zdrojem a substrátem.

  Naprašování rozčleňujeme na naprašování doutnavým výbojem, magnetonové naprašování, radiofrekvenční naprašování a naprašování iontovým paprskem (Humár, 2006).

- **Napařováním** se nazývá proces, kdy je materiál odpařován z terčů, které jsou ohřívány různými způsoby. Substrát smí být ohříván nebo připojen na požadované předpětí použitím stejného nebo střídavého napájení. Odpařovací zdroje jsou zařazeny podle způsobu ohřevu pro přeměnu z tuhého nebo kapalného stavu do parní fáze. Napařování rozdělujeme na odporové, elektronovým paprskem, obloukové a laserové.

- **Iontová implantace** je hybridní PVD proces povlakování, u kterého je povrch substrátu nebo uchovaný povlak bombardován svazkem částic s vysokou energií. Zdrojem deponovaných složek může být odpařování, odprašování, plyny nebo páry. Reakcí iontů se vytváří povlak, který se umisťuje na povrchu substrátu (Humár, 2006).

3.3.2.2 Metoda CVD

Týká se chemického procesu povlakování, který je vytvořen na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, která se vytváří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. Zásadním požadavkem přitom je, aby výchozí plyny zahrnovaly stabilní, ale přitom prchavou sloučeninu, která se vlivem přivedení energie chemicky rozkládá. Produkty jejího rozkladu jsou pak ukládány na ohřátý povrch povlakovaného předmětu a pracují zde jako katalyzátor. Aby proběhla požadovaná reakce, musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn.

Mezi nejpodstatnější parametry každého povlaku patří jeho soudržnost s podkladem. V závislosti na struktuře, fyzikálních, chemických a mechanických vlastnostech podkladu, typu a tloušťce povlaku a podmínkách povlakování lze na rozhraní podklad – povlak rozlišovat několik charakteristických přechodových oblastí či mezivrstev (Humár, 2006).

3.3.2.3 Čištění a úprava nástrojů před povlakováním

Čištění a úpravu nástrojů před povlakováním lze získat několika způsoby:

- **Broušení.**

  Kvalita břitu a broušených ploch je z pohledu povlakování hodně důležitá pro dobrou adhezi vrstvy. Pokud má břit či povrch ostré nerovnosti nebo zřetelné stopy po broušení, dochází v těchto místech k odlupování povlaku. Důležitým činitelem, který ovlivňuje adhezi povlaku je výběr vhodného brusiva a jeho nosiče.

- **Odmašťování.**

  Je určeno pro odstranění konzervačních a jiných mastných látek z povrchů nástrojů za pomoci průmyslových odmašťovadel na bázi ropných derivátů. Odmašťovací prostředky obsahují nearomatizované uhlovodíky a tenzidy, které zabraňují nadměrnému odpařování a zaručují kvalitní sočivost.

- **Mokré čištění**.

  Koná se pomocí kombinovaných metod s použitím oplachů, ultrazvuku, elektrochemických metod, vakuového sušení nebo odstředění, vyhřátí či odpaření těkavých kapalin. Technologické zařízení vytváří mycí linky s několika samostatnými mycími a oplachovými vanami, případně jednovanové systémy se samočinnou výměnou jednotlivých technologických lázní.

- **Pískování.**

  Pískování je způsob vhodný pro sériovou přípravu substrátů, využívá se i ve speciálních případech. Pískováním lze zlikvidovat nečistoty, které pěvně ulpívají na povrchu, i nečistoty uchycené v mírně pórovitém povrchu. Technologie pískování musí vždy respektovat charakter nástroje, jeho funkční břity a plochy, proto je výběr parametrů pískování a řešení automatizace procesu do značné míry empirickou záležitostí.

- **Odjehlování.**

  Tato metoda se používá zejména u nástrojů z rychlořezných ocelí a je standardně aplikována již u výrobců nástrojů. Používá se ruční odjehlování nebo kartáčování. Jestliže je nástroj určen pro povlakování, neměly by se využívat kartáče s plastovým vlasem, případně některé mosazné kartáče.

- **Odstraňování starých povlaků – stripping.**

  Je vykonáváno chemickou a elektrochemickou metodou a využívá silných oxidačních činidel. Špatně zvolená technologie může způsobit narušení struktury materiálu odleptáním kobaltu.

- **Čištění v průběhu procesu povlakování.**

  Jde o proces čištění na atomární úrovni. Počáteční fází je základní odplynění nástrojů předehřevem ve vakuu. V případě obloukových technologií následuje doutnavý výboj v argonu a iontové čištění pomocí urychlených iontů kovu.

- **Žíhání ve vakuu.**

  Tento postup byl původně určen pro dostatečné odplynění porézních pájek u nástrojů s pájenými břity. Nástroje se po přesnou dobu žíhají ve vakuu při teplotách, které se blíží svlakovacím teplotám. Jedná se o nezávislý proces v technologickém cyklu povlakování, čímž se zabrání možnému znečištění vakuové komory v průběhu samostatného procesu povlakování.

- **Omílání v granulátech.**

  Jedná se o mechanickou úpravu, standardně využívanou i v odlišných oborech, při které se součástka nedobrovolně pohybuje v nádobě naplněné granulátem a abrazivem. U nástrojů ze slinutých karbidů lze touto metodou výrazně vylepšit adhezi povlaku na funkčních polohách nástroje (Humár, 2006).

3.3.2.4 Vlastnosti povlaků

K nejvýznamnějším faktorům, které ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti a tím i řezný výkon povlakovaných tvrdokovů se řadí druh povlaku a jeho tloušťka, metoda povlakování a substrát. Pro řezný výkon je též významná drsnost povrchu povlaku a koeficient tření. Odolnost povlaku proti opotřebení záleží na typu povlaku. Při frézování, kde je břit nástroje podroben rázům, se u

tlustých povlaků vyskytuje mikrovydrolování a proto jsou pro tento účel vhodnější tenčí povlaky a především povlaky PVD.

Jestliže je vrstva povlaku velmi tenká, je řezný výkon povlakovaných SK silně ovlivněn vlastnostmi podkladu. Opotřebení nástroje na hřbetě je urychlováno plastickou deformací břitu, proto i u tenkých povlaků hřbetní opotřebení se snižuje s rostoucí tvrdostí podkladu (Humár, 2006).

Povlak	**Tloušťka (µm)**	**Mikrotvrdost (GPa)**	**Součinitel tření**	**Max. pracovní teplota (°C)**	**Barva**
CrN	1-7	18	0,30	700	Kovově stříbrná
CrTiN	1-7	30	0,40	600	
AlCrN	1-7	32	0,60	1000	modrošedá
TiAlCN	1-4	28	0,30	500	fialová

Tab. 1: Vlastnosti vybraných povlaků švýcarské firmy Platit.

3.4 Energetická náročnost procesu

Při zpracování materiálu, kde se využívá strojního zařízení, se bere do úvahy poměrně významný faktor energetická náročnost obráběcího procesu. Pomocí pohonů a převodových systémů obráběcích strojů je přeměnit a přenést ze sítě odebranou elektrickou energii tak, aby mohl probíhat vlastní řezný proces (Borský,1992). Spotřeba elektrické energie i opotřebování strojů se započítává do výsledné ceny produktu. Obecně je snaha snížit náklady na co nejnižší možnou hranici. Z ekologického hlediska a z hlediska zatížení planety je potřebné snižovat spotřebu elektrické energie. Energetickou náročnost ovlivňuje mnoho faktorů (Stewart, 1984). Část faktorů je možno ovlivnit a zmenšit a tím celkové náklady

na výrobek. Tepelně upravené dřevo má nižší spotřebu elektrické energie oproti neupravovanému dřevu (Wilkowski et al., 2011).

Při hodnocení strojů na obrábění dřeva rozeznáváme příkon a výkon. Příkon motoru P_p je definovaný jako součin napětí, proudu a účinku cosφ tj. výkon odebraný ze sítě elektrické energie. Příkon je důležitý parametr potřebný pro určení energetických nákladů nebo například pro naddimenzování potřebné elektrické rozvodné sítě ke stroji. Požadovaný řezný výkon P_c je výkon důležitý na vyvození adekvátní řezné síly potřebné k odloučení třísky z dřevního materiálu při dané technologické operaci. Jinými slovy se dá říci, že je to množství práce vydané za jednu sekundu.(Reinprecht a Vidholdová, 2008).

Podle Doc. Ing. Milana Gaffa PhD. a Ing. Jiřího Kubše se provedl výzkum zabývající se technickými parametry, které nejvíce ovlivňují spotřebu elektrické energie při rovinném frézování. Tento způsob patří k nejčastějším mechanickým operacím při zpracování rostlého dřeva. Výzkum byl proveden na zařízení nazývaném rovinná frézka s úběrem materiálu 1mm se zařízením na měření příkonu přístrojem Metrel Power Q plus MI2392. Jako první zkoumaný faktor byl vliv podávací rychlosti. Z průzkumu se došlo k závěru, že působení podávací rychlosti vyvolává změnu řezného příkonu. Zvýšením podávací rychlosti se zvyšuje řezný příkon v průměru o 3% a naopak. Jako druhý zkoumaný faktor byl vliv řezné rychlosti na změnu řezného příkonu. Ve výzkumu se pracovalo s řeznými rychlostmi 20, 30 a 40 m/s. Změna rychlosti má velmi významný vliv na energetickou náročnost při obrábění. Nejmenší řezný příkon byl naměřen při nejmenší řezné rychlosti a největší při 40m/s. Průměrně vychází nárůst spotřeby o 20%. Jako poslední zkoumaný faktor je úhel čela nástroje. Na základě provedeného výzkumu lze říci, že zvětšováním úhlu čela se způsobuje téměř lineární pokles řezného příkonu v průměru o 5%. Z výsledků výzkumu vyplynulo, že optimální hodnoty sledovaných vlivů jsou podávací rychlost 4m/min, řezná rychlost 20m/s, úhel čela nástroje 25°.

Nástroj ovlivňuje energetickou náročnost procesu v závislosti na míře opotřebení. Obecně čím více je nástroj opotřebený, tím stoupá i spotřeba energie obráběcího procesu. Dalším faktorem ovlivnění je i obrobený materiál a velikost úběru látky.

Se zvyšujícím se úběrem spotřeba stoupá, nicméně tento faktor se nedá ovlivnit, pokud chceme dosáhnout požadovaný výsledek.

Energetická náročnost procesu se nejčastěji vyjadřuje řezným příkonem, který ukazuje celkovou spotřebu stroje (Boucher et al., 2007).

3.4.1 Řezná práce a její členění.

Vzorce uvedené níže jsou převzaty z knihy Delenie a obrábanie dreva (Siklienka et al., 2017).

Výpočet práce

$$A_e = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \text{ (J)} \quad (5)$$

Kde:

A_1 – práce dispergovaná – práce spojená s vytvářením nového povrchu

A_2 – práce plastických deformací

A_3 – práce pružných deformací

A_4 – práce tření

Práce dispergovaná se spotřebuje na rozdrobení materiálu a zvětšení jeho povrchu. Dispergovaná práce je proto spojená s povrchovou energií (Siklienka et al., 2013).

Práce plastických deformací se spotřebuje na plastické deformace obrobku, přičemž je potřeba uvažovat plastickou deformaci třísky i obrobku (Siklienka et al., 2013).

Práce pružných deformací se spotřebuje na pružné deformace, které vyvolá nůž při svém pohybu v obrobku. Práce pružných deformací se mění na teplo (Siklienka et al., 2013).

Práce tření se skládá ze dvou částí. Z práce tření odcházející třísky po čele nástroje a z práce tření hřbetu nástroje o obrobek. Práce tření závisí na koeficientu vnějšího tření, který závisí na řezné rychlosti, řezného tlaku a teploty (Siklienka et al., 2013).

3.4.2 Členění práce z hlediska pohybu.

Práce je uvažována pro jednotlivé operace na určitém obráběcím stroji jako výkon za určitý časový interval a za určitých řezných podmínek. Práce potřebná na odebrání určitého množství materiálu z obrobku Ae se rovná součtu práce řezání a práce potřebné na posuv.

$$A_e = A_c + A_f \ \text{(J)} \tag{6}$$

Kde:

A_c – práce řezání (J)

A_f – práce posuvu (J)

Práce řezání A_c je práce potřebná na uskutečnění hlavního pohybu za účelem odebrání určitého množství materiálu za čas T.

$$A_c = \int_0^T Fc * vc * dT \tag{7}$$

Kde:

A_c – práce řezání (J)

F_c – řezná síla (N)

v_c – řezná rychlost (m/s)

Práce posuvu A_f je práce potřebná na uskutečnění posuvu za účelem odebrání určitého množství materiálu.

$$A_f = \int_0^T Ff * vf * dT \ \text{(J)} \tag{8}$$

Kde:

A_f – práce posuvu (J)

F_f – posuvná síla (N)

v_f – posuvná rychlost (m/s)

3.4.3 Výpočet výkonu a příkonu

Základní vzorec pro výpočet výkonu je množství vykonané práce za určitý čas.

$$P = \frac{A}{T} (W) \quad (9)$$

Kde:

A – vykonaná práce (J)

T – čas (s)

Výkon je výsledek součinu síly a rychlosti v tom jistém okamžiku, při určité operaci a určitých řezných podmínkách. V případě řezného nástroje a více řeznými hranami, je pracovní výkon součtem výkonů jednotlivých řezných částí, které jsou v záběru v jistém momentu (Siklienka et al., 2013).

Pracovní výkon P_e je výsledek součinu pracovní síly F_e a pracovní rychlosti v_e přičemž obě působí v hlavním bodě řezné hrany.

$$P_e = F_e * v_e (W) \quad (10)$$

Kde:

P_e – pracovní výkon (W)

F_e – pracovní síla (N)

v_e – pracovní rychlost (m/s)

P – celkový výkon (W)

Řezný výkon P_c je výsledek součinu řezné síly F_c a řezné rychlosti v_c působících v hlavním bodě řezné hrany.

$$P_c = F_c * v_c \ (W) \quad (11)$$

Kde:

P_c – řezný výkon (W)

F_c – řezná síla (N)

v_c – řezná rychlost (m/s)

Výkon potřebný na posuv P_f je výsledek součinu síly posuvu F_f a rychlosti posuvu v_f působících v hlavním bodě řezné hrany.

$$P_f = F_f * v_f \, (W) \tag{12}$$

Kde:

P_f – výkon potřebný na posuv (W)

F_f – posuvná síla (N)

v_f – posuvná rychlost (m/s)

Příkon Pp je definovaný jako množství práce vykonané za jednotku času.

$$P_p = \frac{W}{T} \, (W) \tag{13}$$

Kde:

P_p – řezný příkon (W)

W – celkem vykonaná práce (J)

T – čas (s)

Principem měření řezného příkonu pomocí přístroje a software Metrel Power Q plus je založen na snímání změny odběru proudu I, aktuální hodnoty napětí U a na základě snímání fázového posunu účiníku cos φ (Siklienka et al., 2013).

4 METODIKA

Metodiku diplomové práce je možné rozdělit do několika bodů z hlediska stanovených cílů.

Zjištění působení vybraných parametrů:

1. Obráběný materiál: DTDL, MDFL
2. Materiál nástroje: Fréza 5086, CrTiN

Dále se bere do úvahy a sleduje:

- Množství aktivní energie spotřebované při obrábění

4.1 Použité materiály

Materiály použité pro frézování byly DTDL (dřevotřísková deska) oboustranně laminovaná a MDFL (medium density fibreboard) s jednostrannou laminací. Výrobky byly zakoupeny u firmy DDL Dřevozpracující družstvo Lukavec.

Označení	**Materiál**	**Hustota (kg/m^3)**	**Výrobce**
MDFL	Středně tvrdá dřevovláknitá deska s laminací	742	DDL – dřevozpracující družstvo (Lukavec, ČR)
DTDL	Dřevotřísková deska s laminací	713	

Tab. 2: Parametry aplikovaných materiálů.

4.2 Použité nástroje a frézovací hlava

V této kapitole jsou popsány použité nástroje a frézovací hlava.

4.2.1 Frézovací žiletkové nože

Na frézování byly aplikovány dva nástroje, které se od sebe liší povrchovou úpravou. Typová značka je Leitz 5086 bez použití povrchové úpravy a Leitz 5086 na který byl aplikován povlak CrTiN pro zlepšení některých vlastností. Povlak vyrobila společnost SHM Šumperk aplikovanou metodou nanášení PVD. Všechny žiletkové nože byly pořízeny od firmy Leitz.

Označení	**Materiál**	**Typ**	**Výrobce**	**Rozměry (mm)**
5086	Tvrdokov HW-05	Leitz 5086	Leitz Co.	50x12x1,5
5086 CrTiN	Tvrdokov HW-05 Povlak CrTiN	Leitz 5086	Leitz Co. + SHM Šumperk	50x12x1,5

Tab.3: Vlastnosti použitých nástrojů

Označení	**Mikrotvrdost (GPa)**	**Ra (µm)**	**Wa (µm)**	**Úhlová geometrie**			
				Úhel hřbetu α	**Úhel břitu β**	**Úhel čela γ**	**Úhel řezu δ**
5086	17	0,264	0,229	10°	60°	20°	70°
CrTin	30	0,154	0,082	10°	60°	20°	70°

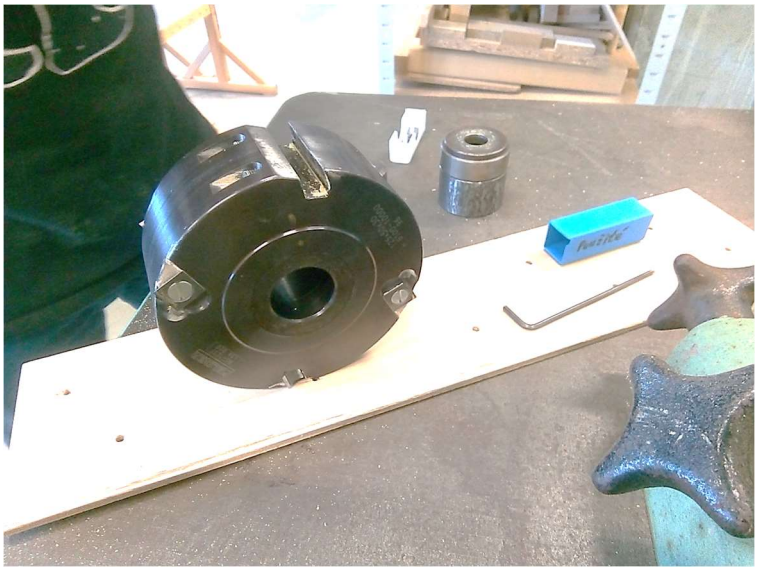
Tab. 4: Technické parametry použitých nástrojů.

Označení	Základní cena (Kč)	Cena povlaku (Kč)	Cena celkem (Kč)
5086	72,60	0	72,60
CrTiN	72,60	100	172,60

Tab.5: Cenové srovnání nástrojů.

4.2.2 Frézovací hlava

Frézovací hlava byla aplikována dvounožová (obr.9) o rozměrech 125*50*30 mm. Při frézování byly použity dva totožné nástroje.



Obr. 9: Ukázka f

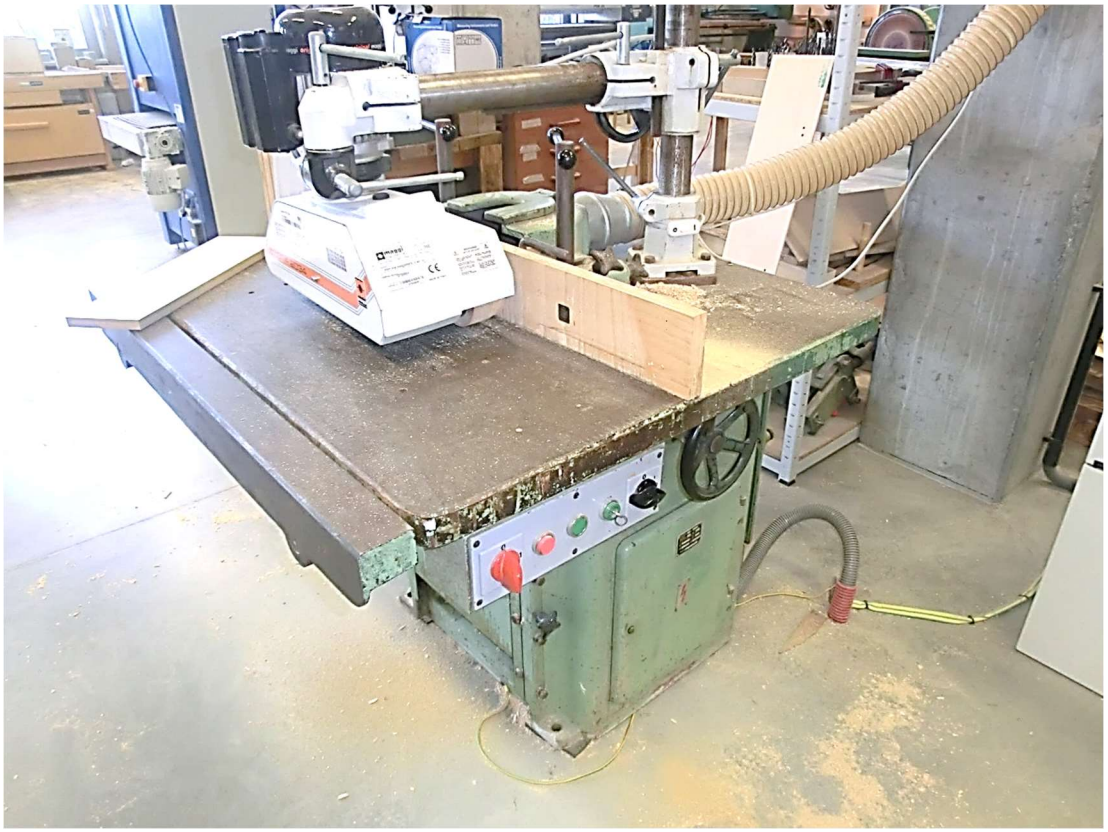
rézovací hlavy Felder.

4.3 Strojní vybavení

K frézování materiálu byla použita spodní svislá frézka s podávacím zařízením od firmy Maggi, na formátování materiálu byla použita formátovací pila SCM SI 300.

4.3.1 Frézka

Frézování bylo provedeno na spodní svislé frézce (obr. 10) FVS (ED, ATP Line II, Tuttlingen, Německo). Na této frézce je možnost opracovávat podélné i deskové materiály, v závislosti na aplikované frézce je možné opracovat masivní a kompozitní materiály. Za pomoci přemístění klínových řemenů se dají seřídit požadované otáčky stroje a tím i řeznou rychlost.



Obr. 10: Ukázka spodní svislé frézky FVS

Proudová soustava	**Příkon**	**Otáčky (ot/min)**	**Řezná rychlost (m/s)**	**Rok výroby**
380/220 V	4kW	3000,4500,6000,9000	20,30,40,60	1975

Tab. 6: Vlastnosti spodní svislé frézky FVD, ED, ATP Line II (Německo)

4.3.2 Podávací zařízení

Podávací zařízení bylo použito od výrobce Maggi a je stanoveno pro posuv deskového materiálu a podélných dílců. Disponuje čtyřmi fixními rychlostmi, lze vpřed i vzad a mění se způsobem, že rychlosti prvních dvou docílíme záměnou ozubených kol uložených za převodovkovým krytem a další dvě rychlosti se mění otočením vypínače.

Podávací zařízení je opatřeno přestavitelným univerzálním stojanem, který dovoluje nastavení stroje do libovolné pozice (Dobré stroje, 2019)

Obr. 11: Podávací zařízení Maggi, Steff 2034

Motor	**Příkon (kW)**	**Otáčky (ot/min)**	**Rozměry stroje**	**Podávací rychlost (m/min)**	**Rok výroby**
400 V	0,6 – 0,8	1400/2800	470x490x230	4,8,11,22	2005

Tab. 7: Parametry podavače materiálu Maggi, Steff 2034

4.3.3 Formátovací kotoučová pila

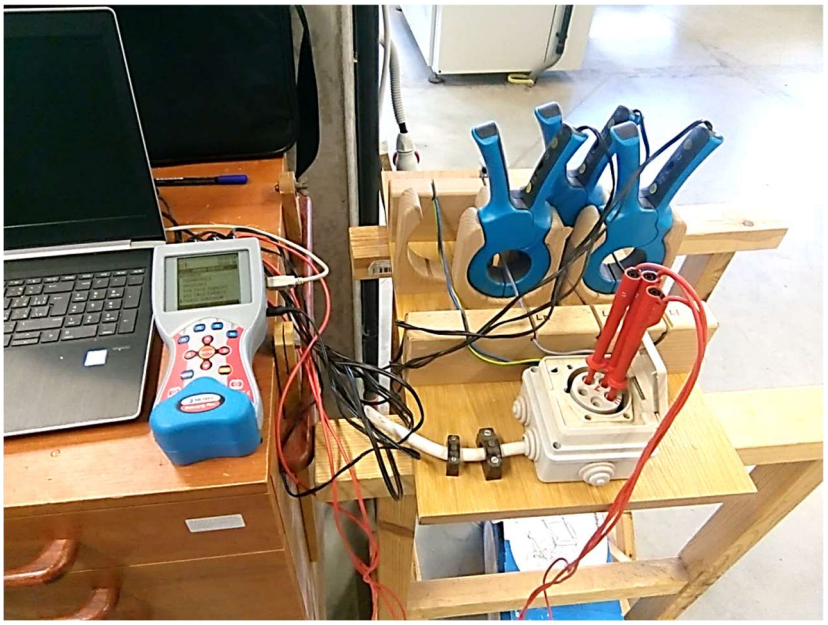
Pro řezání plošného materiálu bylo použito formátovací pily SCM SI 300. Vysoký konstrukční profil pohyblivé části stolu zaručuje perfektní tuhost a stálost při maximálním vyložení a velkém zatížení. Pojezdový pracovní stůl má délku 2200mm a je vytvořen z hliníkové slitiny s povrchovou úpravou (Dobré stroje, 2019).

Standardní pojezd stolu	**Šíře stolu**	**Max. průměr kotouče**	**Otáčky hlavního kotouče**	**Výkon hlavního motoru**	**Výkon motoru předřezu**
2200mm	360mm	315mm	4000ot/min	4 kW	0,75kW

Tab. 8: Parametry formátovací kotoučové pily SCM SI 300

4.4 Měřící přístroj METREL Power Q plus MI 2392

Metrel Power Q plus je třífázový přístroj na analyzování kvality energie s přesností měření ±3% od výrobce Metrel d.d. z Horjulu ze Slovinska.



Obr. 12: Ukázka přístroje Metrel Power Q plus a schéma jeho zapojení.

4.5 Příprava zkušebních vzorků.

Deskový materiál MDFL byl upravený na zkušební tělesa o rozměrech 500x300x18mm a DTDL byl naformátován na zkušební tělesa o rozměrech 1000x500x18mm, zvolené rozměry byly stanovené pro snadné manipulování s tělesy při obrábění. Připravené vzorky byly obrobeny frézkou v požadovaném nastavení. Délka frézované strany byla u MFDL 500mm a u DTDL 1000mm a úběr v obou případech byl 1 mm. Při obrábění se zaznamenávala energetická náročnost procesu pomocí přístroje Metrel Power. Měření energetické náročnosti bylo zaznamenané po určitých úsecích odfrézovaného materiálu.

4.6 Zjišťování měření hustoty a vlhkosti

Zjištění hustoty vzorků proběhlo dle normy ČSN EN 323 (1994), stejně jako zjištění vlhkosti daných vzorků dle normy ČSN EN 322 (1994). Hmotnostní vlhkost měřených materiálů byla stanovena jako procentuální podíl hmotnosti vody obsažené ve vlhkém vzorku a hmotnosti ve vysušeném stavu. Naměřená hodnota hustoty pro DTDL byla 713 kg/m^3 a vlhkost 6,0%. Pro materiál MDFL byla hodnota hustoty 742 kg/m^3 a vlhkost 6,2%. Nízká vlhkost obráběných materiálů je způsobena uskladněním materiálu v truhlárně ČZU, kde je prostor klimatizován.

4.7 Metodika měření energetické náročnosti obráběcího procesu

Při frézování byl přístroj Metrel Power Q plus MI 2392 připojen k frézce a připojen k počítači, kde pomocí software Metrel Power Viev byly zaznamenané hodnoty (obr.13). Odečet hodnot probíhal každou sekundu a přístroj zaznamenává i hodnoty, které byly naměřeny při volnoběhu stroje. Zaznamenané hodnoty při frézování se musely odečíst z grafického nebo tabulkového zobrazení v softwaru Metrel Power View.

Obr. 13: Ukázka principu záznamu přístroje Metrel Power

4.8 Použitý software k vyhodnocení naměřených výsledků

Vyhodnocení naměřených hodnot proběhlo pomocí software Statistica, kde se zkoumá analýza rozptylu tzv. ANOVA a testováním hypotéz – Duncanův testem na hladině významnosti 0,05.

Analýza rozptylu je nástroj pro zkoumání vztahu mezi vysvětlovanými a vysvětlujícími proměnnými. Vysvětlované proměnné jsou vždy kvantitativní, u vysvětlujících proměnných (označované jako faktory) na typu nezáleží. Faktory nabývají pouze malého počtu obměn (úrovní), podle nichž lze hodnoty vysvětlovaných proměnných třídit do skupin.

- Jednofaktorová ANOVA – vliv jednoho faktoru na vysvětlovanou proměnnou
- Vícefaktorová ANOVA – vliv více faktorů

- Více rozměrová analýza rozptylu MANOVA – vliv jednoho či více faktorů na několik vysvětlovaných proměnných současně
  (Analýza rozptylu, 2019).

Pro zpracování výsledků byla použitá více faktorová ANOVA. Mezi faktory lze zařadit odfrézovanou vzdálenost, obráběný materiál a použitý nástroj.

Duncanův test při hladině významnosti 0,05.

Testování statistických hypotéz spočívá v určení hladiny významnosti testu (chyba α), což je pravděpodobnost, že se zamítne nulová hypotéza, ačkoliv ona platí.

Testovanou hypotézu je potřebné přijímat nebo zamítat na základě výsledků náhodného výběru, a proto může být zamítnutí i nezamítnutí hypotézy H_0 správné, ale i nesprávné. Obecně se můžeme dopustit jedné ze 2 chyb:

- chyba 1. druhu a - zamítneme hypotézu H_0, když platí

- chyba 2. druhu ß - nesprávně přijmeme hypotézu H_0, když neplatí

Snahou je volit test tak, aby pravděpodobnost chyb 1. a 2. druhu byla co nejmenší. Univerzální test minimalizující obě chyby však neexistuje, protože chyby spolu souvisí. Musí se tedy volit kompromis: zpravidla se postupuje tak, že si předem zvolíme chybu a (hladina významnosti testu) a to dostatečně nízkou – pro biologická data se používá 0,05 (příp.0,01) a tím dostaneme 95% (99%) jistotu správného rozhodnutí. Chybu b nemáme možnost ovlivnit, je dána velikostí zvolené chyby (Testování hypotéz ve statice, 2019).

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Statistické zpracování dat.

Průměrné hodnoty řezného příkonu naměřené při jednotlivých souborech zkušebních těles jsou uvedeny v tab. 9;10. V tabulce se nachází druh frézovaného materiálu, dále je znázorněná odfrézovaná vzdálenost, použitý nástroj a energetická náročnost a směrodatná odchylka.

Z tabulky 9 je viditelné, že se nástroje do hranice 200 metrů pohybují na přibližně stejné hodnotě řezného příkonu, ale s narůstající odfrézovanou vzdáleností vykazuje nástroj s povlakem nižší řezný příkon.

Typ materiálu: DTDL						
Počet frézovaných metrů	**Typ nástroje**	**Řezný příkon (W)**	**Směrodatná odchylka**	**Typ nástroje**	**Řezný příkon (W)**	**Směrodatná odchylka**
0	5086	650	19,890	CrTiN	673	28,300
50	5086	659	11,820	CrTiN	644	29,250
100	5086	664	12,310	CrTiN	668	49,590
200	5086	668	13,320	CrTiN	684	45,910
800	5086	714	13,910	CrTiN	688	44,470
1000	5086	781	14,470	CrTiN	666	40,960

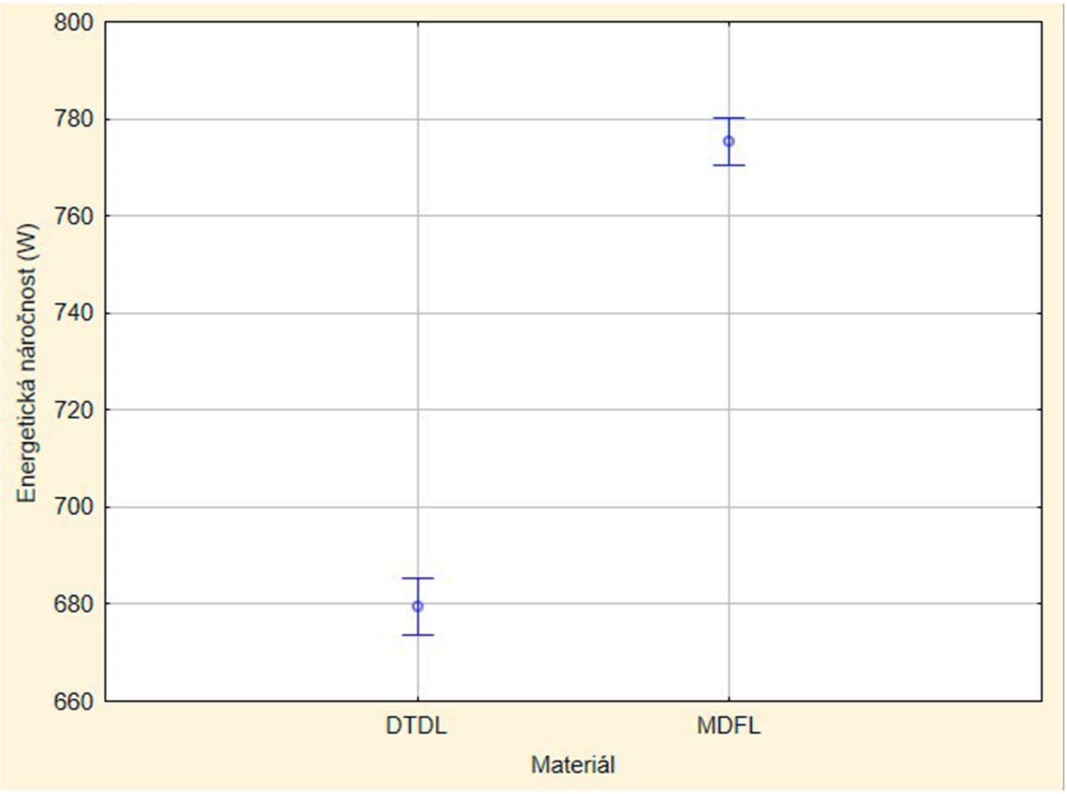
Tab. 9: Průměrné hodnoty energetické náročnosti u materiálu DTDL

Typ materiálu: MDFL						
Počet frézovaných metrů	**Typ nástroje**	**Řezný příkon (W)**	**Směrodatná odchylka**	**Typ nástroje**	**Řezný příkon (W)**	**Směrodatná odchylka**
0	5086	732	10,560	CrTiN	729	23,680
50	5086	760	17,770	CrTiN	740	10,260
100	5086	765	15,380	CrTiN	735	6,880
200	5086	787	11,820	CrTiN	735	22,820
800	5086	810	25,960	CrTiN	816	25,630
1000	5086	819	22,070	CrTiN	801	15,380

Tab. 10: Průměrné hodnoty energetické náročnosti u materiálu MDFL

Z tabulky 10 je patrné, že se nástroje pohybují na přibližně stejné hodnotě řezného příkonu, nicméně nástroj s povlakem znázorňuje nižší řezný příkon, ale pouze v řádech jednotek Watů.

Vliv druhu materiálu na energetickou náročnost je znázorněn na obr. 14. Energetická náročnost je závislá na hustotě obráběných materiálů. Podle výsledků měření byla energetická náročnost 775,3 W při obrábění MDFL a to prokazuje i vyšší hustota ze sledovaných materiálů. O něco nižší energetická náročnost byla naměřena u DTDL tedy 679,5 W, tento materiál se vyznačuje nižší hustotou oproti MDFL. Toto dokazuje i dříve provedený výzkum, kde se měřil řezný příkon na různých materiálech, nižší hodnoty řezného příkonu byly naměřeny u materiálu s nižší hustotou (Sedlecký, 2017).



Obr. 14: Vliv druhu materiálu na energetickou náročnost.

V tabulce 11 se nacházejí naměřené hodnoty energetické náročnosti z hlediska použitých materiálů.

Vyhodnocení vlivu z hlediska použitého materiálu					
	Energetická náročnost (W)				
Materiál	**průměrná**	**odchylka**	**- 95,00%**	**95,00%**	**Počet měření**
DTDL	679,540	2,990	673,650	685,430	240
MDFL	775,320	2,400	770,590	780,050	280

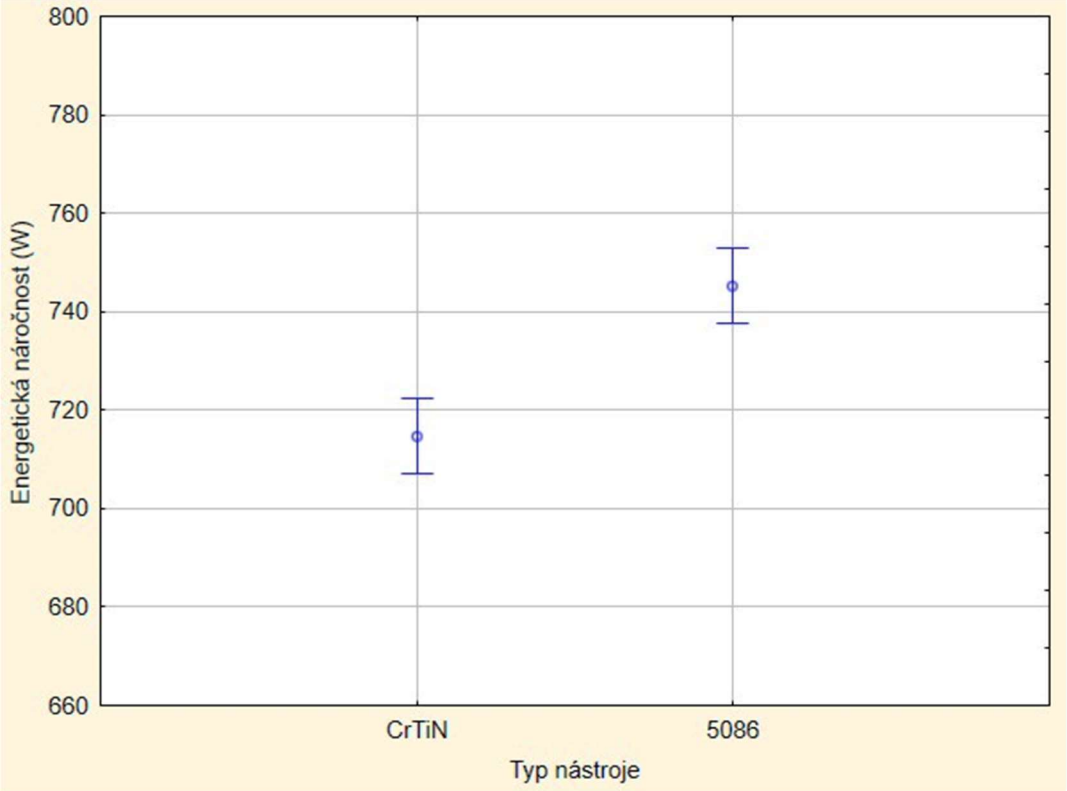
Tab. 11 Vliv druhu materiálu na energetickou náročnost

Z naměřených výsledků energetické náročnosti můžeme konstatovat, že mezi materiály je statisticky významný rozdíl (tab.12). Červené hodnoty jsou statisticky významné.

Vliv faktorů na materiál hodnocený pomocí Duncanova testu			
		1	2
	Materiál	679,540 W	775,320 W
1	DTDL		0,000
2	MDFL	0,000	

Tab. 12 Vliv energetické náročnosti mezi materiály hodnocený pomocí Duncanova testu.

Vliv druhu materiálu nástroje (Obr. 15) se projevil jako statisticky významný faktor, nicméně vliv tohoto faktoru není tak veliký jako vliv materiálu. Naměřené hodnoty se nachází v Tab. 13, dle očekávání nástroj bez povlaku 5086 je energeticky náročnější, oproti nástroji s povlakem CrTiN, který vykazuje nižší energetickou náročnost. Nástroj bez povlaku je především určen pro opracování běžného dřeva. Na nástroj CrTiN je použitý povlak pro zlepšení tvrdosti nebo zvýšení odolnosti proti korozi (Labidi et al., 2005).



Obr. 15 Vliv druhu nástroje na energetickou náročnost

Vyhodnocení vlivu z hlediska použitého nástroje					
	Energetická náročnost (W)				
Typ nástroje	**průměrná**	**odchylka**	**- 95,00%**	**95,00%**	**Počet měření**
CrTiN	714,670	3,910	706,970	722,360	240
5086	745,210	3,840	737,650	752,780	280

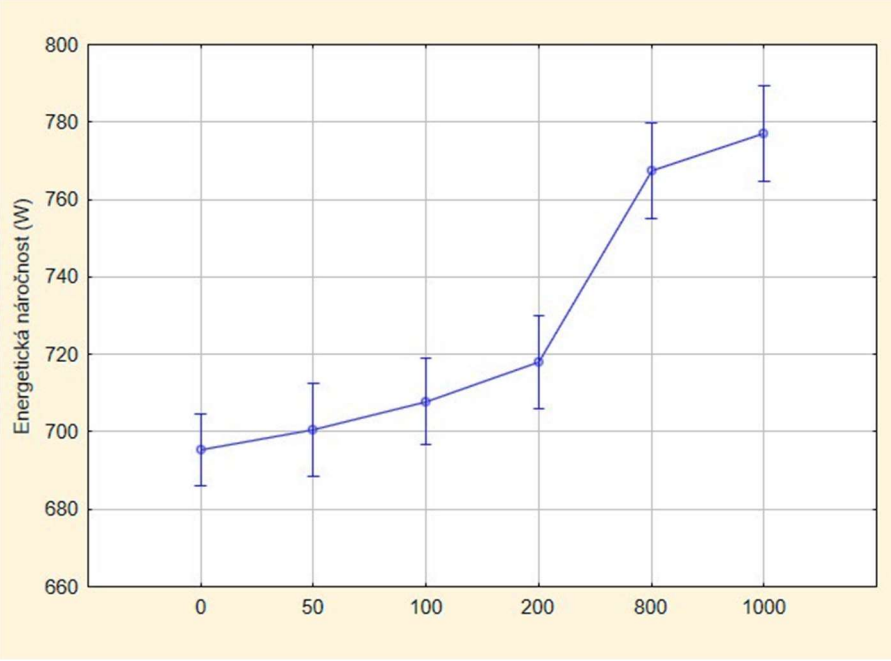
Tab. 13 Vliv druhu nástroje na energetickou náročnost

Z hlediska energetické náročnosti lze říci, že mezi nástroji je statisticky významný rozdíl (tab. 14). Červené hodnoty jsou statisticky významné.

Vliv faktorů na nástroj hodnocený pomocí Duncanova testu			
		1	2
	typ nástroje	714,670 W	745,210 W
1	CrTiN		0,000
2	5086	0,000	

Tab. 14 Vliv druhu nástroje na energetickou náročnost vyhodnocenou pomocí Duncanova testu.

Vliv odfrézované vzdálenosti (Obr. 16) se prokázal jako statisticky významný faktor. S narůstající ofrézovanou vzdáleností se zvyšuje energetická náročnost procesu. Při použití nového nástroje se v 0m naměřila hodnota 695,4 W a při ofrézování 1000m byla hodnota podstatně větší dosahovala 776,9 W. Pro proces frézování platí, že s narůstající odfrézovanou vzdáleností roste i energetická náročnost a to dosvědčují i výsledky dřívějšího výzkumu (Barcík et al., 2010).



Obr. 16: Ukázka vlivu odfrézované vzdálenosti na energetickou náročnost

Vyhodnocení vlivu z hlediska odfrézováné vzdálenosti					
Délka (m)	Energetická náročnost (W)				
	průměrná	odchylka	-95,00%	95,00%	Počet měření
0	695,380	4,690	686,030	704,720	80
50	700,510	6,020	688,510	712,490	80
100	707,880	5,680	696,560	719,190	80
200	718,000	6,030	705,990	730,010	80
800	767,500	6,230	755,140	779,860	100
1000	776,900	6,240	764,520	789,280	100

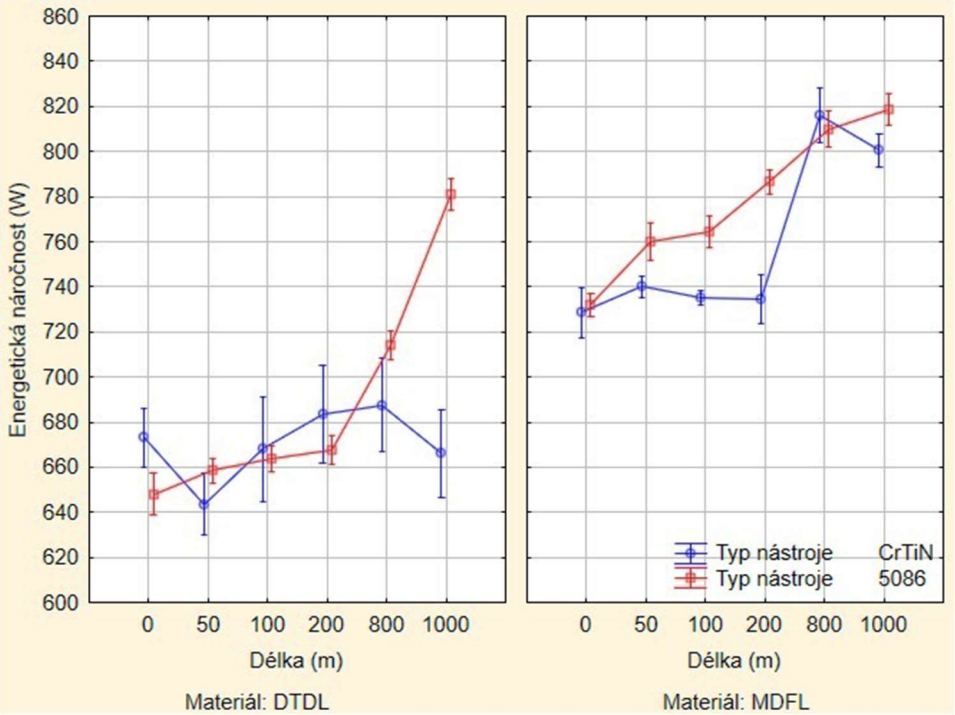
Tab. 15 Vliv ofrézované vzdálenosti na energetickou náročnost,

Z hlediska energetické náročnosti lze konstatovat, že mezi odfrézovanou vzdáleností je statisticky významný rozdíl (tab. 16). Červené hodnoty jsou statisticky významné a černé hodnoty statisticky nevýznamné.

Vliv faktorů na odfrézovanou vzdálenost hodnocený pomocí Duncanova testu							
		1	2	3	4	5	6
	délka (m)	695,380 W	700,500 W	707,880 W	718,000 W	767,500 W	776,900 W
1	0		0,181	0,000	0,000	0,000	0,000
2	50	0,181		0,054	0,000	0,000	0,000
3	100	0,000	0,054		0,008	0,000	0,000
4	200	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
5	800	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
6	1000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Tab. 16 Vliv odfrézované vzdálenosti na energetickou náročnost a jejich statistické rozdíly.

Obrázek 17 ukazuje vliv všech faktorů na energetickou náročnost DTDL a MDFL. Z grafu vyplývá, že nejvyšší energetická náročnost byla zjištěna při MDFL a použití nástroje 5086, připisuje se tomu hlavně hustota materiálu a druh použitého nástroje. Aglomerované materiály jsou charakterizované dřevními částicemi a obsahem lepidla. Obsah lepidla částečně vede k rozdílnému tření a nerovnoměrnému úběru materiálu, čímž se zvyšuje spotřeba energie.



Obr.17: Ukázka vlivu materiálu, typu nástroje a odfrézované vzdálenosti na energetickou náročnost při bočním frézování.

Vyhodnocení z hlediska spotřeby elektrické energie				
Materiál	**Nástroj**	**cena kWh - Praha**	**průměrná hodnota (kWh)**	**cena (Kč)**
DTDL	5086	4,40 Kč	189,00	831,60 Kč
DTDL	CrTiN	4,40 Kč	183,33	806,65 Kč
MDFL	5086	4,40 Kč	208,00	915,20 Kč
MDFL	CrTiN	4,40 Kč	213,50	939,40 Kč

Tab. 17 Vliv spotřeby elektrické energie na cenu

V tab. 17 je znázorněna základní sazba za kWh pro lokalitu Praha, dále průměrná hodnota spotřeby energie pro jednotlivé nástroje a obráběné materiály. Následně je vypočtena cena za spotřebovanou energii. Ceny se liší v jednotkách korun.

6 ZÁVĚR

6.1 Celkové shrnutí

Vlastnosti řezných nástrojů a vliv na obrábění vybraných druhů materiálů, se řadí mezi podstatné rysy při přípravě technologicko výrobních metod přípravy výroby obrábění. Každý řezný nástroj se vyznačuje určitými vlastnostmi a přednostmi, určující jejich složení, struktura a další činitelé.

Základní výsledky práce:

Spotřeba energie při bočním frézování DTDL a MDFL při použití odlišných nástrojů:

- Největší rozdíly hodnot energetické náročnosti byly zjištěny při bočním frézování MDFL, nižší hodnoty byly naměřeny u DTDL. Energetická náročnost naměřena během válcového frézování DTDL byla o 14% nižší v porovnání s MDFL.
- Typ nástroje ve vztahu k jeho materiálu a úpravě měl v porovnání s frézovaným materiálem nižší vliv na energetickou náročnost. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny při použití nože 5086. Lehce nižší hodnoty byly zjištěny u nože CrTiN. Rozdíl v hodnotách energetické náročnosti mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou dosáhl 4%.
- Se zvyšující se odfrézovanou délkou materiálu se energetická náročnost zvyšovala. Použití nože 5086 vedlo k vyšší energetické náročnosti oproti noži CrTiN. Nejvyšší rozdíly byly zjištěny u 1000m odfrézované DTDL. Nůž 5086 měl hodnoty o 14,6% vyšší oproti noži CrTiN.

6.2 Přínos pro vědu

Smysl zpracované práce pro vědu tkví především v souhrnu, srovnání a doplnění poznatků, zabývající se danou problematikou. Diplomová práce dává informace o tom, jak jednotlivé faktory ovlivňují energetickou náročnost.

6.3 Přínos pro praxi

Navzdory tomu, že se podobné problematice věnuje více autorů, je významné z hlediska praxe dále zjišťovat nově vzniklé materiály nástrojů. Zkoumat nové nástroje během obráběcího procesu a srovnávat je s nástroji již aplikovanými.

Práce poskytuje informace o tom:

1. Při jakém obráběném materiálu je vyšší energetická náročnost. Zvýšená energetická náročnost se projevila u MDFL, kde je oproti druhému obráběnému materiálu DTDL vyšší hustota.
2. Při jakém použitém nástroji je nižší energetická náročnost. Prokázalo se, že použití nože CrTiN je výhodnější z energetického hlediska, neboť tento nástroj má lepší vlastnosti povrchu nože zapříčiněného povlakem.
3. Při jakém nástroji je nejnižší cena za spotřebovanou energii. Vyhodnocení dokazuje, že pro válcové frézování materiálů je výhodnější použít nástroj bez povlaku, nicméně ceny za spotřebovanou energii jsou nižší pro CrTiN v porovnání o 25 Kč u DTDL a 5 kč u MDFL, ale je potřebné též uvažovat i s pořizovací cenou nástroje, kde nástroj s povlakem je o 100kč dražší. Z ekonomického hlediska lze konstatovat, že se nástroj s povlakem nevyplatí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literární zdroje

BARCÍK, Š; KVIETKOVÁ, M; KMINIAK, R. Vplyv vybraných faktorov na energetickú náročnosť pozdĺžneho krájacieho stroja. Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva, 8(1): 19-28, 2012. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 978-80-228-2385-2.

BOHM, M; REISNER, J; BOMBA, J. Materiály na bázi dřeva. Praha: Česká zemědělská universita v Praze. 2012. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6.

BORSKÝ,V. Obráběcí stroje. 1. vydání. Brno: Nakladatelství vysoké učení technické v Brně. 1992. 216s. ISBN 80-214-0470-1.

BORSKÝ,V. Základy stavby obráběcích strojů. 2. přepracované vydání. Brno: Nakladatelství vysoké učení technické v Brně. 1991. 214s. ISBN 80-214-0361-6.

BOUCHER, J; MÉAUSOONE, P; MARTIN, P; AUCHET, S; PERRIN. L. Influence of helix angle and density variation on the cutting force in wood based products machining. Journal of Material processing Technology. 2007. ISSN 0924-0136.

DUDAS, J; JOCHIM, S. Konštrukčné drevné materiály pre drevené stavebné konštrukcie a výrobky. Technická univerzita vo Zvolene. 2008, 161 s. ISBN 978-80-228-1938-1.

HOLUBÁŘ, P; JANKŮ, R; ZINDULKA, O. Ekonomické a ekologické efekty PVD technologie. MM Průmyslové spektrum. 2009, roč. 8,9, s. 56-57. ISSN 1212-2572.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2006. 192 s. ISBN 978-80-254-2250-1.

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 juvenilie puplar wood chips. BioResources. 2016, řoč. 11, č. 4, s. 9572-9583. ISSN 1930-2126.

OČKAJOVÁ, A; KUČERKA, M. Materiály a technologie. Drevárské technologie. Univerzita Matěja Bela v Banskej Bystrici. 2011

SIKLIENKA, M; KMINIAK, R; ŠTUSTEK, J; JANKECH, A. Delenie a obrábanie dreva. Technická univerzita vo Zvolene. 2017. 332 s. ISBN 978-80-228-2845-1.

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

GAFF, M. Přednáška výroba nábytku II.

GAFF, M; KUBŠ, J. Drevársky magazin. Odborné téma: Vliv technických parametrů stroje a nástroje na energetickou náročnost při frézování rostlého dřeva. DM 1-2/2016.

KUBŠ, J; BARCÍK, Š. Vliv úhlu čela na energetickou náročnost při rovinném frézování termicky modifikovaného bukového dřeva. Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva, 9(1): 97-104, 2014. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. ISSN 1339-8350.

REINPRECHT, L; VIDHOLDOVÁ, Z. Termodrevo, príprava, vlastnosti a aplikácie. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. 2008

SEDLECKÝ, M. Dizertační práce: Vliv druhu materiálu nástroje na kvalitu opracovaného povrchu při podélném frézování dřeva a materiálů na bázi dřeva. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 2017, 151 s.

STEWART, H.A. Result force and surface quality from some face milling variables. Forest Products Journal. 1984. roč. 34, s.24. ISSN 0015-7473.

VAŇÁK, A. Technologie frézování: pracovní listy. Šumperk: Střední odborná škola a Střední odborné učiliště. 2007. 101s.

WILKOWSKI, J; GRZESKUEWICZ, M; CZARNIAK, P; SIWEK, I; JAVOREK, L; PAULINY, D. Influence of thermal modification of oak wood on cutting forces during milling. Drewno material ekologiczny. Warszawa 2011. s 314. ISBN 83-86980-88-5.

QUINTANA, G.; CIURANA, J.; RIBATALLADA,J. Modelling power consuption in ball-end milling operations. Materials and Manufacturing Processes. 2011, roč. 26, s. 756. ISSN 1511-2780.

Internetové zdroje:

HUMÁR, A. Technologie 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2003. (cit. 2019-04-02) Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf

KRON. Kron produkty (online).Nové řádky, Rohatec u Hodonína, 2019 (cit 06.04.2019, 17.59) Dostupné z: https://www.kron.cz/produkty/plosny-material/drevotrisky/

KRON. Kron produkty (online).Nové řádky, Rohatec, 2019 (cit 2019-4-11) Dostupné z: https://www.kron.cz/produkty/plosny-material/drevovlaknite-desky/

DOBRÉ STROJE. Dobré stroje (online). Blansko, 2019 (cit 2019-04-13) Dostupné z: https://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/1-1-DREVOOBRABECI-STROJE/%20176-3-STROJE-MAGGI/5/154-MAGGI-2034-PODAVAC-MATERIALU/

CARBE. Carbe dřevoobráběcí a truhlářské stroje, nástroje a technologie. (online). Telnice u Brna, 2019 (cit. 2019-04-05) Dostupné z: http://www.drevoobrabeci-stroje-carbe.cz/Truhlarske-stolarske-stroje/NOVE-STROJE/Pily/Formatovaci-pila-SCM-SI-300-NOVA/

ANALÝZA ROZPTYLU. Jiří Neubauer. (online). Katedra ekonometrie FVL UO Brno, 2019 (cit. 2019-04-17) Dostupné z: https://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/anova.pdf

TESTOVÁNÍ HYPOTÉZ VE STATICE (online) 2019. (cit. 2019-04-18) Dostupné z: https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/hypotezy.htm

Zákony, normy, vyhlášky

ČSN EN ISO 322. Dosky z dreva: Zisťovanie vlhkosti, Praha: Český normalizační institut, 1994. 7 s.

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

ČSN EN ISO 322 Dosky z dreva: Zisťovanie vlhkosti. Praha: Český normalizační institut, 1994. 7s

ČSN EN ISO 323 Dosky z dreva: Zisťovanie hustoty. Praha: Český normalizační institut, 1994. 7s