

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav základního zpracování dřeva

Nástroje pro frézování a jejich upínání do CNC obráběcího centra

Bakalářská práce

2016/2017

Jan Haresta

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: Nástroje pro frézování a jejich upínání do CNC obráběcího centra vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně dne:

.....

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je rozbor využití fréz a vyhodnocení provedeného experimentu frézováním za zvolených řezných podmínek. První část práce se zabývá vysvětlením teorie frézování včetně vymezení základních pojmů. Druhou částí práce je rozdělení fréz podle různých kritérií a jejich použití. Dále jsou uvedeny upínače fréz využívané pro CNC. Třetí část práce je zaměřena na experimentální měření drsnosti povrchu po frézování za zvolených řezných podmínek a jejich vliv na následné měření drsnosti povrchu na jednotlivých vzorcích. Závěr shrnuje výsledky bakalářské práce.

ABSTRACT

The aim of the thesis is an explanation of milling cutters utilization and evaluation of the experiment in milling based on chosen cutting conditions. The first part of the thesis is theoretical and includes basic terms definitions. The second part of the thesis divides milling cutters according to different standards and utilization. There are mentioned milling cutters clamps used for CNC, also. The third part focuses on experimental measuring of roughness surface after milling based on chosen cutting conditions and their effect on subsequent measuring of roughness surface of patterns. The conclusion summarizes results of this thesis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Drsnost povrchu, frézování, frézy, upínání

KEYWORDS

Clamping, milling, milling cutters, surface roughness

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval prof. Ing. Miroslavu Rouskovi, CSc. Za cenné diskuze k tématu a vedení téhle práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Radimu Škaroupkovi z SŠ TEGA Blansko za umožnění frézování na obráběcím centru školy a také panu Miroslavu Zouharovi za provedení frézování. Jako poslední bych rád poděkoval svojí rodině za podporu během studia.

Jan Haresta

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 CÍL PRÁCE	9
2 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ.....	10
2.1 Princip frézování.....	10
2.2 Podstata frézování	10
2.3 Geometrie nástroje	10
2.4 Druhy frézování	11
2.5 Kinematika frézování	13
3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE	15
3.1 Řezné materiály nástrojů	15
3.1.1 Nástrojová ocel uhlíková.....	15
3.1.2 Nástrojová ocel legovaná	16
3.1.3 Rychlořezná ocel.....	16
3.1.4 Doporučené nástrojové oceli pro frézovací nástroje.....	17
3.1.5 Slinuté karbidy.....	17
3.2 Rozdělení frézovacích nástrojů.....	18
• Podle ploch na nichž jsou vytvořeny břity	18
• Podle způsobu upínání.....	19
• Podle způsobu výroby břitů.....	19
• Podle průběhu břitů	19
• Podle směru rotace	19
• Podle konstrukce nástroje	19
• Podle výrobního využití	19
4 PŘEHLED FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ	20
4.1 Nástrčné frézy	20
4.1.1 Válcové frézy.....	20

4.1.2	Čelní frézy	20
4.1.3	Kotoučové frézy	20
4.2	Rozdělení válcových a kotoučových fréz	21
4.2.1	Fréza drážkovací	21
4.2.2	Frézy čepovací	21
4.2.3	Frézy rádiusové	22
4.2.4	Frézy úhlové	23
4.2.5	Frézy spárovací	24
4.2.6	Frézy na nekonečný spoj	24
4.2.7	Sady fréz	24
4.3	Stopkové frézy	26
4.3.1	Fréza drážkovací	27
4.3.2	Rybinová fréza	27
4.3.3	Fréza rádiusová	28
4.3.4	Fréza úhlová	28
4.4	Frézy do CNC	28
4.4.1	Objížděcí frézy	29
4.4.2	Spirálové frézy	29
4.4.3	Zaoblovací fréza	30
4.4.4	Úhlová fréza	30
4.4.5	Drážkovací fréza	30
4.4.6	Srovnávací fréza	31
5	UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ	31
5.1	Základní typy upínačů	32
5.1.1	Kleštinové upínače	32
5.1.2	Weldon a Whistle Notch	33
6	FRÉZOVÁNÍ DŘEVA NA CNC	34

6.1	Materiál a metodika.....	34
7	VÝSLEDKY	38
7.1	Vzorek č.1.....	39
7.2	vzorek č.2.....	40
7.3	vzorek č.3.....	41
7.4	Vzorek č.4.....	42
7.5	Diskuze	43
	ZÁVĚR.....	44
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46

ÚVOD

Dřevo je poměrně snadno obrobitelný materiál. Obrábění se rozděluje na třískové a beztřískové. Frézování masivního dřeva patří mezi strojní třískové obrábění rotačním vícebřitým nástrojem, kde po dokončení frézování nám zůstává odpad (piliny, třísky), který může mít další využití například při výrobě aglomerovaných materiálů. Rozlišujeme základní způsoby frézování a to jsou obrábění obvodem nástroje a obvodem i čelem nástroje. Dále rozlišujeme frézování na sousledné, při kterém se nástroj otáčí ve směru posuvu (využití u CNC) a nesousledné při, kterém se nástroj otáčí proti směru posuvu.

Při frézování je nutné brát ohled na výslednou kvalitu opracování. Ta je podmíněna zvolením vhodného nástroje a nastavením vhodných řezných podmínek jako jsou otáčky, posuv a tloušťka odebírané třísky. Vše se děje v tzv. soustavě stroj – nástroj – obrobek (SNO). Na nástroj a jeho upnutí je tedy nutné klást důraz, jelikož bude mít velký vliv na finální výrobek. Nástroj a jeho řezné podmínky volíme vždy s ohledem na technologii výroby daného obrobku. Frézování masivního dřeva se nejvíce uplatňuje při výrobě nábytku, dveří, nebo oken.

V této práci je postupně rozebrána teorie frézování, geometrie nástroje, přehled různých konstrukcí nástrojů. Dále se tato práce zabývá upínáním fréz, jelikož správné upnutí má velký vliv na kvalitu obrobku. V poslední části je zaměřena na experimentální měření drsnosti povrchu po obrábění.

1 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je zpracování výukového textu porovnávajícího dostupné typy fréz. Jako první si klade za cíl zpracování tématu Nástroje pro frézování a jejich upínání do CNC obráběcího centra, která by mohla sloužit jako výukový materiál pro výuku odborných předmětů. Myšlenkou je, porovnat nástroje z hlediska konstrukce. Dále jejich možnosti upínání. Jako další cíl je zhodnocení drsnosti povrchu po frézování vybranými reznými podmínkami vzorků bukového dřeva a jejich možnost využití ve výrobě. Mezi dílčí cíl práce patří vysvětlení teorie frézování a popsání geometrie nástroje.

2 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

2.1 Princip frézování

Frézování patří mezi třískové obrábění materiálu. Při obrábění dochází k oddělení vrstvy materiálu formou třísek, které je zajištěno rotačním vícezubým nástrojem tzv. frézou. Fréza (nástroj) při práci rotuje kolem své osy a při samotném odebírání materiálu, každý zub po obvodu nástroje odebírá třísku z obrobku, který se během toho posouvá proti nástroji. Každý zub odebírá třísku různé tloušťky, oddělování materiálu je přerušované.

Při frézování je použito více druhu nástrojů a díky tomu je možné na obrocích zhotovit především plochy rovinné, dále tvarové, šikmé, nepravidelné a taktéž drážky. (SŠZTS 2007)

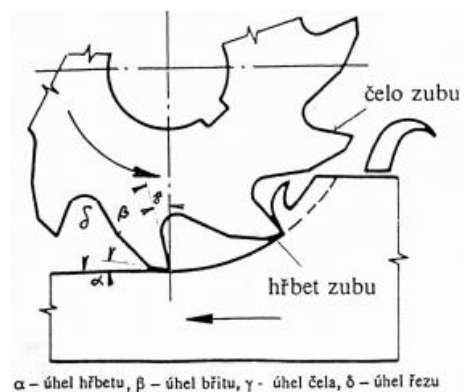
2.2 Podstata frézování

Každý břit frézy vytváří kromě rotačního pohybu i relativně pohyb posuvný vůči obrobku. Z toho plyne, že pohyb zubů nástroje není čistě kruhový, ale vytváří dráhu v podobě tzv. cykloidy. Jedná se o řezný pohyb – hlavní

Obrobek musí být pevně upnut na stole frézky (stroj) a musí se plynule posouvat proti nástroji. Jedná se o pracovní posuv – vedlejší posuv. (SŠZTS 2007)

2.3 Geometrie nástroje

Vzájemná poloha ploch frézy s plochou obrobku vytváří soustavu úhlů, kterým říkáme geometrie břitu.



Obr. 1 Geometrie nástroje

Úhel hřbetu α – úhel, který svírá hřbet zubu frézy a tečna k obvodu nástroje. Úkolem je snižovat tření mezi hřbetem zubu a obráběnou plochou.

Úhel břitu β – úhel, který svírá plocha hřbetu a plocha čela. Pro frézování měkkým materiálů mívá úhel menší hodnotu.

Úhel čela γ – úhel, který svírá plocha čela břitu a spojnice špičky břitu se středem otáčení frézy. Usnadňuje tvoření třísky a vnikání břitu do materiálu

Úhel řezu δ – úhel, který svírá plocha čela a tečna k obvodu frézy. Jedná se o součet úhlů hřbetu a břitu nástroje. ($\delta = \alpha + \beta$)

(SŠZTS 2007)

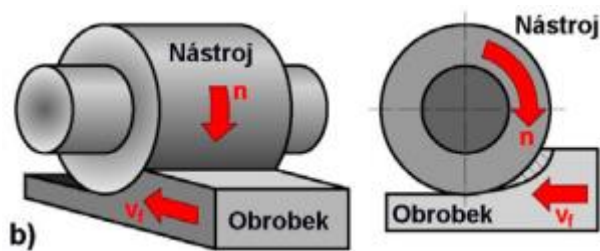
2.4 Druhy frézování

Podle polohy osy nástroje k obrobku dělíme frézování na obvodové a čelní.

1. Obvodové frézování

Obráběná plocha je v tomto případě rovnoběžná s osou rotace nástroje. Používají se hlavně frézy válcové nebo tvarové. U obvodového frézování rozdělujeme dva druhy frézování tj. sousledné a nesousledné. (Brychta 2007)

a) Sousledné frézování

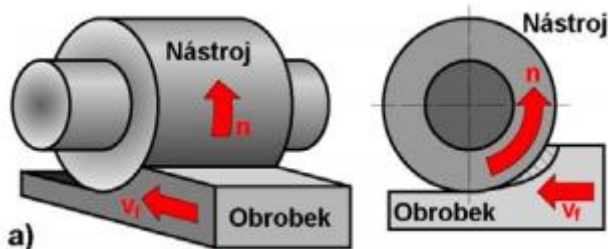


Obr.2 Sousledné frézování (Brychta 2007)

Fréza se otáčí ve stejném směru posuvu obrobku. Zuby se zařezávají do maximální tloušťky třísky a končí na obrobené ploše, tzn. v místě, kde dojde k oddělení třísky. Výhodou tohoto druhu frézování je, že obrobek je tlačěn do upínače to dovoluje práci

ve vyšší řezné rychlosti a posuvu. Břity frézy, které nejsou v řezu, se již nedotýkají obrobené plochy. Vhodné hlavně pro obrábění měkkých materiálů. Použití hlavně pro CNC jelikož jejich posuvové šrouby nemají vůle. (Humár 2003)

b) Nesousledné frézování

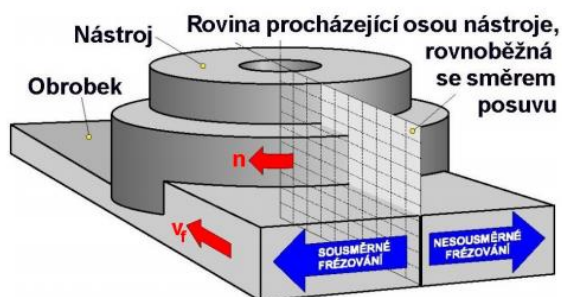


Obr. 3 Nesousledné frézování (Brychta 2007)

Fréza se otáčí proti směru posuvu obrobku. Zuby se zařezávají postupně od nuly po nejvyšší tloušťku třísky. Nevýhodou oproti souslednému frézování je, že břity které nejsou v řezu, kloužou po obrobené ploše a zhoršují jakost povrchu. Řezná síla, která jde proti obrobku, nepříznivě ovlivňuje jeho upnutí, jelikož se ho snaží vytrhnout z upínače. (Humár 2003)

2. Frézování čelní

Obráběná plocha je kolmá k ose rotace nástroje. Používají se frézy, které odebírají materiál pomocí břitů na obvodu frézy, ale také pomocí břitů na čelní ploše nástroje. Tloušťka třísky se od vstupu nástroje do materiálu směrem ke středu frézované vrstvy zvětšuje od nuly do maxima a od středu frézované vrstvy po výstupu břitu z materiálu se zmenšuje od maxima po nulu. Vše záleží na průměru frézy a velikosti obráběné plochy. Frézování čelní je oproti válcovému výkonnější, jelikož v řezu zabírá více zubů.



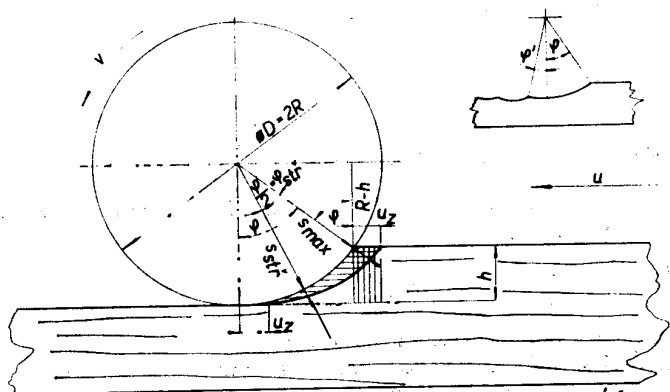
Obr. 4 Čelní frézování (Brychta 2007)

2.5 Kinematika frézování

Kinematika oddělování třísky při frézování v praxi znázorňuje skutečný průřez třísky, který se může od nominálního průřezu třísky odlišovat vlivem:

- Otupení břítu
- Rychlostí posuvu
- Odchylek břitů od řezné kružnice
- Upnutím nástroje
- Mikro a makroskopická stavba dřeva

Dráha břítu po obrobku tvoří tzv. cykloidu. Jelikož je rychlost otáček u větších frézovacích nástrojů v poměru k rychlosti posuvové velmi vysoká, tak můžeme na úseku, kde zabírá břit s dostatečnou přesností předpokládat že, jeho řezná dráha bude tvořena kružnicí.



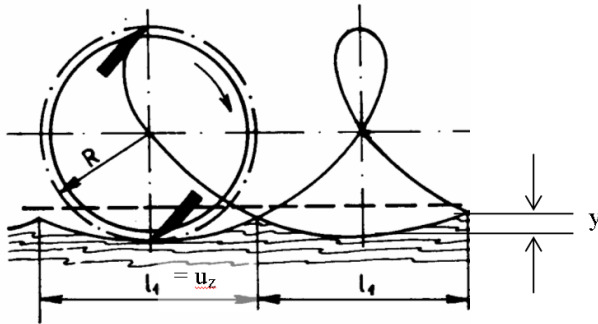
Obr. 5 Kinematické schéma obrábění (Prokeš 1978)

Drsnost povrchu frézované plochy posuzujeme podle kinematických nerovností, tzn. podle hloubky vlnky po frézování. Drsnost povrchu vlnek není totiž ovlivněna jen hloubkou vlnek, ale i rovnoměrností hloubky vlnek. Pro teoretický výpočet hloubky vlnek y lze použít následující rovnici:

$$y = \frac{u_z^2}{4 \cdot D} \Rightarrow u_z = \sqrt{4 \cdot D \cdot y} \quad (1)$$

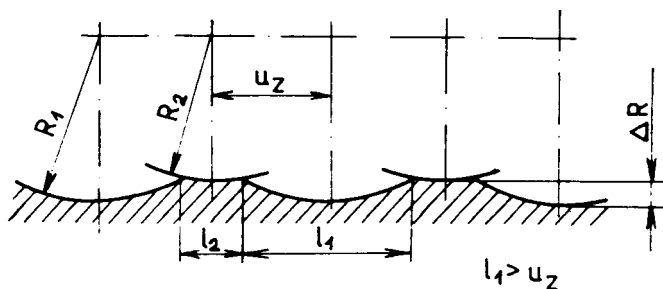
- Kde: y - hloubka kinematických nerovností povrchu [mm],
 D - průměr hrotnice frézovací hlavy [mm],
 u_z - posuv na jeden zub (Varkoček, Rousek, Holopírek 2004)

Při rovinném frézování vznikne trajektorie pohybu nástroje, ze které můžeme odvodit hloubku vlnky. U tohoto příkladu předpokládáme že, ostří nástroje je kružnice. Tento vztah platí, pokud jsou nože přesně upnuty ve frézovací hlavě a nemají odchylky od frézovací kružnice.



Obr. 6 Trajektorie pohybu frézy při rovinném frézování (Lisičan a kol., 1996)

V praxi se však těžko dosahuje při běžném způsobu ostření nožů a jejich upínání do nožových hlav větší přesnosti než jsou 0,02 mm. Důsledkem toho vzniká nerovnoměrné opracování materiálu. Při tomhle ustavení nožů neodebírá každý nůž stejnou tloušťku třísky. Při větší nepřesnosti upnutí nožů se může stát že, některý z nožů je zcela vyřazen z funkce a žádný materiál neodebírá (Prokeš 1978).



Obr. 7 Povrch obrobku při nepřesném nastavení břitů (Lisičan a kol., 1996)

Řezná rychlost ovlivňuje kinematické nerovnosti povrchu. Když jsou ostatní činitelé konstantní, zvyšováním řezné rychlosti se zmenšuje posuv na zub. Je zřejmé, že

požadavek kvality obrobenej plochy (hloubka vlnky y) je určujícím parametrem pro stanovení maximální posuvné rychlosti u .

Ze vztahu pro teoretický výpočet hloubky vlnky (1) lze stanovit maximální teoretickou posuvovou rychlost. Rozeznáváme dva případy:

- a) absolutně přesné nastavení nožů ve frézovací hlavě

$$u_{\max} = u_{z_{\max}} \cdot n \cdot z = \left(\sqrt{4 \cdot D \cdot y} \right) \cdot n \cdot z \quad (2)$$

- b) frézovací hlava řeže pouze jedním nožem

$$u_{\max} = u_{z_{\max}} \cdot n = \left(\sqrt{4 \cdot D \cdot y} \right) \cdot n \quad (3)$$

Kde:	D	průměr hrotnice frézovací hlavy	mm
	y	hloubka vlnky	mm
	n	otáčky hřídele	m.min ⁻¹
	z	počet zubů	-

(Varkoček, Rousek, Holopírek 2004)

3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE

3.1 Řezné materiály nástrojů

Nástrojové materiály pro obrábění dřeva rozdělujeme do těchto hlavních skupin materiálů:

1. Nástrojová ocel uhlíková
2. Nástrojová ocel legovaná
3. Rychlořezná ocel
4. Slinuté karbidy

3.1.1 Nástrojová ocel uhlíková

Tato ocel se používá převážně na nástroje méně namáhané. Nejvyšší vliv na vlastnosti uhlíkové oceli má obsah uhlíku. Tvrdost oceli roste se zvyšujícím se procentem obsahu uhlíku. Při stále se zvětšujícím obsahu uhlíku se tvrdost už výrazně

nemění, ale vlivem cementitu se zlepšuje odolnost proti opotřebení, tím dochází k zlepšení trvanlivosti nástroje. Houževnatost nástroje však s vyšším obsahem uhlíku klesne. Proto při vyšším důrazu kladeném na opotřebení nástroje používáme oceli s vyšším obsahem uhlíku. V opačném případě zvolíme ocel s menším obsahem uhlíku pro dosažení vyšší houževnatosti nástroje. Pro obrábění měkkých dřev se používá ocel s obsahem uhlíku asi 0,5%. Pro tvrdá dřeva je obsah uhlíku asi kolem 1%.

Nástrojové oceli jsou zařazeny ve skupině ocelí třídy 19 namáhané nástroje. (Prokeš 1978)

3.1.2 Nástrojová ocel legovaná

Tyto oceli používají převážně pro střední až vysoké namáhání nástrojů. Vlastnosti oceli ovlivňují tzv. legující prvky a jsou jimi chrom, wolfram, vanad, molybden, mangan a křemík (Cr, W, V, Mo, Mn, Si). K dosažení dobrých řezných vlastností je potřeba vyššího obsahu uhlíku. U ledeburitických chromových ocelí s vysokým obsahem Cr se pohybuje obsah uhlíku v rozmezí 1,3 až 2%.

Mezi nízko a středně legované oceli patří oceli 19733, 19452. Uvedené středně legované oceli mají menší procento obsahu uhlíku v rozsahu 0,4 až 0,6%. Ocel 19422 má dobrou odolnost proti opotřebení. 19422 má vyšší obsah uhlíku 1,4% tím pádem nižší houževnatost. (Prokeš 1978)

3.1.3 Rychlořezná ocel

Legujícími prvky rychlořezných ocelí jsou Cr, W, Mo, V, Co. V každé rychlořezné oceli je obsažen chrom v množství asi 1%. Jedná se o tzv. ledeburitické oceli. Vyznačují se vysokou odolností proti popouštění, houževnatostí, vysokou tvrdostí za tepla tak i za studena a dále také velmi dobrou odolností proti opotřebení. Jsou vhodné pro výkonné a namáhané nástroje.

Do rychlořezných ocelí patří například ocel 19436. (Prokeš 1978)

3.1.4 Doporučené nástrojové oceli pro frézovací nástroje

Ocel	Druh nástroje	Tvrдость HRC
19422	Frézy stopkové Frézy rybinovací Frézy kolíčkovací	50±2
19436	Frézy kotoučové drážkovací Frézy kotoučové úhlové Frézy kotoučové tvarové Frézy zaoblovací Nože do modelářských fréz Nože do drážkovacích hlav Čepovací frézy pro nekonečný vlys	58±2
19452	Nože frézovací Čepovací frézy na okna a dveře	56±2
19733	Frézy kotoučové drážkovací Frézy kotoučové úhlové Frézy tvarové zaoblovací Nože do čepovacích fréz	56±2 56-60

Tab.1. Nástrojové oceli (Prokeš 1978)

3.1.5 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) se vyrábějí pomocí práškové metalurgie. Nejedná se tedy o slitiny ale o směs karbidů kovů a pojiva. Jedná se o karbidy wolframu, titanu, tantalu, niobu a pojiva kobaltu.

Vlastnosti SK jsou závislé na materiálu a průběhu zpracování. Některé druhy SK jsou vhodné pro obrábění dřeva. Běžně používané druhy slinutých karbidů pro obrábění dřeva jsou uvedeny v tabulce.

Slinuté karbidy vykazují vysokou objemovou hmotnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Jejich tvrdost se rozsahem změn teplot, které vznikají na břitu při obrábění dřeva, téměř nemění. Řeznou vlastnost slinutých karbidů určují samotné karbidy. Karbid kobaltu zaručuje potřebnou houževnatost. Při větším procentu kobaltu je slinutý karbid houževnatější, ale ztrácí tím na odolnosti proti otěru. (Prokeš 1978)

Rozdělují se do 3 skupin:

K – jednodokarbidové WC + Co + (TaC.NbC)

P – dvojkarbidové WC + TiC + Co + (TaC.NbC)

M – vícekarbidové WC + TiC + TaC.NbC + Co (Humár 2006)

Označení ČSN/ISO	Složení (%)				Pevnost v ohybu [daN. .mm ⁻²]	Tvrdost HR _C	Objemová hmotnost (g.cm ⁻³)
	WC	Co	TaC	TiC			
H2/K05	91,5	7	1	—	140	90	14,7
H1/K10	94,5	6	0,5	—	160	89	14,75
G1/K20-30	94	6	—	—	170	88,5	14,7
G2/K40	89	11	—	—	180	86,5	14,0
U1/M10	86,5	7	1	5	140	—	—
U2/M20	81	10	5	3	145	89	—

Tab.2 Příklady slinutých karbidů na frézování dřeva (Prokeš 1978)

3.2 Rozdělení frézovacích nástrojů

Frézy jsou jedno až vícebřité rotační obráběcí nástroje, břity jsou uspořádány po obvodu nástroje na jejich válcové, kuželové, nebo tvarové ploše. Čelní frézy mají břity kromě obvodu i na čele nástroje.

Nástroje rozlišujeme podle několika hledisek:

- **Podle ploch na nichž jsou vytvořeny břity**

- Válcové frézy
- Čelní frézy
- Kotoučové frézy
- Úhlové frézy
- Tvarové frézy

- **Podle způsobu upínání**

- a) Nástrčné
- b) Stopkové

- **Podle způsobu výroby břitů**

- a) Frézované
- b) Podsoustružené

- **Podle průběhu břitů**

- a) Přímé
- b) S břity ve šroubovici
- c) S břity střídavými

- **Podle směru rotace**

- a) Pravořezné
- b) Levořezné

- **Podle konstrukce nástroje**

- a) Celistvé
- b) Nerozebíratelně spojené břitové destičky
- c) Výměnné břitové destičky
- d) Složené z více samostatných fréz

- **Podle výrobního využití**

- a) Rovinné frézování
- b) Frézování šikmých ploch
- c) Tvarové frézování
- d) Frézování drážek
- e) Kopírovací frézování

(Humár 2006)

4 PŘEHLED FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ

4.1 Nástrčné frézy

Upínají se za otvor s drážkou na pero, pro přenos kroutícího momentu z vřetena stroje při záběru nožů do materiálu. Dělíme je na válcové a čelní (Humár 2006).

4.1.1 Válcové frézy

Válcové frézy odebírají materiál pouze zuby na obvodu nástroje. Upínají se na vodorovné i svislé vřeteno stroje. Používají se k frézování rovinných ploch, které jsou rovnoběžné s osou nástroje (Humár 2006).

4.1.2 Čelní frézy

Čelní frézy obrábějí materiál kombinací řezu obvodem nástroje který zajišťuje oddělení třísky a taktéž čelem nástroje, který vyhlazuje povrch obrobku. Břity frézy odebírají třísku takřka stejného průřezu proto je nástroj zatížen téměř rovnoměrně. Používají se pro frézky se svislým vřetenem kde se hloubka řezu nastavuje ve směru osy rotace nástroje.

Čelní frézy máme kotoučové a stopkové. Stopkové budou popsány v samostatné kapitole (Humár 2006).

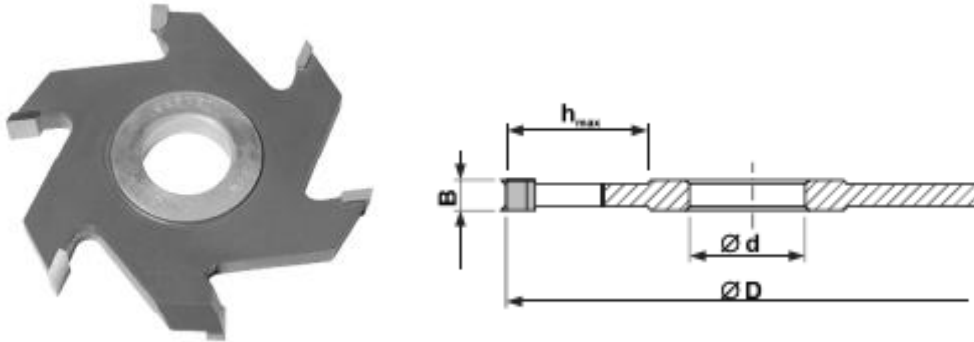
4.1.3 Kotoučové frézy

Kotoučové frézy umožňují obrábět dlouhé, hluboké a otevřené drážky. Pro tento typ frézovacích operací zajišťují nejvyšší stabilitu a produktivitu obrábění. Umožňují také vytvoření složených nástrojů z několika frézovacích kotoučů pro obrábění více rovin na jedné ploše ve stejnou dobu. Tyto nástroje se používají zejména ve spodních frézách, dále pak dále pak u čtyřstraných frézek a například i u okenních obráběcích center (Janíček 2000).

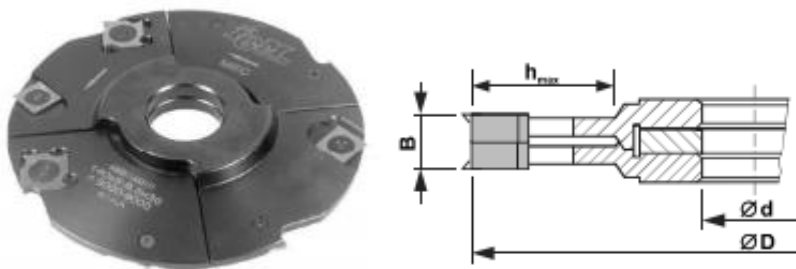
4.2 Rozdělení válcových a kotoučových fréz

4.2.1 Fréza drážkovací

Jsou určeny pro příčné i podélné drážkování dřeva, ale také pro dřevotřísku a překližky.



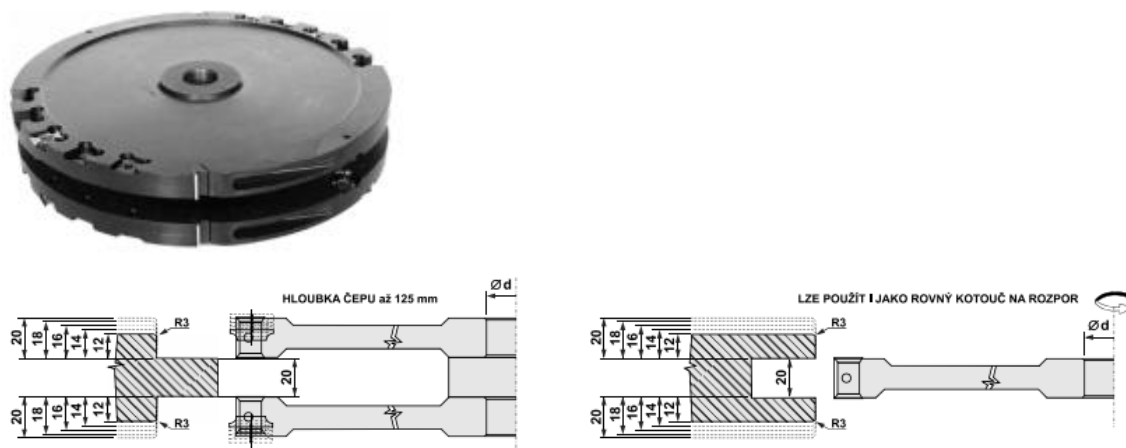
Obr. 11 Fréza drážkovací s rovnými zuby a předřezy s pájenými destičkami z SK (Pilana Market 2017)



Obr. 12 Fréza drážkovací stavitelná s VBD (Pilana Market 2017)

4.2.2 Frézy čepovací

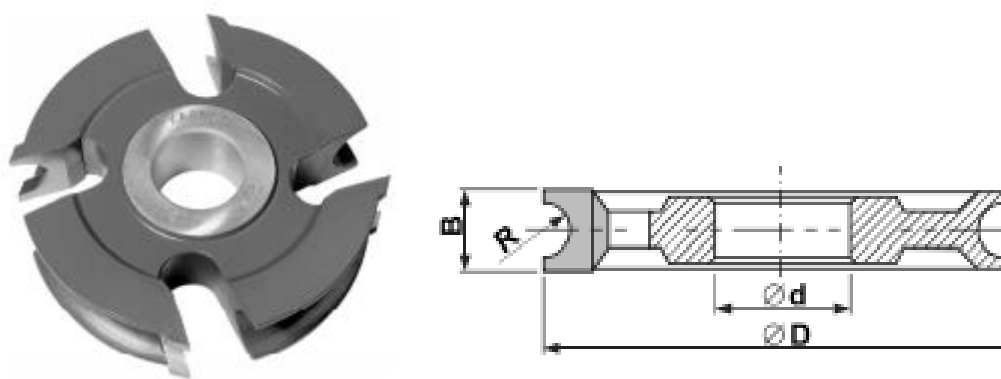
Mohou se použít i pro zhotovení drážek tak i čepů. Uvedena bude pouze fréza pro strojní posuv.



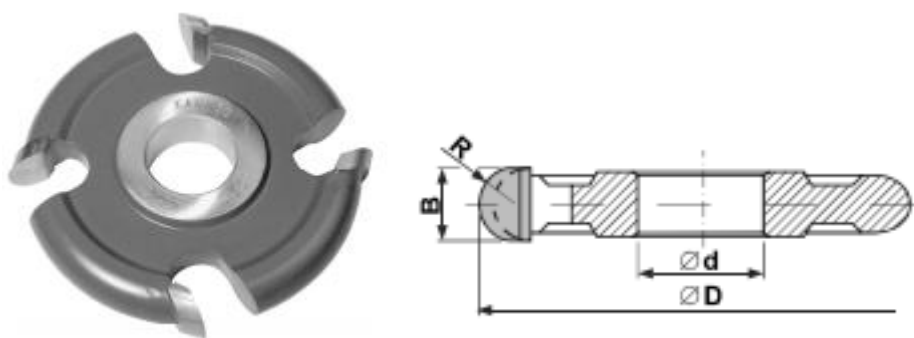
Obr. 13 Sada čepovacích fréz s VBD (Pilana Market 2017)

4.2.3 Frézy rádiusové

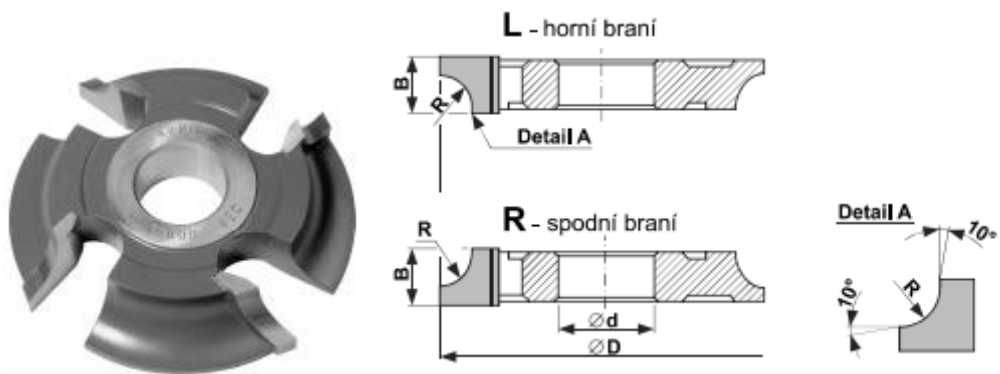
Jsou určeny k zaoblování, zhotovení rádiusových ploch a kruhových tvarů v měkkém i tvrdém dřevě.



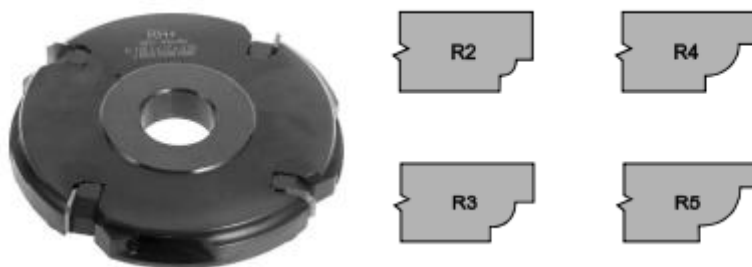
Obr. 14 Fréza rádiusová půlkruhová vydutá s pájenými břity z SK (Pilana Market 2017)



Obr. 15 Fréza rádiusová půlkruhová vypouklá s břity z SK (Pilana Market 2017)



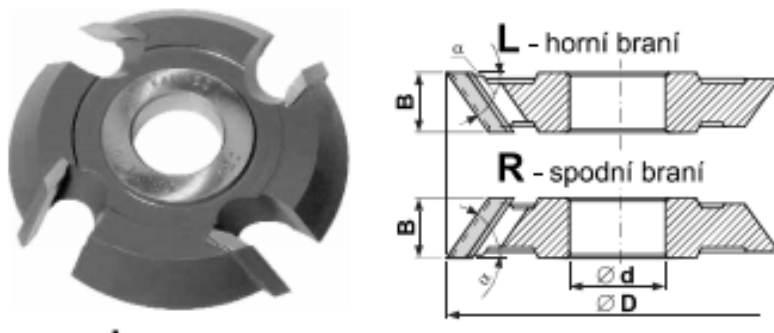
Obr. 16 Fréza radiusová čtvrtkruhová vydutá s břity z Sk (Pilana Market 2017)



Obr. 17 Fréza zaoblovací multiradius s VBD (Pilana Market 2017)

4.2.4 Frézy úhlové

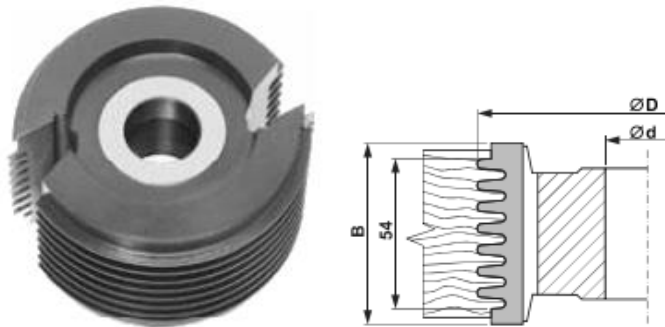
Jsou vhodné pro srážení hran a výrobu rohových spojů všech dřev tak i nábytkářských materiálů.



Obr. 18 Fréza úhlová s pájenými břity z SK (Pilana Market 2017)

4.2.5 Frézy spárovací

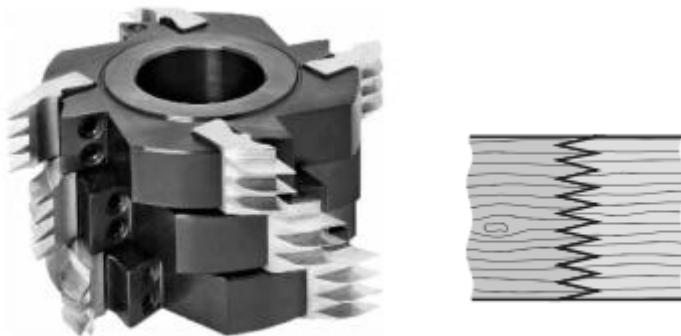
Využívají se především při podélném spárování, napojení a spojení segmentů na výrobu obloukových oken z tvrdého i měkkého dřeva.



Obr. 19 Fréza spárovací pro příčný spoj s břity z SK (Pilana Market 2017)

4.2.6 Frézy na nekonečný spoj

Využívají se hlavně na oblouková okna a na místech kde se se spojovaná plocha musí obrábět v různých směrech.

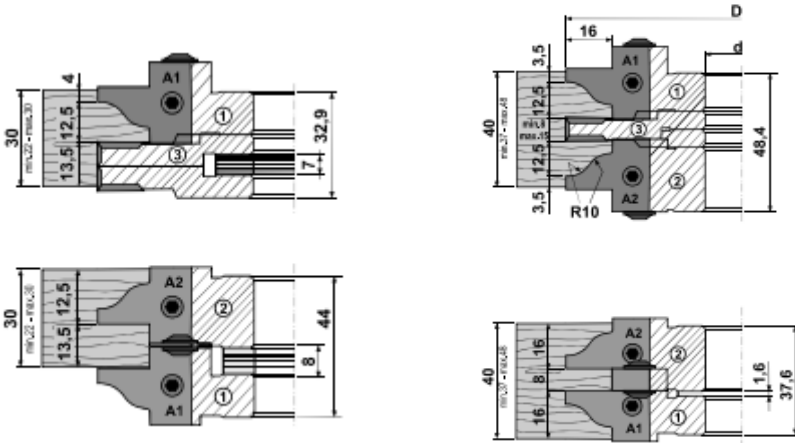


Obr. 20 Fréza na nekonečný spoj osazená výměnými noži HSS (Pilana Market 2017)

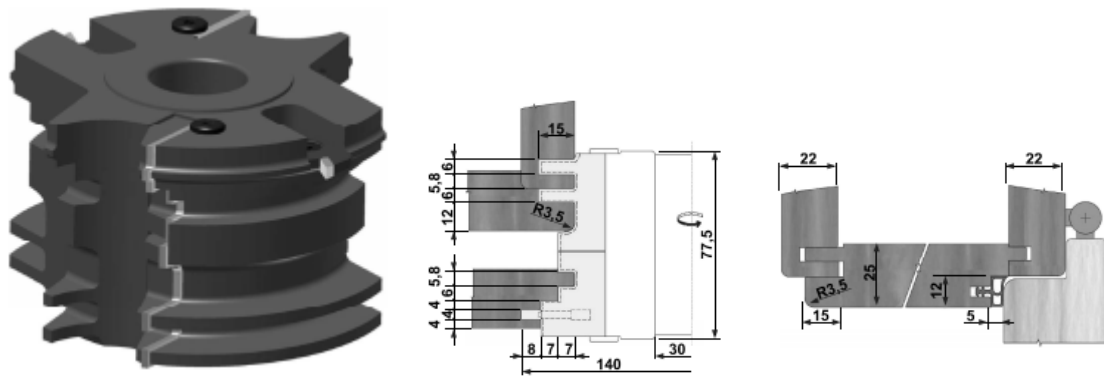
4.2.7 Sady fréz

Jsou to frézy které jsou složené z několika nástrojů. Spadají sem frézy na dveře, frézy na zárubně, na okenní rámy, na eurookna, na palubky a frézy na pero a drážku.

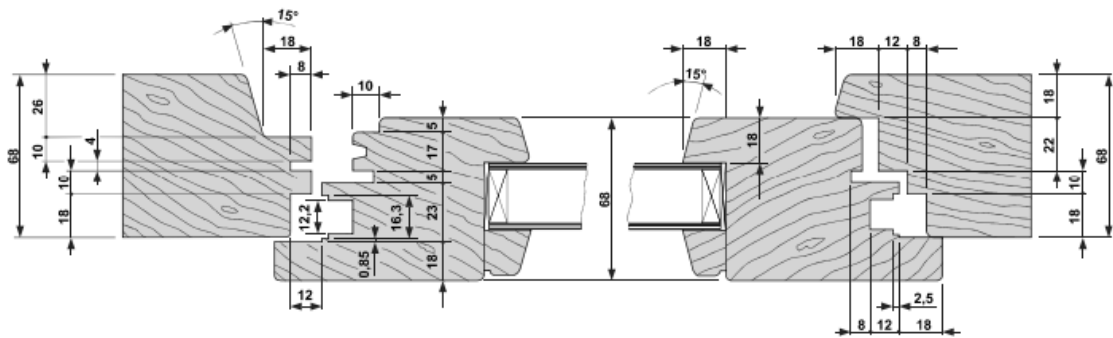




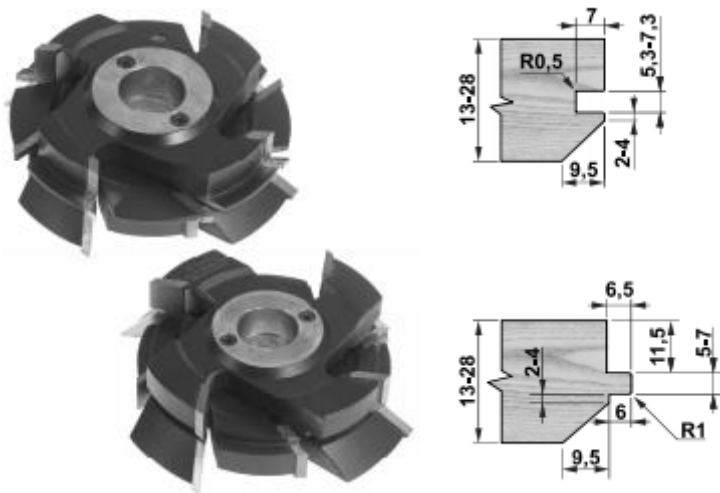
Obr. 21 Sada fréz na dveře s VBD, pro upnutí 5 profilů (Pilana Market 2017)



Obr. 22 Sada fréz na dveřní zárubně z VBD (Pilana Market 2017)



Obr. 23 Sada fréz na Eurokono 68 s pájenými břity z SK (Pilana Market 2017)



Obr. 24 Sada fréz na pero a drážku s pájenými břity HM (Pilana Market 2017)

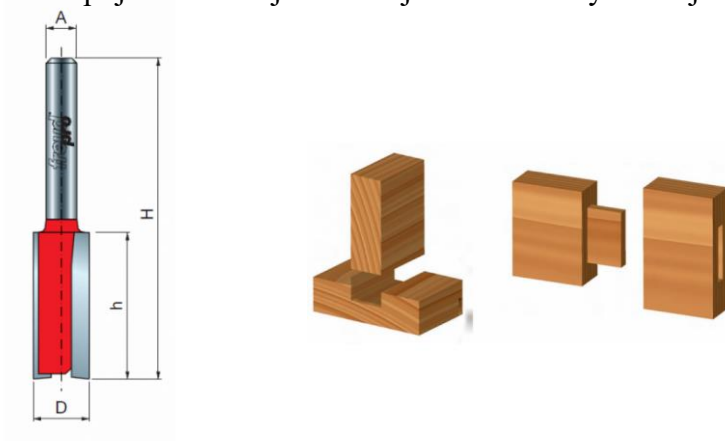
4.3 Stopkové frézy

Stopkové frézy mají upínací část válcovou, která se upíná do přípravku, který se pak dále upne do stroje. Osa nástroje je shodná s osou vřetene. Většina stopkových fréz se dá upnout a použít u CNC obráběcích strojů. Dále se mohou použít i na spodních

frézách vybavených speciální maticí a kleštinou pro upnutí stopkového nástroje. (Janíček 2000)

4.3.1 Fréza drážkovací

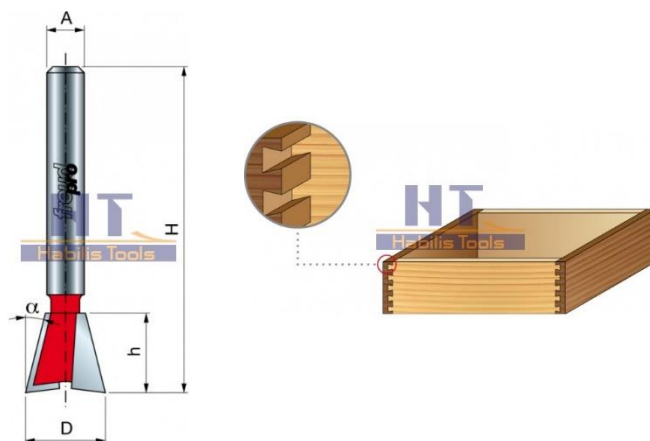
Drážkovací fréza je určena i pro frézování měkkého a tvrdého dřeva. Pro zhotovení spojů a drážek i spojů vnitřních jelikož se jedná dvoubřitý nástroj.



Obr. 25 Drážkovací stopková fréza dvoubřitá (Habilis tools 2017)

4.3.2 Rybinová fréza

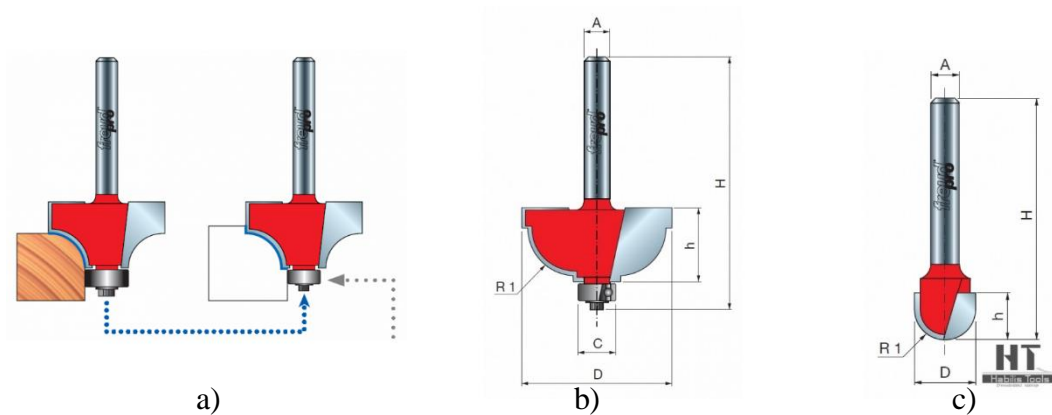
Používá se pro výrobu drážek pro rybinový spoj.



Obr. 26 Fréza rybinová (Habilis tools 2017)

4.3.3 Fréza rádiusová

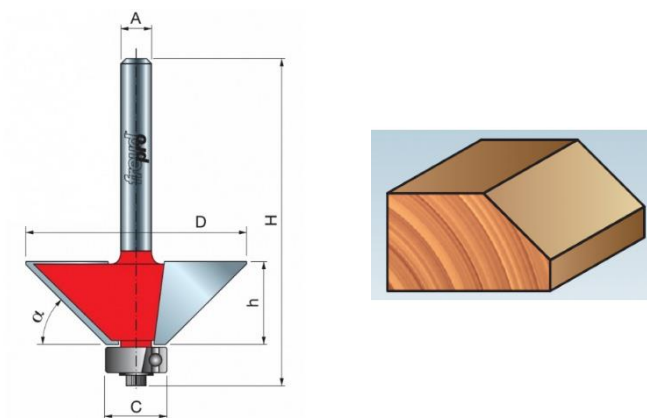
Pro frézování zaoblování hran a frézování rádiusu v ploše



Obr. 27 a) Fréza zaoblovací vydutá, b) vypouklá, c) Fréza půlkuhová do plochy (Habilis tools 2017)

4.3.4 Fréza úhlová

Fréza pro srážení hran a frézování úkosů.



Obr. 28 Fréza úhlová (Habilis tools 2017)

4.4 Frézy do CNC

Speciální frézy určené pouze do CNC obráběcích strojů. Jsou vyráběny na nejmodernějších CNC strojích a ostří je vybroušené do nejvyšší jakosti. Nejčastěji se používají spirálové frézy, žiletkové frézy s výměnnými břitovými destičkami. Pro formátování a frézování drážek se používají tři základní pracovní postupy:

- a) Postupné zafrézování
- b) Spirálové zafrézování
- c) Kolmé – axiální zafrézování

(Pilart 2017)

4.4.1 Objížděcí frézy

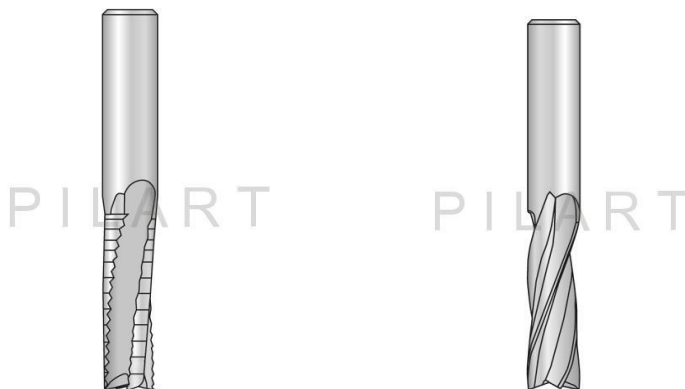
Nástroj je vhodný pro hrubé frézování velkých formátů měkkého i tvrdého masivního dřeva. Nástroje jsou osazeny výměnnými břitovými destičkami.



Obr. 29 Objížděcí frézy s VBD do CNC stroje (Pilart 2017)

4.4.2 Spirálové frézy

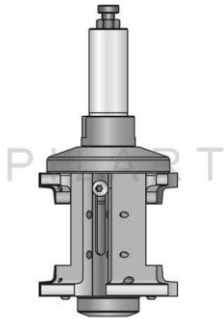
Pro frézování drážek a rohových spojů. Rozlišujeme dva druhy spirálových fréz pro CNC a to hrubovací a dokončovací. Hrubovací fréza se používá pro hrubé rozfrézování kde není kladen požadavek na kvalitu povrchu. Dokončovací frézy se používají pro zajištění požadavku na kvalitu povrchu a rozměrové přesnosti.



Obr. 30 Hrubovací a dokončovací spirálové frézy. (Pilart 2017)

4.4.3 Zaoblovací fréza

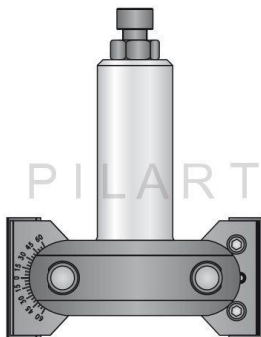
Nástroj je určen pro sražení hran měkkého i tvrdého dřeva. Fréza je stavitelná lze ji zaoblit hrany dílců od 12 do 62 mm. Je osazena třemi druhy destiček zaoblovací spodní a horní a rovné destičky.



Obr. 31 Zaoblovací fréza do CNC (Pilart 2017)

4.4.4 Úhlová fréza

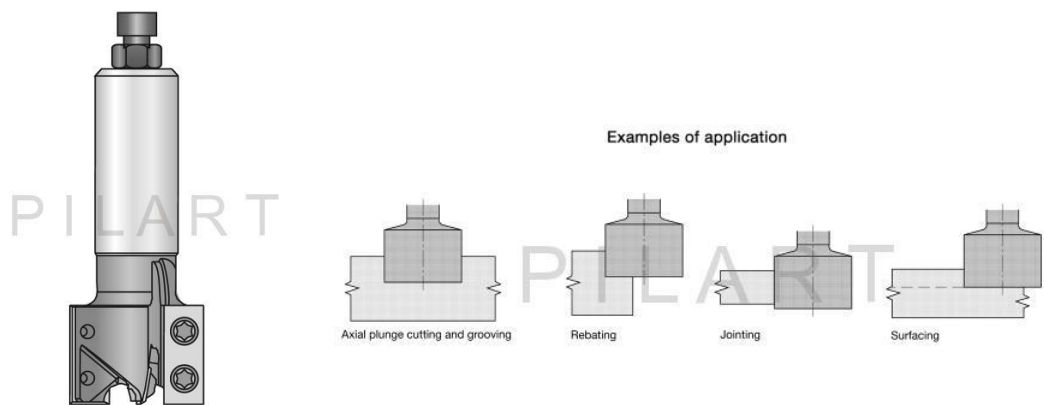
Fréza určená pro sražení hran jak na tvrdém tak měkkém dřevě. Jedná se o stavitelnou úhlovou frézu. Vyklápěcí segmenty lze nastavit v rozpětí 45° až 90°. Úhel lze nastavit pomocí stupnice na nástroji, nebo přiložením vzoru k upnuté fréze.



Obr. 32 Fréza úhlová pro CNC (Pilart 2017)

4.4.5 Drážkovací fréza

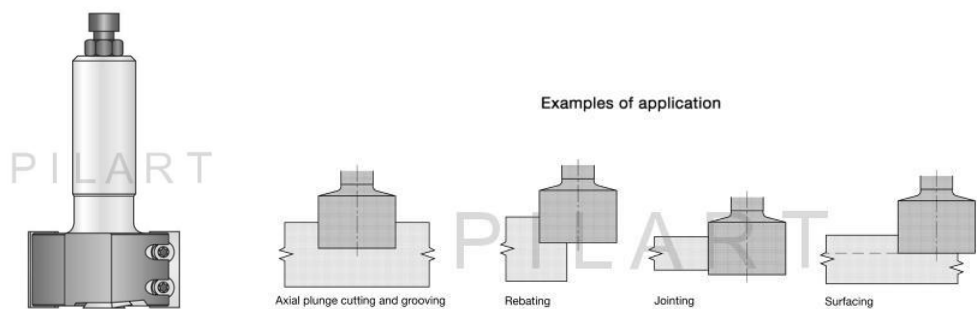
Nástroj je vhodný pro frézování drážek a polodrážek jak pro tvrdé tak i pro měkké dřevo.



Obr. 33 Drážkovací fréza pro CNC (Pilart 2017)

4.4.6 Srovnávací fréza

Fréza je určena převážně pro zhotovení polodrážek a pro srovnávání a spárování tvrdého i měkkého dřeva.



Obr. 34 Srovnávací fréza pro CNC (Pilart 2017)

5 UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ

Nástroje nejsou v mnoha případech upínány přímo do dutiny obráběcího stroje. Tohle řešení by bylo nejjednodušší avšak by bylo velmi nákladné z důvodu, že by nástroj musel být vybaven rozměrnou upínací kuželovou stopkou.

Nástroje jsou vybaveny pouze válcovou stopkou a jsou tvořeny dalším prvkem, který tvoří přechod mezi upínací částí nástroje a dutinou obráběcího stroje.

Požadavky ovlivňující konstrukci upínače:

- Dokonalý přenos kroučícího momentu a sil mezi upínačem a nástrojem

- Vysoce přesné středění nástroje s dobrou opakovatelností
- Vysoká vlastní tuhost
- Statické a dynamické vyvážení
- Životnost
- Cenová dostupnost
- Snadná a rychlá manipulace při ruční výměně
- Úchopové místo pro automatickou výměnu.

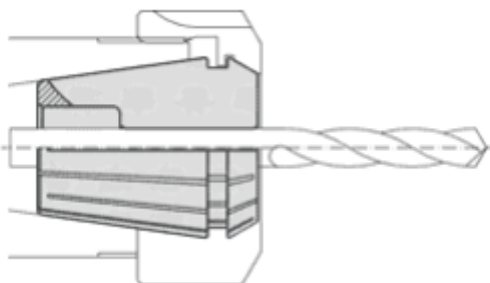
(Štajnochr 2013)

5.1 Základní typy upínačů

5.1.1 Kleštinové upínače

Jejich princip spočívá v zatlačování výměnné kleštiny do dutiny upínače pomocí převlečné matice. Kleština je opatřena zářezy po obvodu, které po dotažení matice umožní její malou pružnou deformaci a tím upnutí nástroje. Kleštinové upnutí dává zajišťuje dobrou přesnost a přenos kroutícího momentu. Rozsah upnutí všech vložek bývá 0,5 až 1 mm. Upínače je třeba vybavit kleštinami potřebných průměrů nebo celou sadou v rozsahu od 2 mm do 25 mm. Výhodou je možnost upnutí libovolných průměrů. (Štajnochr 2013)

Pokud není kleština zatahována nebo vtlačována přesně v ose kuželové dutiny, dochází k mírnému vychýlení její osy. Nástroj vykazuje určitou házivost. V tomhle případě u kleštinových upínačů je to 10 až 20 μm . (Technický týdeník 2012)

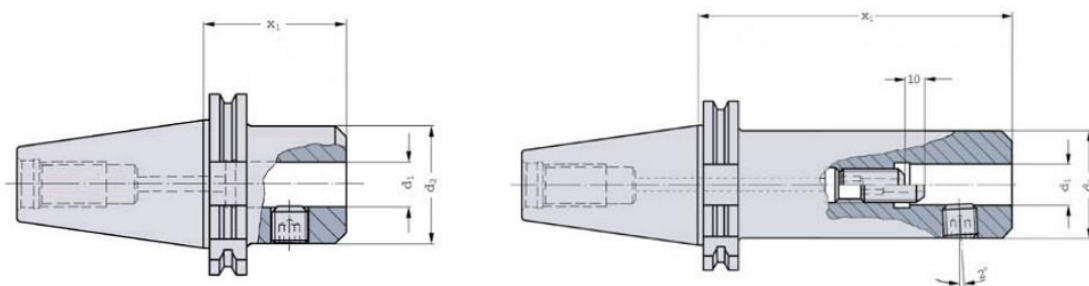


Obr. 35 Princip kleštinového upínače (Štajnochr 2013)

5.1.2 Weldon a Whistle Notch

Jde o nejjednodušší a cenově nejdostupnější upínače na trhu. Jsou určeny k upnutí nástroje s válcovou stopkou, která musí být opatřena odpovídající boční plochou. Weldon upínače zajišťují upnutí jedním nebo dvěma šrouby kolmé na osu nástroje. Whistle Notch jedním nebo dvěma šrouby, které jsou nakloněné o 2° . Pro potlačení excentricity z důvodu jednostranného působení upínací síly na nástroj, je vnitřní průměr upínače broušen s přesností H4. Na nástroji se požaduje stopka s přesností h6. Upínače se vyrábí pouze v průměrové řadě 6,8,10,12,16,20,32,40 mm. Jiné rozměry není možné upnout a je třeba na to při nákupu nástrojů pamatovat (Štajnochr 2013).

Princip jejich upnutí je značnou nevýhodou. Jelikož nástroj je upínacím šroubem tlačěn mimo osu rotace. Házivost upnutého nástroje je 15 až 20 μm (Technický týdeník 2012)



Obr. 36 Upínače Weldon a Whistle Notch (Štajnochr 2013).

Při výběru upínače je třeba dát pozor na ukončení vřetene obráběcího stroje. Nejběžnější jsou strmé nesamosvorné ISO kužely. Umožňují snadnou ruční nebo automatickou výměnu. Nejběžnější ISO 40 a ISO 50.

Stále častěji se vřetena strojů ukončují krátkým dutým kuželem HSK. Výhodou kužele HSK je snížení hmotnosti a rozměrů oproti ISO. Důležité především pro manipulátory a zásobníky nástrojů. Nejběžnější je HSK 63 (Štajnochr 2013).

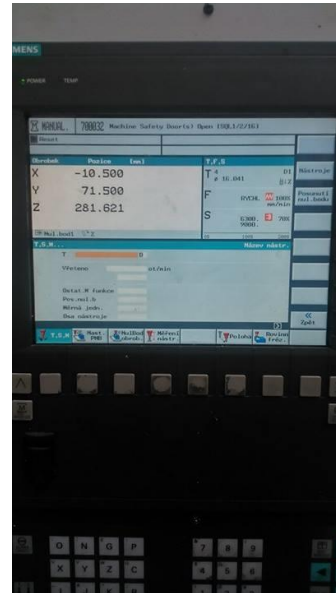
6 FRÉZOVÁNÍ DŘEVA NA CNC

6.1 Materiál a metodika

Z bukové dřeva byly vyrobeny vzorky pro frézování o rozměrech 400 x 160 x 35 mm. Vzorky byly zhotoveny ve školních dílnách v areálu Mendelovy univerzity v Brně. Frézování probíhalo na strojním zařízení SŠ TEGA Blansko. Jednalo se o rovinné frézování, které probíhalo za různých podmínek vždy po směru dřevních vláken.

CNC stroj

Jedná se o vertikální 3 osé CNC obráběcí centrum Hardinge Bridgeport 800 P. Pojezdy os jsou následující: osa X – 800 mm, osa Y – 510 mm a osa Z – 600 mm. Maximální otáčky vřetene jsou 9000 ot·min⁻¹. Stroj je řízen pomocí řídicího systému Siemens. Je dálkově propojen s počítačem, přes který se do systému posílá výrobní kód, ve kterém jsou všechny zadané parametry, které budou popsány níže. Součástí stroje je i nástrojová a obrobková sonda a automatická výměna nástrojů se zásobníkem na 20 nástrojů.



Obr. 37 CNC stroj Hardinge ve strojním parku SŠ TEGA Blansko

Obr. 38 Prostředí systému Siemens

Použitý nástroj

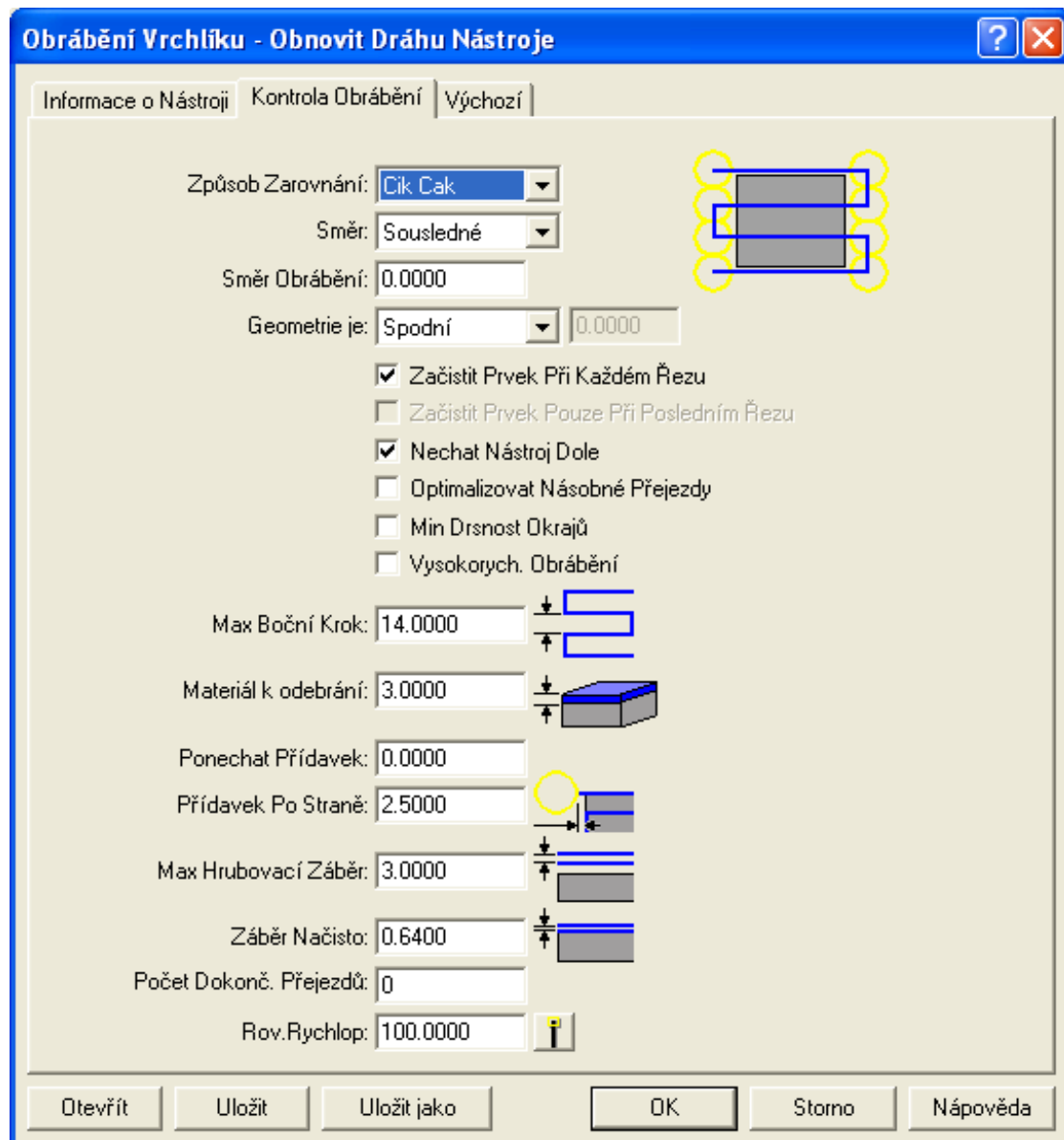
Pro frézování byla použita stopková fréza o průměru 16 mm se čtyřmi břity. Fréza byla z rychlořezné oceli zcela nová, tudíž břity nástroje byly dokonale ostré.



Obr. 39 Použitá 4 břítá fréza

Vzorky byly frézovány při zvolených parametrech, které budou popsány níže. Vstupní parametry, které byly zadány do stroje se dále, upravovali na samotném stroji v jeho systému.

Zvolené vstupní řezné podmínky



Obr. 40 Nastavení frézování

Obrábění Vrchlíku - Obnovit Dráhu Nástroje

Informace o Nástroji | Kontrola Obrábění | Výchozí

Vybrat Nástroj: 16mm - 4 flute - HSS Endmill

Vybrat Materiál: Aluminum

Číslo Nástroje: 4 Průměr Nástroje: 16.0000

Délkový Ofset: 0 Poloměr Hrotu: 0.0000

Průměrový Ofset: 141 Počet Břitů: 4

Pracovní Ofset: 0 Materiál Nástroje: Rychlořezná oc

Měřená Z Délka: 0.0000 Chlazení: Vypnuto

Otáčky: 9000 CW Řezná Rychlost: 452.3893

Posuv: 15000.0000 mm/r Tříska Při Posuvu: 0.4167

Zavrt. Posuv: 15000.0000 mm/ Tříska Při Zavrt.: 0.4167

Plynulý Průjezd: 15000.0000 Knihovna Řezná Rychlost: 75.0

Knihovna Třísky: 0.312500

Vždy Přepočítat Vypočítat Teď

Číslo Programu: 0

Vložit Příkazy Postprocesoru

Komentáře: Nic

Otevřít Uložit Uložit jako OK Storno Nápověda

Obr. 41 Nastavení nástroje

Zvolené řezné podmínky

č. vzorku	Hloubka úběru [mm]	Otáčky [ot·min ⁻¹]	Posuv [m·min ⁻¹]
1	3	6300	15
2	3	6300	18
3	2	9000	15
4	1	9000	15

Tab.3 Parametry frézování

Měření drsnosti

Měření drsnosti probíhalo v laboratoři povrchové úpravy v budově T v areálu Mendelovy univerzity Brno. Měření bylo vyhodnoceno pomocí drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-201. Měření je zajištěno pomocí hrotu na posuvové jednotce, která se posouvá po povrchu měřeného dílce. Před každým měřením se přístroj kalibroval.



Obr. 42 Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-201

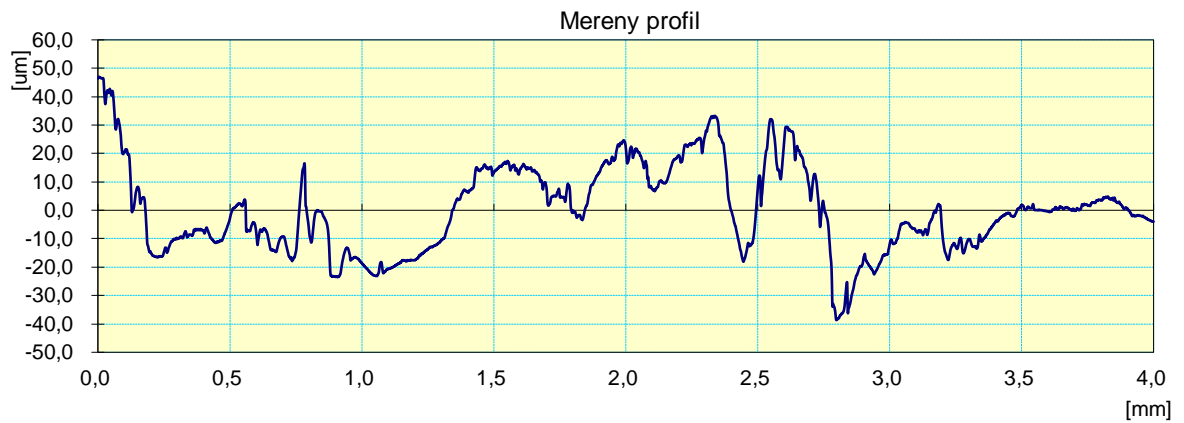
7 VÝSLEDKY

Při vyhodnocení drsnosti povrchu byly vyhodnoceny parametry Ra, Rz. Výsledky nejsou statisticky zhodnoceny, jelikož měření proběhlo pouze na 3 místech, budou v tabulce uvedeny všechny 3 měření. Nastavení přístroje pro Mitutoyo bylo následující: Hrot byl nastaven na posuv v délce 4 mm. Měření bylo provedeno na 3 místech vzorku. Měření bylo provedeno jak podél vláken, tak napříč vláken dřeva. Vše bylo zaznamenáno do počítače, který v programu excel vygeneroval protokol o měření drsnosti i s grafickým zhodnocením.

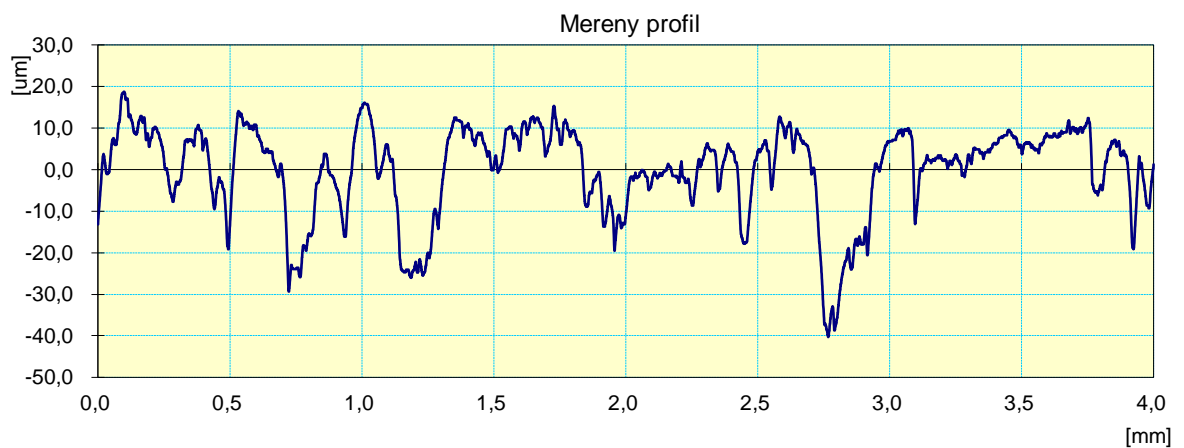
7.1 Vzorek č.1

podélné			
	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	7.38 um	8.98 um	12.00 um
Rz	40.72 um	42.69 um	70.82 um
příčné			
	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	21.28 um	22.60 um	7.04 um
Rz	110.8 um	101.7 um	41.59 um

Tab. 4 Hodnoty drsností



Graf 1. profil povrchu v podélném směru 1. měření



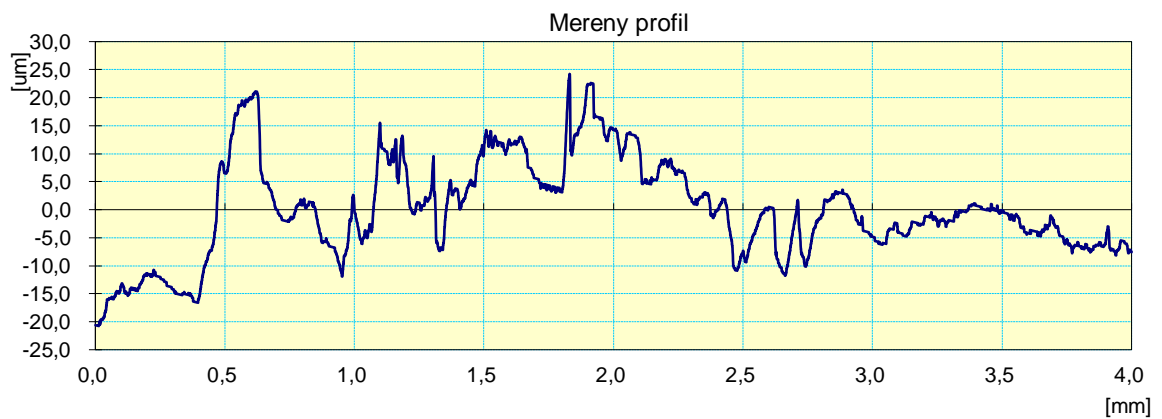
Graf 2. profil povrchu v příčném směru 3. měření

7.2 vzorek č.2

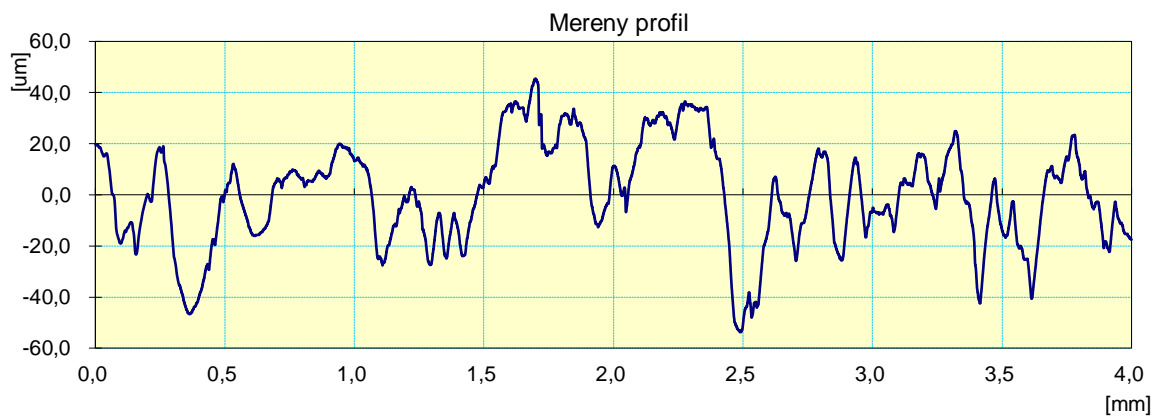
podélné

	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	6.20 um	4.29 um	11.70 um
Rz	36.05 um	21.90 um	55.14 um
	příčné		
	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	16.53 um	12.42 um	15.37 um
Rz	80.44 um	69.33 um	81.68 um

Tab.5 Hodnoty drsností 2. vzorku



Graf 3. profil povrchu v podélném směru 2. měření



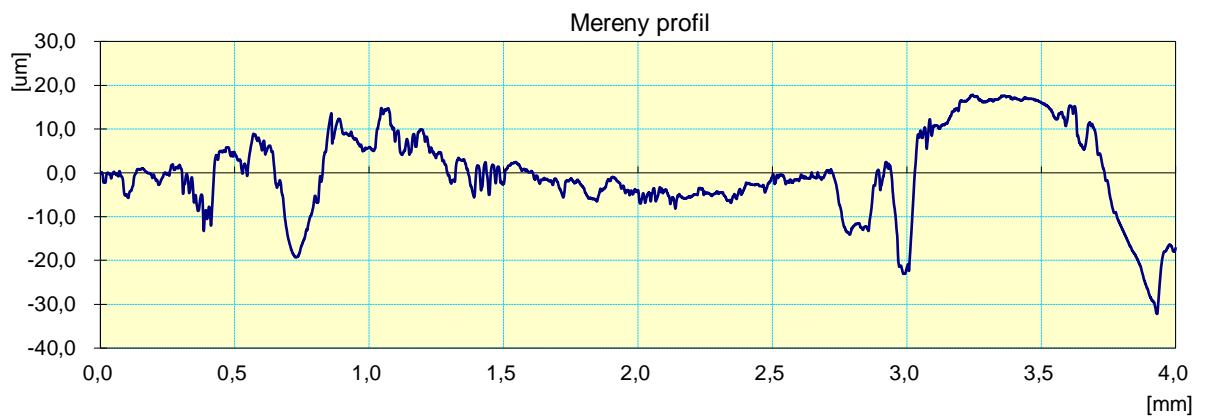
Graf 4. Profil povrchu v příčném směru 2. měření

7.3 vzorek č.3

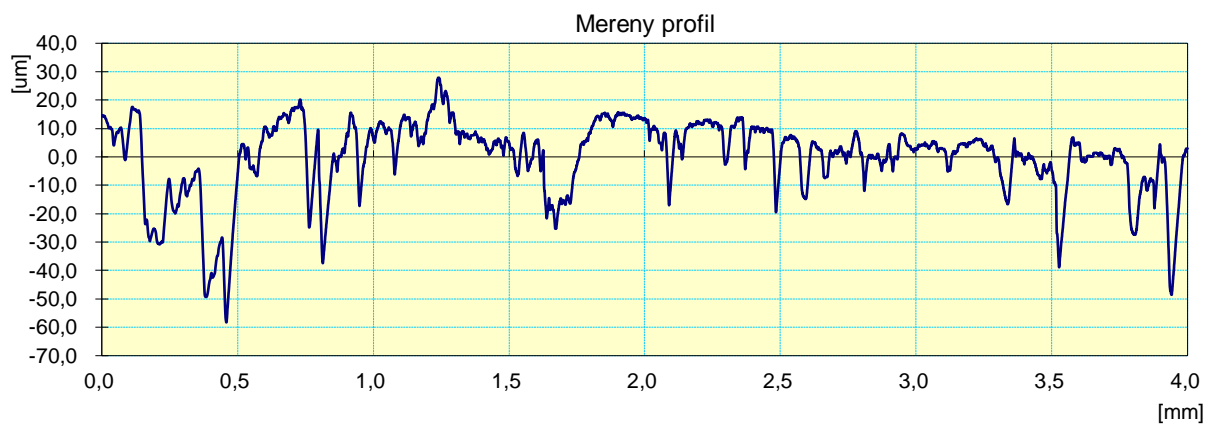
podélné

	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	7.76 um	4.29 um	7.93 um
Rz	47.69 um	23.17 um	44.47 um
	příčné		
	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	10.77 um	7.63 um	9.83 um
Rz	71.57 um	51.13 um	51.61 um

Tab. 6 Hodnoty drsností 3. vzorku



Graf 5. Profil povrchu v podélném směru 2. měření



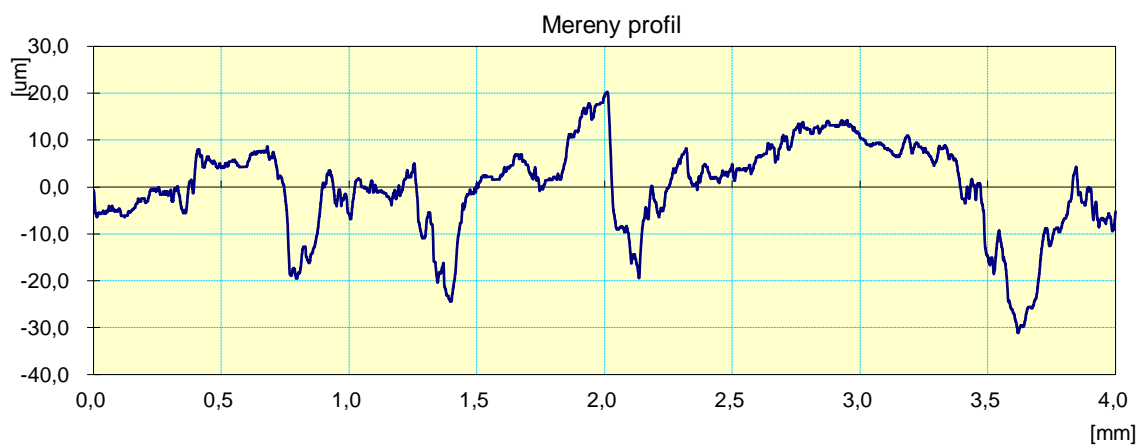
Graf 6. Profil povrchu v příčném směru 2. měření

7.4 Vzorek č.4

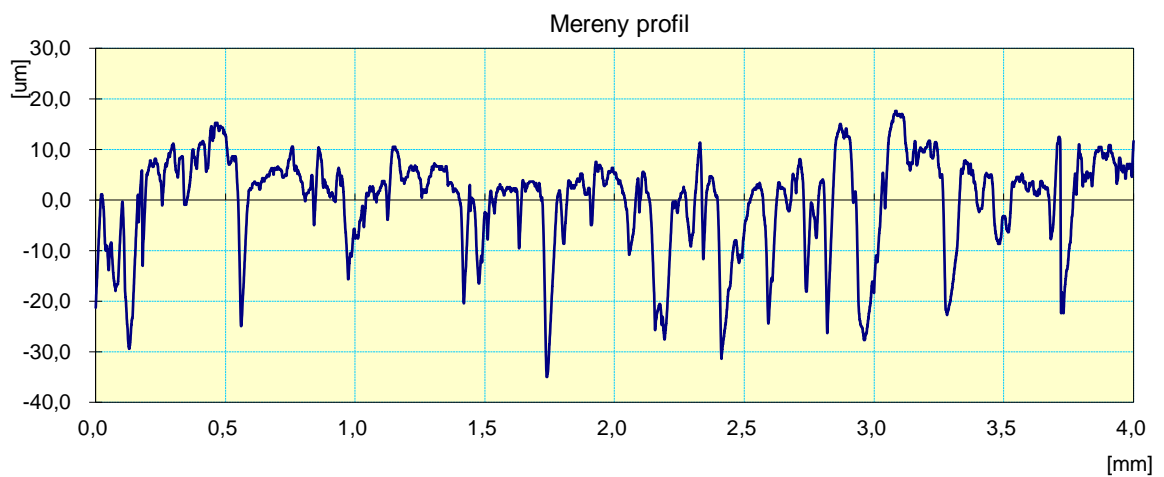
podélné

	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	5.09 um	4.89 um	6.45 um
Rz	26.08 um	26.13 um	38.03 um
	příčné		
	1.měření	2.měření	3.měření
Ra	11.49 um	13.73 um	6.16 um
Rz	66.72 um	77.05 um	44.36 um

Tab.7 Hodnoty drsností vzorku č.4



Graf 7. Profil povrchu v podélném směru 2. měření



Graf 8. Profil povrchu v příčném směru 3. měření

7.5 Diskuze

Drsnost povrchu na frézovaných vzorcích byla posuzována pouze pomocí drsnoměru Mitutoyo v laboratoři povrchové úpravy. Jako hlavní parametry, které byly sledovány, byly hodnoty střední aritmetické úchylky Ra a výška nerovnosti Rz.

Frézovány byly 4 vzorky a každý vzorek byl frézován mnou zvolenými parametry. U každého vzorku se lišilo nastavení rychlostí posuvu, hloubkou řezu nebo otáčkami vřetene.

Vzorek číslo 1 byl frézován za podmínek uvedených v tabulce č.3. Podle výsledků naměřených pomocí drsnoměru je patrné, že oproti ostatním vzorkům vykazuje nejhorší výsledky kvality opracování jak v příčném tak i v podélném směru. V podélném směru je rozdíl naměřených hodnot Ra a Rz celkově moc nelišil. U příčného směru byl rozdíl už velmi vysoký jelikož první a druhé měření se pohybovalo v hodnotách 21,28 respektive 22,60 μm , u třetí měření tomu bylo pouhých 7,04 μm , což odpovídá spíše podélnému směru. Jelikož dřevo je nestejnorodý materiál mohlo měření proběhnout v místě, které bylo nejméně porušeno vytrhanými vlákny. Zvolené podmínky frézování bych nepovažoval za ideální.

U druhého vzorku byl zvýšen posuv o 3 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Vzorek vykazoval taktěž porušené a vytrhané dřevní vlákna, oproti prvnímu vzorku jich ale již nebylo tolik. I výsledky měření ukazují na mírné zlepšení. V podélném směru jsou rozdíly naměřených hodnot nepatrně vyšší a to jak u Ra tak i u Rz. Jelikož dřevo má anizotropní charakter, bude vždy měření na různých částech povrchu odlišné. V příčném směru již tyto rozdíly nejsou tak velké. Můžu tedy tvrdit, že při zachování stejných otáček a úběru materiálu nám zvýšení posuvu přineslo lepší výsledky kvality opracování i když bylo stále patrné množství vytrhaných dřevěných vláken.

U třetího vzorku byly zvýšeny otáčky na 9000 a snížen úběr materiálu o 1 mm při zachování původního posuvu 15 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Vzorek již na pohled nevykazoval vytrhané dřevní vlákna. Zde můžeme oproti předchozím vzorkům pozorovat zlepšení. V podélném směru nebyly naměřené hodnoty od sebe výrazně odlišné, avšak v podélném směru byly výsledky prvního měření nepatrně horší. Rozdíl přibližně 1,5 μm u Ra bych, ale nepovažoval za podstatný. U příčného směru ukazují hodnoty zlepšení jak u Ra tak i u Rz. Porovnáme-li příčný směr měření se všemi vzorky, za podmínek zvolených pro třetí vzorek nám vyšel zcela nejlépe.

U posledního vzorku jsme pouze snížili úběr materiálu na 1 mm a zachovali jsme otáčky 9000 a posuv $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Tento vzorek také na pohled nevykazoval vytrhané dřevní vlákna. Z výsledků měření je patrné, že v podélném směru výsledky Ra a Rz vykazují nejlepší výsledky ze všech měřených vzorků. U příčného měření však výsledek Ra i Rz vychází o poznání hůře než je tomu u třetího vzorku. Myslím si, že tyto rozdíly nejsou až tak veliké a oproti prvním dvěma vzorků je vidět zlepšení v kvalitě opracování. Tyto podmínky použité pro 4. vzorek bych tedy ze všech považoval za nejlepší.

Otáčky $6300 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ bych nepovažoval za ideální, jelikož docházelo k značnému vytrhávání vláken dřeva u obou zvolených posuvech. U $9000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ při zachování původního posuvu došlo k zlepšení a však byl snížen úběr materiálu. Zde bych přihlédl k tomu že, rozlišujeme hrubovací a dokončovací frézování. Pokud by u jiných podmínek s úběrem materiálu 3 mm nedocházelo k vytrhávání vláken, mohlo by se uvažovat o podmínkách ideálních pro hrubovací frézování, u kterého nezáleží na kvalitě opracování. U frézování dokončovacího si myslím, že by podmínky zvolené při posledním frézovaném vzorku mohli být pro tuto operaci využitelné.

ZÁVĚR

Ve strojním obrábění se dá frézování považovat za jednu z nejpodstatnějších operací nejen u obrábění dřeva, ale jakéhokoliv materiálu. Jelikož pomocí frézovacích nástrojů lze zhotovit v podstatě jakéhokoliv tvary. Rozmanitost konstrukcí frézovacích nástrojů je vysoká. V této práci jsou uvedeny základní typy nástrojů pro různé technologie strojního obrábění

Kvalitní ostří se správnou geometrií nástroje je hlavní předpoklad pro správnou funkci frézy. V návaznosti na to je důležité kvalitní upnutí frézy, aby nedocházelo k obvodovým házením, které mají za důsledek menší životnost nástroje respektive břitových destiček, nejedná-li se o celiství nástroj. Proto jako další část práce byly popsány základní typy upínačů, jelikož kvalitní upnutí je důležité pro správnou funkci nástroje a tím zvýšení kvality obrábění.

Jako poslednímu se tato práce věnuje frézování zkušebních vzorků na CNC obráběcím centru, které po domluvě i s obsluhou poskytla SŠ TEGA Blansko. Při

frézování byly zvoleny různé řezné podmínky jako počet otáček, rychlost posuvu a hloubka záběru. Dále po frézování byly drsnoměrem změřeny nerovnosti a porovnáno, které podmínky byly z hlediska výroby nejpříjemnější. Této problematice se dá jistě věnovat více do hloubky. Jsem, ale přesvědčen, že pro tuhle práci byly výsledky dostatečné.

Závěrem lze říci, že všechny části téhle práce na sebe fakticky navazují, jelikož zvolení vhodného nástroje na danou technologii frézování, dostatečně kvalitní upnutí a správně zvolené řezné podmínky mají největší vliv na výslednou kvalitu opracování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

HUMÁR A., 2003: Technologie 1, technologie obrábění – 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia. 138 s.

PROKEŠ S., 1978. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva, vyd. Státní nakladatelství technické literatury Praha n.p., 584 s.,

LISIČAN J., 1996, Teória a technika spracovania dreva vyd. Zvolen: Matcentrum, 625 s. ISBN 80-967315-6-4

VARKOČEK J., ROUSEK M., HOLOPÍREK J., 2004. Dělení, obrábění a tváření materiálů, vyd. MZLU v Brně, 123 s., ISBN 80-7157-759-6

JANÍČEK F., (2000): Strojnictví - stroje a zařízení pro zpracování dřeva. 2 vyd. Sobotáles, 376 s. ISBN 80-85920-69-7.

BRYCHTA J., ČEP R., NOVÁKOVÁ J., PETŘKOVSKÁ L., 2007: Technologie II – 2. díl. vyd., VŠB – TU Ostrava, 142 s. Dostupné na World Wide Web: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf

ŠTAJNOCHR J., 2013. Upínače rotačních nástrojů. Studijní text, 9 s. Dostupné na World Wide Web: http://utopm.fsid.cvut.cz/podklady/ON/2013_6_Upinace_rotacnich_nastroju_2013.pdf

HUMÁR, A., 2006 Materiály pro řezné nástroje. Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf

SŠZTS, 2007 Technologie frézování – pracovní listy. Dostupné na World Wide Web:
http://www.sszts.cz/stary_web/stary_web/esf/TEC_fr.pdf

Průmyslový portál Technický týdeník, článek Upínače nástrojů (2). Dostupné na World Wide Web:
http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serial/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2_8498.html

Frézovací nástroje Pilana Market: katalog frézovací nástroje 1. díl. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.pilanamarket.cz/download/2-ceniky/106-2017%20FR%C3%83%EF%BF%BDZOVAC%C3%83%EF%BF%BD%20N%C3%83%EF%BF%BDSTROJE%20-%201.d%C3%83%C2%AD/>

Frézovací nástroje Pilana Market: katalog frézovací nástroje 2. díl. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.pilanamarket.cz/download/2-ceniky/105-2017%20FR%C3%83%EF%BF%BDZOVAC%C3%83%EF%BF%BD%20N%C3%83%EF%BF%BDSTROJE%20-%202.d%C3%83%C2%AD/>

Frézovací nástroje Habilis Tools: katalog stopkové frézy. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.truhlarske-nastroje.cz/katalog/drevoobrabeci-nastroje-5/stopkove-frezy-15/>

Frézovací nástroje Pilart: katalog nástroje do CNC. Dostupné na World Wide Web:
<https://www.pilart-drevoobrabeci-nastroje.cz/http/www-pilart-drevoobrabeci-nastroje-cz/Nastroje-do-CNC-c2-0-1-htm>

