

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA
Ústav základního zpracování dřeva



**Nástroje pro frézování materiálů na bázi dřeva na
CNC obráběcích centrech**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:
Ing. Vít Novák, Ph.D.

Vypracoval:
Petr Nesázal

Brno 2014/2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *Nástroje pro frézování materiálů na bázi dřeva na CNC obráběcích centrech* zpracoval 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 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:

Podpis studenta:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Vítu Novákovi, Ph.D. za výborné vedení práce a ochotu při řešení problematiky bakalářské práce, za cenné rady a připomínky. Poděkování patří také panu doc. Ing. Lubomíru Javorkovi, CSc. z TU Zvolen za zapůjčení dynamometru Kistler a kompletní měřicí aparatury, za cenné rady a připomínky. Rovněž bych rád poděkoval mé přítelkyni, rodičům a celé své rodině za jejich všestrannou podporu v průběhu studia.

Abstrakt

Jméno: Petr Nesázal

Název bakalářské práce: Nástroje pro frézování materiálů na bázi dřeva na CNC obráběcích centrech

Bakalářská práce je zaměřena na frézování na CNC obráběcím stroji. V úvodní části je obsažen teoretický přehled související s řešenou problematikou. V této kapitole jsou popsány části CNC stroje, jsou zde charakterizovány nástroje a technologie obrábění.

Následující část práce popisuje řezné podmínky experimentu a je zde popsán postup při zpracování výsledných dat.

V závěru práce jsou vyhodnocena data řezného odporu u materiálu MDF (polotvrdá dřevovláknitá deska) pomocí dynamometru KISTLER. Tato naměřená data jsou dále použita ke stanovení celkové výsledné síly.

Klíčova slova: CNC, dynamometr KISTER, frézování, řezný odpor

Abstract

Name: Petr Nesázal

The title of the bachelor thesis: The tools for wood milling on the CNC machines

The bachelor thesis is focused on milling on the CNC machine. The first part of the thesis deals with the theoretical overview regarding the topic. It provides the description of the CNC machine parts, the characteristics of mills and the milling technology.

The following part focuses on cutting conditions during the experimental process and the procedure of data processing is also described in this part.

At the end of the thesis cutting resistance data of the machined MDF (Medium Density Fibreboard) sample are evaluated. These data were recorded by the Kistler dynamometer and further used to ascertain the resultant force.

Key words: CNC, dynamometer KISTLER, milling, cutting resistance

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	3
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	4
3.1	CNC stroje	4
3.1.1	Charakteristika CNC stroje	4
3.1.2	Základní rozdělení CNC center.....	5
3.1.3	Základní části CNC strojů.....	10
3.2	CNC nástroje	13
3.2.1	Frézy.....	13
3.2.2	Pilové kotouče pro CNC centra a vrtáky	20
3.2.3	Přehled a charakteristika jednotlivých druhů řezných materiálů	21
3.3	Technologie frézování	25
3.3.1	Základy teorie frézování	25
3.3.2	Druhy frézování	26
3.3.3	Kinematika frézování	27
3.3.4	Vznik třísky.....	27
3.3.5	Proces otupování nástroje	28
4	METODIKA POKUSU	30
4.1	Obráběný materiál	30
4.2	Použitá zařízení.....	32
5	VÝSLEDKY	41
6	DISKUSE.....	47
7	ZÁVĚR	49
8	SUMMARY	50
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51

10	PŘÍLOHY	53
11	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	54
12	SEZNAM TABULEK	57

1 ÚVOD

Ve všech průmyslových odvětvích je snahou co nejefektivněji využít čas. To je jedním z důvodů uplatnění CNC obráběcích center, které svou automatizovanou činností urychlují proces výroby. Mezi další výhody CNC obráběcího centra patří vysoká přesnost a rychlost opracování, vysoká spolehlivost či univerzálnost stroje. CNC dřevoobráběcí centra se taktéž využívají k formátování plošných dílců na přesné rozměry frézováním nebo řezáním, dále lze na nich konstrukčně a tvarově opracovávat nebo brousit dílce a obrobky, případně provádět některé specifické operace.

Aby byl vytvořen kvalitní výrobek, je potřeba klást důraz na volbu nástroje a řezné podmínky. Při procesu obrábění dřeva a dřevěných materiálů frézováním má nástroj velmi důležitou funkci. Parametry nástroje mají velký vliv na kvalitu obráběné plochy, přičemž mezi významné aspekty patří otáčky, uchopení a ostří nástroje. V poslední době se nejčastěji klade důraz na zvyšování parametrů frézování, jako je například počet otáček, řezná rychlost nebo třeba posuv na jeden břit. Tyto změny jsou často prováděny na úkor kvality povrchu obráběných dílců. Nastavení těchto parametrů však není jediným faktorem, který má vliv na kvalitu frézování. Mezi další faktory patří také vliv samotné konstrukce a upevnění stroje i frézovacího nástroje nebo taky anatomická stavba dřeva. V neposlední řadě má vliv na kvalitu frézování ostrost řezných nástrojů, u kterých je nutné, aby byly vyráběny z co nejlepších materiálů, které nejdéle odolávají otupení.

Na otupení nástroje má největší vliv řezný odpor. Řezný odpor při frézování však ovlivňuje mnoho parametrů. V první řadě je to vliv geometrie břitu nástroje (úhel čela, úhel hřbetu, úhel šroubovice) nebo poloměr hlavního ostří. V průběhu používání nástroje dochází ke změně geometrie břitu opotřebením. Mezi další důležité vlivy patří pracovní a hlavně řezné podmínky obzvláště velikost řezné rychlosti a posuvu na zub. Řezný odpor lze v podstatě zjistit dvěma způsoby. Buď teoreticky na základě empirických vztahů, nebo měřením při obrábění dřeva jako v případě mého experimentu. Na rozdíl od empirického způsobu měření, měření řezného odporu při obrábění dřeva poskytuje přesnější výsledky, často i za cenu vyšších investičních nákladů a časové náročnosti. Určením velikosti řezného odporu lze lépe dimenzovat

strojní a nástrojové vybavení a zároveň optimalizovat technické podmínky obrábění tak, aby nedocházelo ke zbytečné spotřebě energie, poškození strojů a nástrojů.

2 CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části této bakalářské práce je seznámení s problematikou frézování na CNC obráběcím centru. V práci je dále popsána charakteristika CNC obráběcího stroje a nástrojů. V neposlední řadě je také vysvětlena kinematika frézování, vznik třísky při frézování a proces otupování.

Hlavním cílem experimentální části je měření silového zatížení při obrábění frézováním na CNC obráběcím centru pomocí dynamometru Kistler 9257 B a následné vyhodnocení silového zatížení v závislosti na zvolených řezných podmínkách. K tomuto experimentu byly použity vzorky dřevovláknité desky MDF.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 CNC stroje

Zkratkou NC byly označovány první programové stroje. Takové stroje řídil program vyznačený na děrné pásce nebo na děrném štítku. Tato podoba našla uplatnění především u velké sériové výroby složitých součástí. Postupem času se vývoj zdokonaluje, a tak NC stroje prošly modernizací a jsou vybavovány počítačem. Tato skutečnost představovala vznik CNC strojů. Díky využití počítačů došlo ke zjednodušení a urychlení programování, řízení stroje a data bylo možno uchovávat pro následné využití. K dalším výhodám patří produktivnější a levnější výroba, úspora pracovních sil a výrobních ploch. Počítač jako takový taktéž prodělal velkou změnu. Zdokonalil se jeho výkon stejně jako software. I když se nároky na kvalitu produkovaných výrobků zvyšují, ceny CNC strojů vzhledem k jejich výkonosti klesají. I kvůli tomuto faktu mají CNC stroje své pevné místo v každé společnosti orientující se na strojírenskou výrobu (Štulpa 2006).

3.1.1 Charakteristika CNC stroje

Všeobecný termín NC (numerical control) se užívá v celé oblasti numerického řízení a jsou v něm zahrnuty všechny techniky, které se využívají pro řízení obráběcích strojů pomocí série kódových pokynů. Podle americké organizace The Electronic Industries Association (EIA) zkratka NC označuje systém, ve kterém je činnost řízena přímým vložením numerických dat v určitém pořadí (Král a Šrajer 2008).

Numerické řízení funguje na bázi série kódových pokynů, které zahrnují čísla, písmena a další symboly. Tyto pokyny jsou převedeny na elektrické impulsy nebo jiné výstupní signály, díky kterým jsou uvedeny do činnosti pohybové motory a další strojová zařízení za účelem řízení pohybu obráběcího stroje. Tato činnost je prováděna nedílnou součástí NC stroje, tedy řídicím složkou stroje (machine control unit – MCU). Pokyny pro NC obrábění se člení na funkce, které řídí pohyb vřetene ve vazbě k pracovnímu stolu a pomocné funkce jako je výběr nástroje na obráběcí hlavě nebo řízení rychlosti a směru rotace vřetene. Tyto pokyny se shromažďují a logicky třídí

proto, aby mohly řídit obráběcí stroj podle speciálního zadání. Tímto logickým uspořádáním se myslí program NC nebo jinými slovy G kód. Takto hotový program může být uložen a mít další využití s tím, že získáme přesné výsledky jako u původního použití (Kráal a Šrajer 2008).

Zkratka CNC pochází z anglického „Computer Numerical Control“, což je do českého jazyka přeloženo jako počítačem (číslicově) řízený stroj. Základní NC koncept dal za vznik CNC stroji. Hlavní odlišnost mezi NC a CNC spočívá v tom, že k základnímu typu NC stroje byl připojen počítač s klávesnicí. Charakteristickým rysem CNC stroje je, že ovládání jeho pracovních funkcí je uskutečněno řídicím systémem (ŘS) s pomocí předem vytvořeného programu. CNC stroje jsou přizpůsobivé i k jiné výrobě a vzhledem k jejich číslicovému řízení lze práci na nich zautomatizovat (Štulpa 2006).

DNC je zkratkou pro dva zcela jiné přístupy, jak propojit počítač s NC strojem. Buď se jedná o Direct numerical control (přímé počítačové řízení), kde je jeden nebo více strojů řízeno hlavním procesorem nebo Distributive numerical control (operační počítačové řízení). Zjednodušeně si pod pojmem DNC můžeme představit, že jeden centrální počítač řídí dva a více CNC strojů (Kráal a Šrajer 2008).

3.1.2 Základní rozdělení CNC center

CNC centra mohou být rozdělena podle následujících hledisek:

- Podle systému řízení a výkonosti
- Podle typu obrábění
- Podle typu výroby
- Podle druhu pohybu konstrukčních částí
- Podle počtu funkčních pracovních os

Rozdělení podle systému řízení a výkonosti

Z hlediska systému řízení a výkonosti rozeznáváme řízení stroje polohové, úsekové a souvislé řízení dráhy.

U polohového řízení se všechny tři osy stroje polohují současně či postupně bez souvislosti s řízením pohybu. Během polohování se nástroj nachází mimo obrobek. Polohového řízení se využívá zejména u vrtacích automatů (Kráal a Šrajer 2008).

U úsekového řízení dráhy během obrábění probíhá pohyb podél os. Ve většině případů se pohyby uskutečňují rovnoběžně s osou. Současným pohybem podél dvou os při stejném posuvu lze docílit šikmých pohybů obrábění. Nejčastěji má úsekové řízení dráhy využití u jednoduchých frézek, dělicích pil na velkoplošné materiály a strojů pro obrábění hran v průběžném pracovním postupu (Král a Šrajer 2008).

U souvislého řízení může být pohyb proveden podél všech os stroje a přitom nezávisle na sobě. Pro každou osu můžeme zvolit jiné rychlosti a to různě, což umožňuje výrobu libovolných kruhových a obloukových kontur. Souvislé řízení se dále dělí na dvourozměrné, dvou a půlrozměrné a třírozměrné. U těchto typů se už nerozlišuje možnost pohybu, ale naopak schopnost řízení provádět komplikované propočty dráhy pro spirály nebo šroubovice (Král a Šrajer 2008).

Rozdělení podle typu obrábění

Dle typu obrábění rozlišujeme CNC vrtačky, CNC horní frézky, CNC obráběcí centra, CNC formátovací pily a CNC stroje na kontinuální obrábění.

CNC vrtačky se většinou používají k opracování plošných dílců. Jelikož na těchto strojích lze provádět pouze vrtací práce, musí být agregáty polohovány přesně a rychle. Díky menším obráběcím silám při vrtání než při frézování je umožněna jednodušší a lehčí konstrukce strojů než u frézek. U CNC vrtaček se nachází nosiče agregátů pro vrtáky, které umožňují jednak plošné obrábění, jednak obrábění bočních ploch dílce. Obrobky mohou být opatřeny nejrůznějšími otvory pro kování, řadami otvorů pro dílce police, kolíky a montážními otvory (Král a Šrajer 2008).

CNC horní frézky patří mezi základní typ CNC dřevoobráběcích strojů. Obrobek, který je upnut na pracovní stůl, je obráběn pohyblivou frézou nebo vrtákem. Obrobky mohou být formátovány plošně nebo z bočních ploch, což závisí na druhu upnutí ke stolu. Díky variabilitě řízení je umožněno vrtání nebo přímočaré, kruhové a výřezové frézování. Nejčastěji obráběným materiálem je masivní dřevo, ale také se často obrábějí materiály na bázi dřeva s menšími rozměry. CNC horní frézky jsou vybaveny jedním až třemi pracovními vřeteny a zásobníkem nástrojů, který automatizovaně vyměňuje nástroje, a proto výrazně redukuje neproduktivní časy (Král a Šrajer 2008).

CNC obráběcí centra umožňují úplné opracování obrobku. Na jedno upnutí obrobku je možno provést všechny pracovní operace. Kromě původních NC vyvrtávaček (point-to-point) jsou dnes taktéž k dostání i šestiosá CNC obráběcí centra pro celkové 3D obrábění tvarově složitých dílců. Díky stavebnicovému systému je umožněno osazovat každé obráběcí centrum libovolnými agregáty a nástroji. Obráběcí centra bývají vybavena vrtacími nástroji, frézami nebo pilovým kotoučem a kombinacemi těchto nástrojů. U některých CNC strojů je možno použít speciálních agregátů jako například pro olepování hran apod. (Král a Šrajger 2008).

Hlavním úkolem CNC formátovacích pil je dělení velkoplošných desek na malé přířezy. CNC program, který je potřebný pro výrobu, vytvoří na obrazovce optimalizovaný nářezový plán a řídicí program. CNC formátovací pily rozdělujeme podle polohy řezů na podélné, příčné, křížové a neuspořádané, u kterých nejsou podélné a příčné řezy průběžné přes celou šířku nebo délku formátu (Král a Šrajger 2008).

CNC stroje na kontinuální obrábění převádí obrobky současným posuvem na různé obráběcí jednotky. Obrábění je většinou provedeno na hranách obrobků. Hrany obrobků se dále profilují nebo olepují a zároveň se provádí dokončovací práce (Král a Šrajger 2008).

Rozdělení podle typu výroby

CNC centra, která jsou určena k obrábění dřeva, mohou být rozdělena do čtyř základních skupin: CNC obráběcí centra nábytkářská se dále rozdělují podle převažujícího způsobu obrábění na vrtací, frézovací a kombinovaná.

Vrtací obráběcí centra nejčastěji slouží k obrábění plošných nábytkových dílců, které mohou být opracovány různými operacemi jako například: vrtání do plochy, vrtání do hrany (v ose X nebo v ose Y), řezání (frézování) drážky nebo polodrážky (např. pro záda), vrtání (frézování) otvorů pro závěsy zámky nebo jiné nábytkové kování. Součástí výbavy většiny CNC vrtacích center je také vřeteno, které se používá pro uchycení frézovacího nástroje. Frézovací jednotka uchycená v pracovní hlavě umožňuje při jednom uchycení dílce provést kromě vrtání a řezání také vyfrézování různých profilů jak hraně tak i v ploše dílce.

Frézovací centra nejčastěji slouží k opracování dílců z masivního dřeva nebo MDF desek, do kterých mohou být frézovány drážky, polodrážky, různé profily otvory apod.

U CNC nábytkářských center určených k výrobě nábytku je nutno zvážit, jaký druh nábytku bude vyráběn, zda bude z rovných dílců nebo prostorově tvarovaných dílců. (např. sedací nábytek tvarované dílce, plastiky apod. (Král a Šrajjer 2008).

CNC obráběcí centra pro stavebně truhlářskou výrobu

Univerzální nábytkářská centra vybavená speciálními přípravky nebo jednoúčelová CNC obráběcí centra mohou vyrobit většinu stavebně truhlářských výrobků. Ke zhotovení výrobků s rámovou konstrukcí jako jsou např. křídla oken, rámy a dveře atd. slouží jednoúčelová centra. Speciální jednoúčelové centrum na okna je tvořeno dvěma zcela nezávislými a samostatnými stroji (čepovací a profilovací). Tyto stroje jsou řízeny pomocí jednoho společného ovládacího systému. Pracovní operace jako je čepování a profilování na sebe postupně navazují. Během profilování okenních křídel je možné použít čepovací stroj pro další operace jako např. čepování šikmých prvků (Král a Hrázský 2001).

CNC obráběcí centra pro výrobu prvků dřevostaveb a střešních konstrukcí

CNC obráběcí centra pro výrobu prvků dřevostaveb a střešních konstrukcí jsou určena pro opracování hranolů a hranolků, na kterých jsou vrtány průchozí i neprůchozí otvory, frézovány konstrukční spoje, řezány úkosy apod. Pro tento typ CNC obráběcích center je specifické to, že jejich pracovní stůl musí být dostatečně dlouhý (včetně systému dopravníků) s možností přesunu obráběného prvku po provedení stanovené operace (Král a Hrázský 2001).

Rozdělení podle druhu pohybu konstrukčních částí

Při procesu obrábění musí být buď pracovní stůl, nebo agregáty nástrojů pohyblivé. Tyto pohyby posuvu se dělí do tří os (X, Y a Z), které spolu svírají pravý úhel. Každý pohyb podél osy má k dispozici vlastní hnací motory, tak aby mohly být pohyby uskutečněny u každé z os nebo u více os současně. Tímto současným překrýváním jednotlivých pohybů je možno opracovávat nejen v přímé linii,

ale i libovolně zakřivené. Konstrukce CNC obráběcích center se dělí podle druhu pohybu konstrukčních částí (Král a Hrázský 2001):

Koncepce otevřené C (struktura typu „cantilever“) užívá pevný a kratší pracovní stůl. Pohyblivý portál ve tvaru C a pohyblivý agregát jsou se shora umístěny na podélném loži. Pohyblivý agregát je součástí portálu a pohybuje se příčně a svisle. Jde o konzolové zavěšení pohyblivého ramene, které pojíždí v ose X nad pevnou pracovní plochou, zatímco pracovní agregáty pojíždějí po rameni v ose Y a Z (Lignum magazín 1998).

Koncepce s pohyblivým portálem a pevným stolem je charakteristická tím, že portál je na loži zavěšen z boku a opatřen agregátem. Rozměry pevného stolu jsou až 3x14 m. Tato koncepce stroje je nejvhodnější pro opracování rozměrově dlouhých výrobků (Král a Hrázský 2001).

Koncepce s pevným skříňovým portálem a pohyblivým stolem se nejčastěji využívá k obrábění tvarově složitějších dílců, především v kusové a malosériové výrobě. Součástí stroje je tandemový stůl, který slouží k vyloučení neproduktivních vedlejších časů, jelikož je na jednom stolem opracováván vždy obrobek a na dalším stolem jsou prováděny manipulační a upevňovací operace (Lignum magazín 1998).

Rozdělení podle počtu funkčních pracovních os

NC a CNC stroje můžeme rozdělit podle počtu funkčních pracovních os na tříosé, čtyřosé a pětiosé.

Tříosé řešení u CNC obráběcího centra se většinou používá pro běžnou jednoduchou nábytkářskou výrobu a stavebně truhlářskou výrobu. Pracovní hlava provádí pohyb vzhledem k obrobku v ose X (podélný směr), v ose Y (příčný směr) a v ose Z (vertikální směr). (Král a Šrajer 2008).

U čtyřosého řešení je motor pohonu frézy vybaven zařízením pro změnu směru pohybu. Pohyb pracovní hlavy lze realizovat ve třech osách (jako je tomu u tříosého řešení) a navíc se agregát může otáčet se kolem vlastní osy. Libovolně volitelné směry k obrábění ploch a hran jsou pod úhlem 0 až 100 stupňů (Lignum magazín 1998).

Pokud má pracovní hlava možnost obrábět ve čtyřech osách a má navíc možnost naklápět agregát vlevo a vpravo pod určitým úhlem, jedná se o pětiosém řešení. Centrum s pětiosým agregátem je určeno pro složité prostorové obrábění nejrůznějších

tvary. Pětiosá centra se nejčastěji využívají ve výrobě tvarově složitých prvků sedacího nábytku, k výrobě složitějších schodů nebo pro výrobu dřevěných modelů nebo plastik (Král a Šrajer 2008).

3.1.3 Základní části CNC strojů

Mezi základní části NC a CNC strojů patří: stojan (základní nosná konstrukce stroje), lože s pohonem nebo posuvnými prvky, obráběcí hlava (sestavy nástrojů, elektrovřeteno neboli agregát), stůl s upínacími systémy, ovládací panel (Computer), bezpečnostní prvky (čidla), odsávání, příslušenství (přípravky, nářadí, apod.), zařízení pro výměnu nástrojů (jen u některých) (Král a Šrajer 2008).

Obráběcí hlava

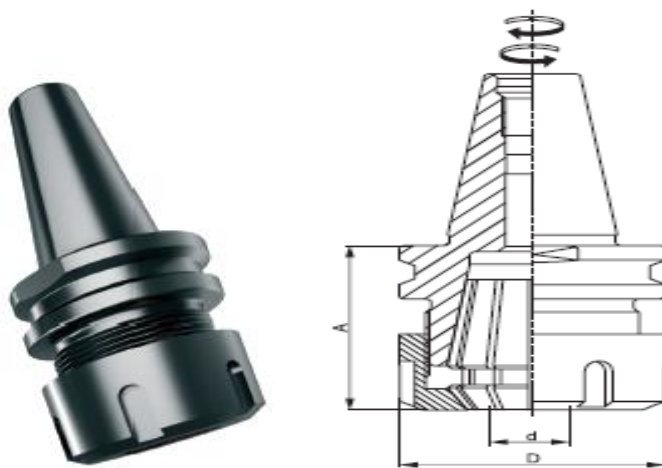
Část stroje, kde jsou upevněny nástroje, se nazývá obráběcí hlava. Podle typu CNC se odvíjí počet a způsob upevnění nástrojů. Obráběcí hlavu tvoří pohonná jednotka (elektromotor) nebo jednotky, převodová skříň, systém upnutí nástrojů a samostatných nástrojů (Král a Šrajer 2008). K nejčastější výbavě pracovní hlavy obráběcího centra patří pilové kotouče, frézy a vrtáky. Je taky možné nástroje kombinovat (např. vrták s frézovacím nebo řezacím nástrojem apod. (Král a Hrázský 2002).

Upínání nástrojů

Vhodný výběr upínací techniky a obráběcího stroje jsou nezbytnou součástí pro kvalitní a efektivní výrobu. K nezbytným vlastnostem upínací techniky patří řada dalších požadavků, jako je například jednoduchá montáž a obsluha, rychlá výměna nástrojů, vysoká přesnost opakovaného upínání nebo i univerzálnost použití z hlediska obráběcího stroje. Nejčastějším způsobem upínání nástrojů CNC strojů a center je upínání stopkou ve speciálním pouzdře nebo centricky ve sklíčidle. Nejčastější způsob upínání rotačních nástrojů se provádí pomocí systému HSK nebo systému ISO. Výhodou systému HSK oproti systému ISO je větší tuhost díky větší dosedací ploše (Štulpa 2006).

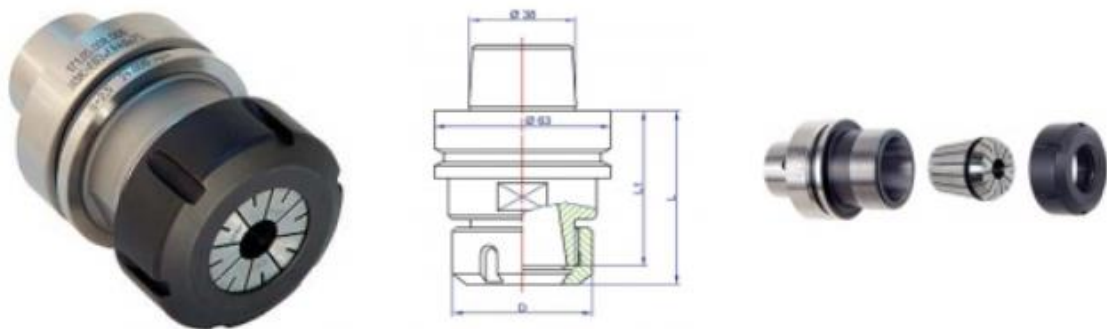
Systém ISO je jedním z nejpoužívanějších upínacích systémů nástrojů, které konají rotační pohyb. Tento systém lze použít na univerzálních i CNC strojích. Další

výhody jsou pořizovací cena a relativně jednoduchá výměna. Menší tuhost upnutí oproti modernějším upínacím systémům a jejich větší hmotnost vzhledem k upínacímu kuželu naopak spadají mezi nevýhody (AB SANDVIK 1997).



Obr. 1: Kleštinový upínač pro CNC - ISO 30 (Vydonal katalog 2012)

Systém HSK nabízí velký výběr upínacích elementů jako například hydraulická sklíčidla, stavitelné držáky pro vrtací operace a adaptéry pro modulární upínací systémy (AB SANDVIK 1997).



Obr. 2: Upínací hlava HSK-F63 (Habilis Tools 2015)

Pracovní stůl

Pracovní stůl u obráběcího centra může mít různé varianty uspořádání a vybavení. V závislosti na opracovávaných dílcích (obrobečích) je nutné vzít v úvahu velikost stolu, způsob upnutí dílce a počet pracovních míst (1 - 4). V současné době jsou

pracovní plochy dvojího typu. Buď se jedná o trámčové s přísavkami, které se polohují v závislosti na rozměrech a tvaru dílce, nebo celoplošné (rastované), na kterou se upínají dílce pomocí tvarových šablon. Kupínání dílců se u obou typů využívá podtlaku, který je generovaný vývěvou, jež je součástí stroje. Vedle upínání podtlakového se užívají i prvky hydraulické nebo pneumatické (Král a Hrázský 2001).

Velmi běžným typem jsou upínací stoly s přísavkami. Výhoda přísavek spočívá ve velmi rychlém upnutí plošných dílců s pomocí pneumatického podtlakového zařízení. Před upnutím dílce musí být plocha hladká, zbavena nečistot a nerovností, aby nedošlo k případnému uvolnění dílce (Král a Šrajer 2008).

Výměna nástrojů a vybavení pracovní hlavy

Veškeré nástroje u obráběcích center jsou uloženy v zásobnících nástrojů (s kapacitou 15÷60, u některých i 100÷150 nástrojů), které mohou být umístěny na stojanu, pracovním vřeteníku nebo na stole, popřípadě i mimo stroj. Zásobníky nástrojů můžeme podle konstrukce rozdělit na bubnové, revolverové, deskové, regálové, voštinové, řetězové, atd. Výměnu nástrojů obstarává speciální manipulační zařízení, kterým lze vyndat nástroj z vřetena a dát ho do zásobníku, popřípadě vyndat nový nástroj ze zásobníku a nasadit ho do vřetena stroje (Humár 2003).

Identifikační kód vlastního nástroje, popřípadě i polohy nástroje je dovoluje řídicímu programu obráběcího centra výběr i výměnu nástroje. Seskupení nástrojů a jejich pořadí v zásobníku může odpovídat technologickému postupu výroby určité součásti (kódováno místo v zásobníku) nebo taktéž může být libovolné (kódován je nástroj) (Humár 2003).

3.2 CNC nástroje

Při výběru CNC obráběcího centra na opracování dřeva a materiálů na bázi dřeva je nutné vzít v úvahu jednak konstrukci (pracovní stůl v závislosti na rozměrech dílců, vybavení pracovní hlavy, stanovení výkonu obráběcího agregátu a vybavení potřebným softwarem), jednak výběr optimálního nástrojového vybavení. Správnou volbou nástrojů je vymezena použitelnost centra při obrábění v daném typu výroby (Král a Šrajer 2008).

3.2.1 Frézy

Fréza je vícebřítý nástroj, který se používá pro frézování. Frézováním lze vyrobit rovinné, tvarové, rotační i nerotační plochy. Podle následujících kritérií rozlišujeme provedení frézovacích nástrojů (Zemčík 2003).

Základní rozdělení fréz se dělí podle funkce, provedení a tvaru zubů, počtu dílů, způsobu upnutí, uspořádání řezných nožů, tvaru obrobené plochy a podle směru otáčení.

Podle funkce

a) Frézy k obrábění rovinných ploch



a)



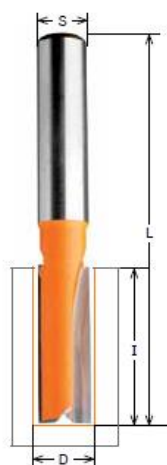
b)

Obr. 3: Fréza: a) falcovací a hoblovací (Vydoma katalog 2013), b) čelní zarovnávací (AKE katalog 2012)

U válcových fréz (Obr. 3a) jsou řezné nože rozmístěny jen po válcové ploše a používají se zejména pro frézování rovinných ploch rovnoběžných s osou nástroje.

Čelní frézy (Obr. 3b) mají řezné nože jak na čelní ploše frézy, tak i po jejím obvodu.

b) Frézy pro obrábění drážek



a)



b)

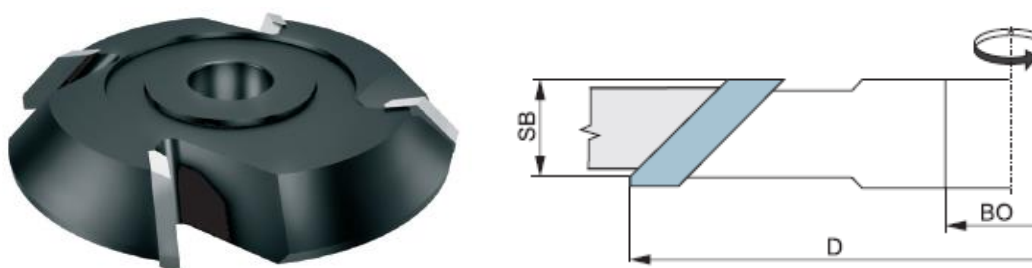
Obr. 4: Fréza: a) drážkovací (AKE katalog 2012), b) kotoučová (AKE katalog 2015)

Drážkovací frézy (Obr. 4a) jsou nástroje bez rozebíratelně spojených nebo vyměnitelných částí. Řezné části jsou z jednoho kusu materiálu.

Kotoučové frézy (Obr. 4b) mají zuby rozmístěny po válcové ploše i na obou čelních plochách. Nejčastěji se využívají pro frézování drážek a pro čelní frézování bočních rovin (Zemčík 2003).

c) Frézy pro obrábění tvarových ploch

Tyto frézy se používají se ke srážení hran (Obr. 5), k výrobě tyčových tvarů (Obr. 6), k tvorbě drážek drážky a zaoblení hran stolové desky (Obr. 7).



Obr. 5: Tvarová úhlová fréza (Vydonal katalog 2012)



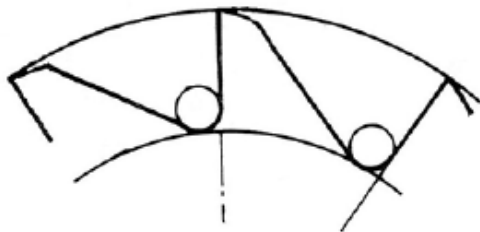
Obr. 6: Zaoblení vyduté (FLURY SYSTEMS katalog 2015)



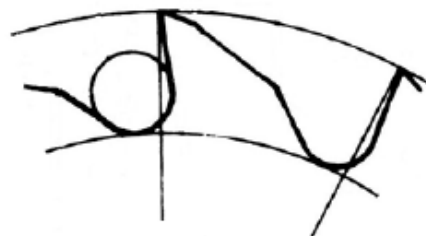
Obr. 7: Zaoblení vypouklé (FLURY SYSTEMS katalog 2015)

Podle provedení a tvaru zubů

a) Frézy s frézovanými zuby,



a)

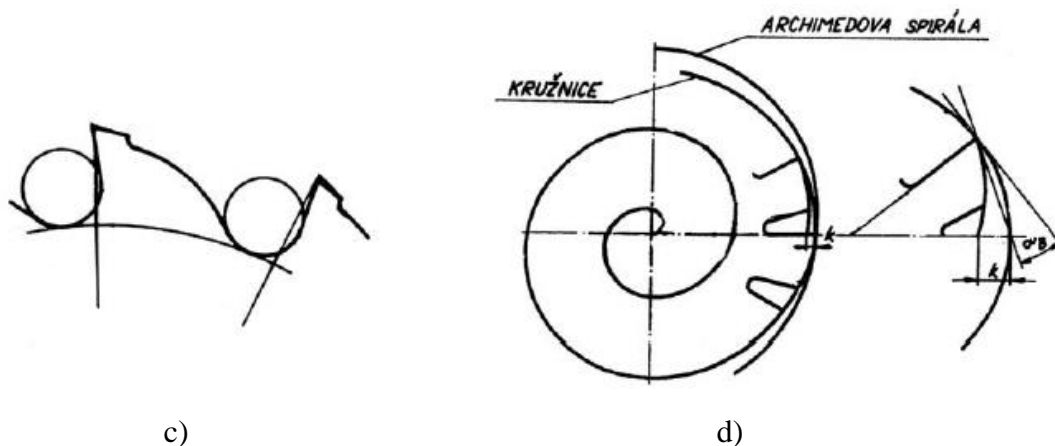


b)

Obr. 8: Základní tvary zubů frézy: a) hřbet s jednoduchou plochou, b) hřbet s lomenou plochou (Zemčík 2008)

b) Frézy s podtáčenými zuby pro tvarové frézy (hřbet je tvořen Archimédovou spirálou),

c) Frézy s litými zuby pro lité frézy.

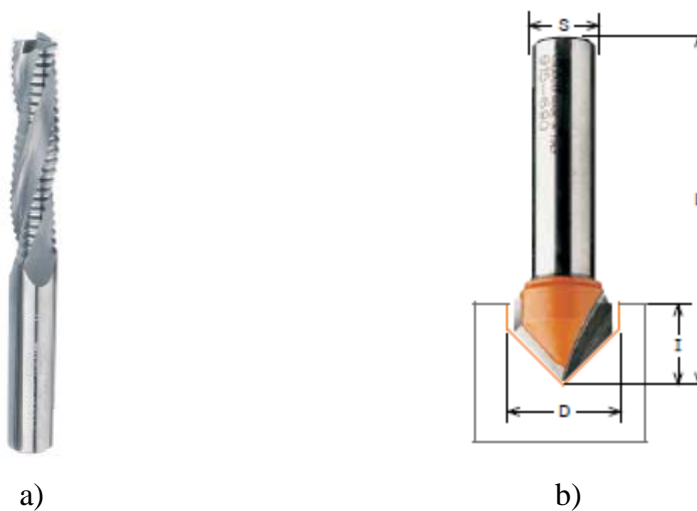


Obr. 9: Základní tvary zubů frézy: c) kruhová hřbetní plocha, d) podtáčená hřbetní plocha (Zemčík 2008)

Podle počtu dílů

a) Celistvé frézy,

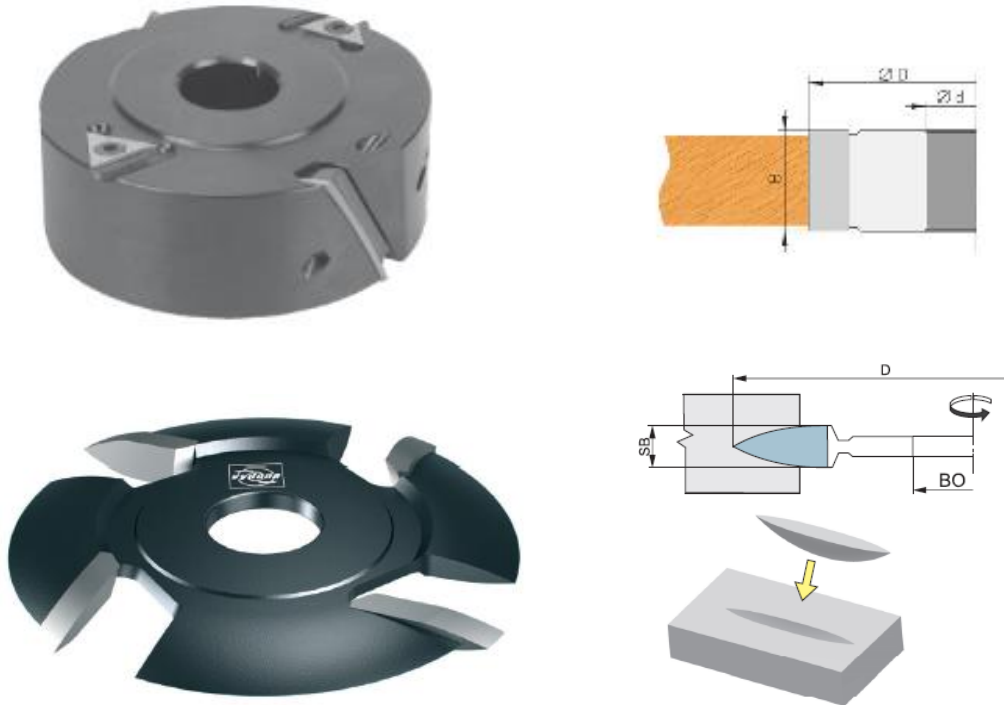
Celistvé frézy jsou celé vyrobeny z řezného materiálu.



Obr. 10: Celistvé nástroje: a) stopková fréza určená ke zkracování a frézování drážek (Vydon katalog 2012), b) se stopkou (AKE katalog 2012)

b) Frézy se vkládanými zuby,

V tomto případě se do tělesa vkládají řezné elementy z řezné oceli a slinutých karbidů atd., které mohou být upínány pájením nebo mechanicky.



Obr. 11: Nožové hřídele - hlavy (Vydon katalog 2012)

c) Frézy dělené, obvykle složené ze dvou nebo tří částí.

Tyto frézovací nástroje jsou spojeny do sady, kterou lze rozebírat. Frézy jsou spojeny pomocí upevňovacích prvků např. kolíky. Přídavné prvky jsou vyrobeny celistvě.



Obr. 12: Sada fréz určená k výrobě spojů pero – drážka z měkkého i tvrdého dřeva. Tyto frézy jsou stavitelné pomocí distančních kroužků (Vydon katalog 2012)

Podle způsobu upnutí

Stopkové frézy se upínají do stroje pomocí stopky. Osa otáčení nástroje je stejná jako osa otáčení vřetena. Tento druh fréz se používá především v horních frézkách, ale taky při pomocných aplikacích na CNC strojích. Využívají se při frézování všech kompozitních materiálů, překližky, DTD, tvrdého a měkkého dřeva. Jelikož jsou více namáhány na ohyb, mají opěrné valivé ložisko na prodlužovacím čepu (Humár 2003).



a)



b)

Obr. 13: Fréza: a) stopková - určená ke zkracování (Vydona katalog 2012),
b) rybinovací (AKE katalog 2012)

Nástrčné frézy se upínají pomocí upínacích trnů.



a)



b)

Obr. 14: Hlavy: a) hoblovací, b) bezpečnostní frézovací (Vydona katalog 2012)

Podle uspořádání řezných nožů

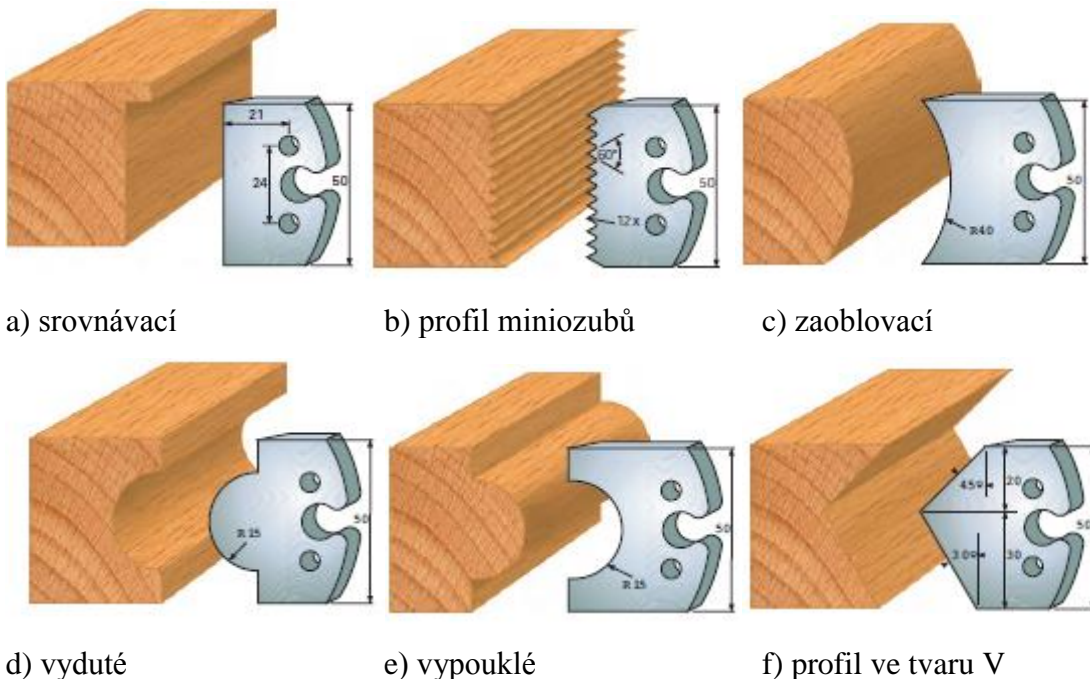
Největší vliv na kvalitu obráběné plochy má vhodné umístění nožů. Frézovací hlava s noži ve šroubovici umožňuje klidný chod a výrazně snižuje zatížení stroje.



Obr. 15: Frézovací hlava: a) s noži ve šroubovici, b) s noži přímými – tento typ se používá k podélnému spárovému napojování a spojování segmentů na výrobu obloukových oken z měkkých a tvrdých dřev (Vydoma katalog 2012)

Podle tvaru obrobené plochy

Podle tvaru obrobené plochy můžeme rozlišovat nesčetné množství obráběcích destiček.



Obr. 16: Frézovací nástroje rozlišujeme: a) srovnávací, b) profil miniozubů, c) zaoblovací, d) vyduté, e) vypouklé, f) profil ve tvaru V (FLURY SYSTEMS katalog 2015)

Podle směru otáčení

Podle směru otáčení rozlišujeme frézy jednosměrné nebo obousměrné neboli univerzální.



Obr. 17: Frézovací hlava: a) jednosměrná – levotočivá, b) univerzální (Vydon katalog 2012)

3.2.2 Pilové kotouče pro CNC centra a vrtáky

Pilové kotouče pro CNC centra

U pilových kotoučů pro CNC centra se ve většině případů využívá ozubení s řeznými hranami ze slinutých karbidů nebo syntetického diamantu pro operace formátování, řezání drážek, polodrážek apod. Jednotlivé druhy pilových kotoučů se používají v závislosti na technologických předpisech podle druhu obráběného materiálu (jehličnaté dřevo, listnaté dřevo, aglomerované a překližované konstrukční materiály apod.), podle způsobu řezání (podélné a příčné) a podle požadované kvality opracování (Král a Šrajec 2008).

Vrtáky

Vrtáky jsou nástroje, které se užívají ke zhotovování otvorů průchozích i neprůchozích – při vyspravování nedovolených vad dřeva a při vrtání otvorů pro spojovací kolíky, spojovací kování, vruty a šrouby, vrchní a uzavírací kování (zámky) apod. Podle typu vrtání lze použít vrtáky pro podélné a příčné vrtání a vrtáky speciální. Speciálními vrtáky se myslí zejména záhlubníky pro zahlubování otvorů, sukovníky a zátkovníky, kolíkovací vrtáky atd. (Král a Šrajec 2008).

3.2.3 Přehled a charakteristika jednotlivých druhů řezných materiálů

Mezi základní druhy řezných materiálů patří nástrojové oceli, slinuté karbidy, cermety a supertvrdé řezné materiály.

Tab. 1: Základní rozdělení řezných materiálů na obrábění dřeva (Šrajer 2006)

SP	legovaná nástrojová ocel
HL	vysoce legovaná nástrojová ocel
HS	rychlořezná ocel, HSS
HW	nepovlakovaný slinutý karbid, SK, HM, karbid, WC
HC	povlakovaný slinutý karbid
ST	stelity
DP	polykrystalický diamant, PCD, PKD, MKD
DCV	chemical vapour deposition (polykrystalický diamant)

Nástrojové oceli

Nástrojové nelegované oceli jsou vhodné pro ruční nástroje, ale pro strojní obrábění se téměř nepoužívají. U nelegovaných ocelí má největší vliv obsah uhlíku. Se vzrůstajícím procentem uhlíku, tvrdost oceli roste (Hluchý a Haněk 2001).

V dnešní době se převážně využívají nástrojové legované oceli. K hlavním legujícím prvkům patří chrom, vanad, wolfram, molybden a taky nikl, křemík, kobalt (Kocman a Prokop 2001).

Rychlořezné oceli v podstatě spadají do skupiny nástrojových ocelí legovaných, přičemž obsahují větší přísady legujících prvků. Rychlořezná ocel se vyznačuje dobrou řezivostí i příznivými mechanickými vlastnosti (tvrdost, pevnost, houževnatost). Tyto vlastnosti jsou především dobře uplatňovány při namáhání nástrojů v řezu. Nástroje vyrobené z rychlořezných ocelí se využívají k obrábění tvrdých ocelí, tvrdých ocelí na odlitky a těžko obrobitelných materiálů (Roček 1973).

Oceli na lité nástroje se podobají rychlořezným ocelím tím, že obsahují podobné legovací prvky. Zejména se využívají k výrobě litých nástrojů (fréz, výhrubníků) a břitových destiček soustružnických nožů. Vliv legovacích prvků je stejný jako

u rychlořezných ocelí, jediný rozdíl spočívá v tom, že nástroje vykazují nižší houževnatost (Hluchý a Haněk 2001).

Slinuté karbidy

Slinuté karbidy mají nejvyšší modul pružnosti, lomovou houževnatost a ohybovou pevnost. Díky těmto vlastnostem mohou být využity pro těžké přerušované řezy a pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi (Humár 2008).

Slinuté karbidy se vyrábí práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů: karbidu titanu, karbidu tantalu, karbidu wolframu, nízkotavitelného slinovadla kobaltu. Slinuté karbidy se dále dělí na povlakované a nepovlakované (Hluchý a Haněk 2001).

Stelity

Stelit je slitina kobaltu a chromu, ke které se přidávají další prvky. Stelity se navařují přímo na břit nástroje bez použití přídavných materiálů. Vzniká tak velmi pevný spoj. V porovnání s rychlořeznou ocelí je stelit mnohem odolnější proti opotřebení (Valenta).

Cermety

Název CERMET vznikl spojením prvních tří hlásek slov „CERamics (keramika)” a „METal (kov)”. Z tohoto důvodu by se mělo jednat o takový nástrojový materiál, jehož mechanické vlastnosti se vyznačují výhodnou kombinací tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Avšak skutečnost se od tohoto tvrzení výrazně liší (Humár 2003).

Mezi výchozí materiály pro výrobu cermetů můžeme zahrnout molybden, nikl, nitrid titanu, karbonitrid titanu (Humár 2008).

Cermety se vyznačují nízkou měrnou hmotností. V porovnání se slinutými karbidy jsou hodnoty u cermetů téměř poloviční. Je to způsobeno tím, že cermetry většinou neobsahují těžký karbid wolframu. Charakteristickým rysem cermetů je jejich vysoká tvrdost, kterou si zachovávají i při použití za zvýšených teplot a ve srovnání se slinutými karbidy si cermetry lépe udržují svůj tvar (Humár 2003).

Supertvrde řezné materiály

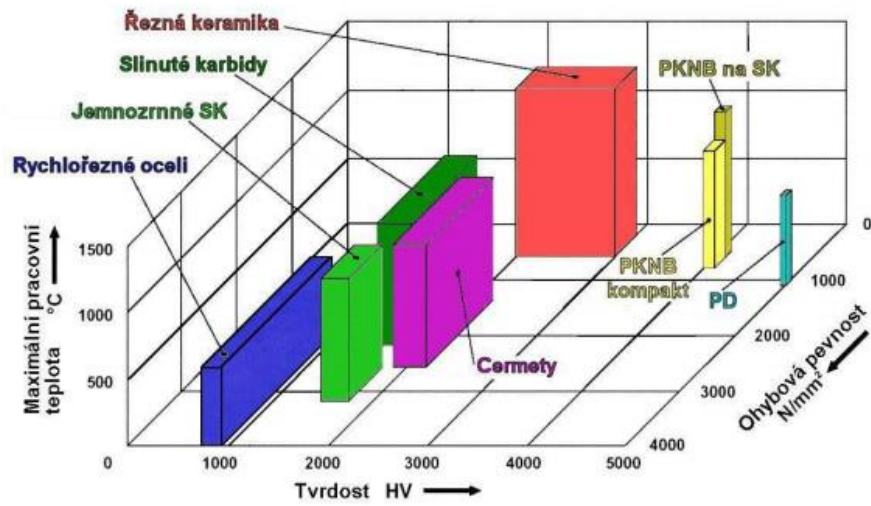
Do skupiny supertvrдых řezných materiálů můžeme zahrnout dva synteticky vyrobené materiály – diamant a kubický nitrid boru.

Diamant se vyrábí průmyslově z velmi čistého grafitu. Jeho teplotní stálost je poměrně nízká (nad 700 °C se mění na grafit) a z toho důvodu nesmí být používán pro obrábění materiálů na bázi železa. Během obrábění diamantovými nástroji by se mělo dbát na to, aby docházelo k chlazení běžnými procesními kapalinami, přičemž by se kapalina měla dodávat na místo řezu pod vysokým tlakem (Humár 2008).

Diamant je nejtvrdší materiál a nemůže být nahrazen ani keramickými řeznými materiály, ani slinutými karbidy. Technické diamanty jsou buď přírodní, nebo syntetické (uměle vyrobené). Syntetické diamanty se vyznačují lepšími mechanickými vlastnostmi (ve všech osách jsou stejně pevné) a nejsou tak drahé jako přírodní. Nevýhodu představují relativně malé krystaly, které jsou nevhodné pro mechanické upínání. Tato nevýhoda byla vyřešena výrobou tzv. kompakťů (vrstva syntetického polykrystalického diamantu o tloušťce 1 mm nanášená práškovou metalurgií na podložku z houževnatého slinutého karbidu). Tyto kompakty se pájí na řeznou část nástroje nebo jsou jednou z částí vyměnitelných břitových destiček (Hluchý a Haněk 2001).

Kubický nitrid boru se vyrábí průmyslově z nitridu boru. Využívá se ho k obrábění kalených ocelí a tvrzených slitin, kde s výhodou nahrazuje operace broušení (Humár 2008).

Kubický nitrid boru svými vlastnostmi (zejména tvrdostí) připomíná vlastnosti diamantu. Jako řezného materiálu se kubického nitridu boru využívá k výrobě brousících nástrojů. Kompakty z polykrystalického kubického nitridu boru jsou vyráběny technologií, která připomíná technologii výroby kompakťů z polykrystalických diamantů. Nástroji s kompakty z kubického nitridu boru je možno obrábět velmi tvrdé materiály. Teplota řezání může dosahovat hodnoty v rozmezí 1400 až 1600 °C, aniž by se změnila jeho vlastností (Hluchý a Haněk 2001).



Obr. 18: Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů (Humár 2003)

3.3 Technologie frézování

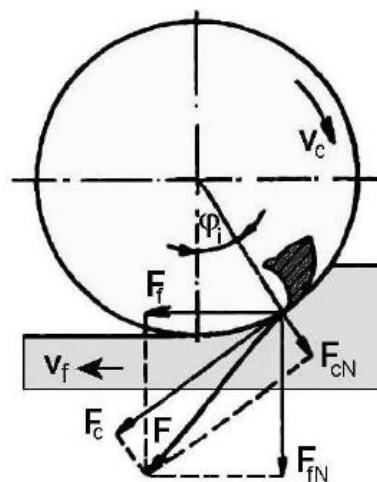
Frézováním se myslí obrábění otáčejícím se nástrojem jako je fréza nebo frézovací hlava. Během tohoto procesu dochází k tomu, že se nominální tloušťka třísky během záběru mění od nuly do h_{\max} ; posuv je vykonán ve směru kolmém k ose otáčení nástroje. Tento druh obrábění se používá k dosažení hladkého povrchu a přesných rozměrů obrobku (srovnávačkami, tloušťkovačkami) nebo k vytvoření tvarových ploch (spodní frézky, vrchní frézky, třístranky, čtyřstranky) (Prokeš 1982).

Při frézování se využívá mnohobřitového nástroje, kdy jednotlivé břity (zuby) vcházejí při obrábění do záběru postupně a opět ze záběru vycházejí (Borský 1992).

3.3.1 Základy teorie frézování

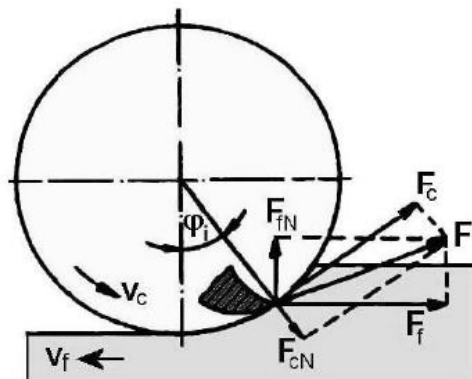
V závislosti na kinematice frézovacího pohybu se frézování dělí na sousledné a nesousledné (Humár 2002).

Při sousledném frézování se fréza pohybuje ve směru posuvu. Břity zubů se postupně zařezávají od tloušťky třísky, která je maximální a končí na obrobené ploše. Plochy obrobené tímto způsobem jsou hladší a ostří u nástroje nabývá větší životnosti. Jelikož řezná síla směřuje do obráběcího dílce, působí příznivěji. K nevýhodám sousledného frézování patří silové rázy při záběru každého zubu a to vyžaduje frézky a podávací zařízení tuhých konstrukcí. Tohoto druhu frézování se využívá pouze u nástrojů se strojním posuvem.



Obr. 19: Sousledné frézování, F - celková řezná síla, F_c - řezná síla, F_{cN} - kolmá řezná síla, F_f - posuvová síla, F_{fN} - kolmá posuvová síla (Humár 2003)

U nesousledného frézování se fréza pohybuje proti směru posuvu. Průřez třísky je postupně zvětšován od nuly do maximální tloušťky. Nevýhodou tohoto druhu frézování je, že břit zubu na začátku řezu klouže po obrobené ploše, zahřívá se, tře a otupuje. Poté se dostane do dílce a to zhoršuje kvalitu opracování a celkovou životnost ostří nástroje. Konečná řezná síla míří ven z obráběného dílce, což není vhodné u frézování proti směru vláken. Tento typ frézování se zejména uplatňuje u nástrojů s ručním posuvem (MAN) (Vydoná katalog 2012).



Obr. 20: Nesousledné frézování, F - celková řezná síla, F_c - řezná síla, F_{cN} - kolmá řezná síla, F_f - posuvová síla, F_{fN} - kolmá posuvová síla (Humár 2003)

3.3.2 Druhy frézování

Podle polohy osy nástroje k obráběné ploše dělíme frézování na válčové, čelní a čelně kuželové.

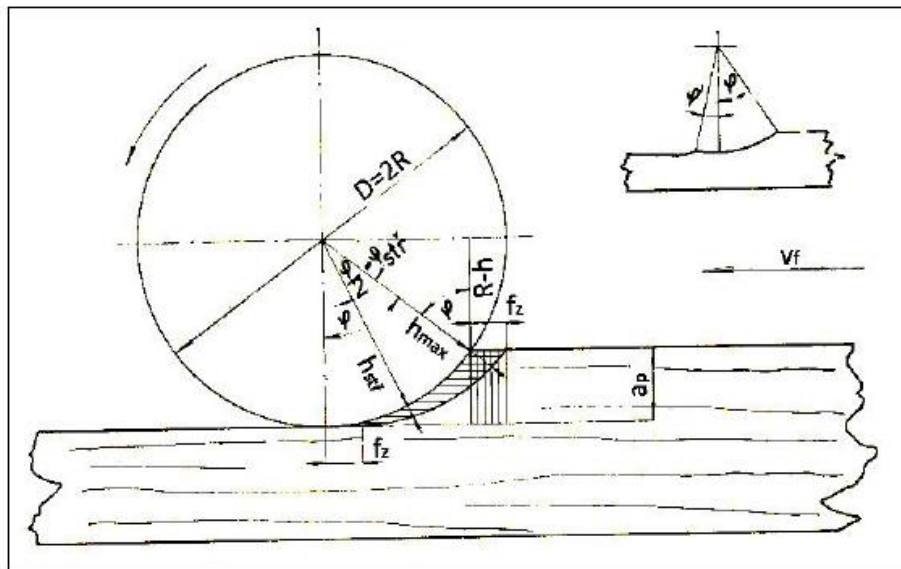
Válčové obrábění je prováděno obvodem nástroje, přičemž osa nástroje je rovnoběžná s obrobenou plochou.

Čelní obrábění je prováděno čelem nástroje, osa nástroje je kolmá k obráběnému ploše.

Čelně kuželové – osa otáčení je kolmá k obrobenému povrchu, avšak na rozdíl od předchozího způsobu jsou břity skloněny k obrobenému povrchu pod určitým úhlem. Břit může být buď přímý, nebo zaoblený (Prokeš 1982).

3.3.3 Kinematika frézování

Kinematika oddělování třísky při frézování je znázorněna níže (Obr. 21). V praxi je však mnoho parametrů, které mohou odlišit skutečný průřez třísky od nominálního průřezu například vlivem otupení břitu, nepřesnosti chodu vřeten, odchylek břitů od řezné kružnice, nepravidelnosti chodu podávacího zařízení a zejména vlivem odštipování a nesterodnosti hmoty obrobku (Prokeš 1982).



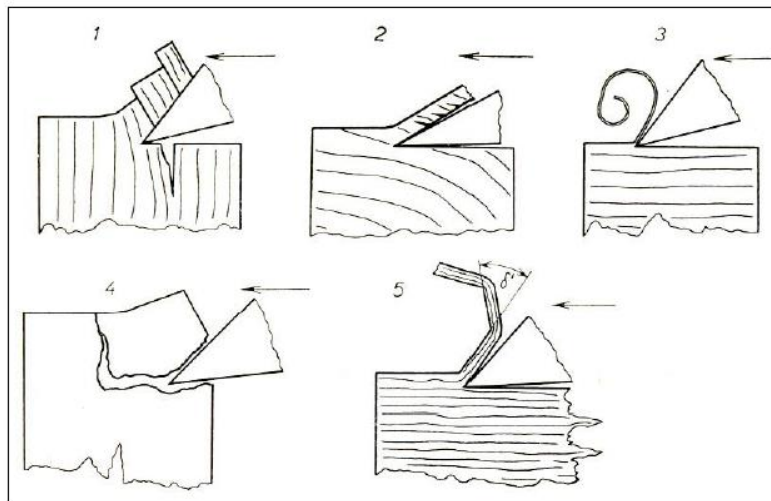
Obr. 21: Schéma oddělování třísky při válcovém frézování, D – průměr řezné kružnice, R – poloměr řezné kružnice, a_p – hloubka řezu, f_z – posuv na jeden břit, $h_{stř}$ – střední tloušťka třísky, h_{max} – maximální tloušťka třísky, v_f – velikost posuvu (Prokeš 1982)

3.3.4 Vznik třísky

Při počátečním dotyku břitu s obrobkem se část obrobku nejprve více či méně deformuje v závislosti na své pružnosti, stupni otupení břitu, velikosti úhlů řezu atd. a jakmile dojde k překročení určitého napětí v těsném okolí břitu, nastává oddělování hmoty obrobku. V další části procesu tvorby třísky je možno vyzorovat především u nehomogenních, určitým způsobem orientovaných hmot vznik trhlin. Jejich pozice a směr vzhledem k okamžité poloze a směru pohybu břitu je podmíněn orientací stavby obrobku a dalšími vlivy (Prokeš 1982).

Na oddělování třísky, její vlastnosti a konečnou formu po odlétnutí od nástroje mají vliv zejména:

- a) druh obrobku a jeho vlastnosti (např. vlhkost, teplota, objemová hmotnost, mechanické vlastnosti),
- b) směr dřevních vláken a letokruhů vzhledem ke směru pohybu břitu,
- c) geometrie a mikrogeometrie nástroje,
- d) řezné podmínky (řezná rychlost, posuv na břit, tloušťka třísky, hloubka záběru),
- e) způsob obrábění (řezání otevřené nebo zavřené, tloušťka třísky konstantní nebo měnící se od nuly do maxima),
- f) způsob odvádění třísky z místa jejího oddělení (Prokeš 1982).



Obr. 22: Typy třísek podle vzniku a vzhledu: 1 – dělená tříska, 2 – páskovitá tříska, 3 – točená tříska, 4 – trhaná tříska, 5 – mnohoúhelníková tříska (Prokeš 1982)

3.3.5 Proces otupování nástroje

K otupování dochází postupnou změnou mikrogeometrie břitu během řezání, kdy se schopnost nástroje řezat postupně vytrácí. Je to zapříčiněno tím, že se z břitu oddělují částičky kovu. Jakmile břit dospěje do určitého kritického stavu, který je charakteristický zhoršením jakosti povrchu obrobku, nežádoucím zvýšením řezné síly, pálením a rozměrovými nepřesnostmi obrobku, lze nástroj považovat za tupý (Prokeš 1982).

Trvanlivost břítu

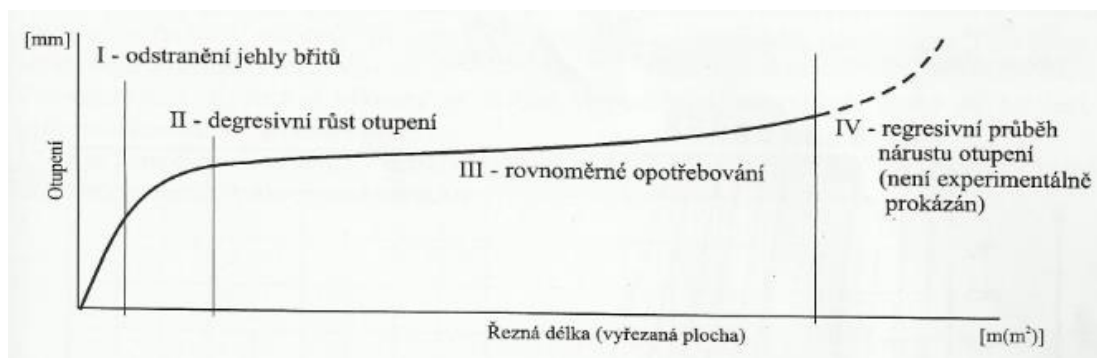
Trvanlivost břítu je doba, po kterou naostřený břit pracuje. V zájmu ostřírny je, aby trvanlivost břitů nástroje byla co největší, protože počet výměn i ostření během životnosti nástroje nejvíce ovlivňuje hospodárné využití nástroje. Mezi nejdůležitější příčiny, které mohou zmenšit trvanlivost břítu, patří: malý posuv na břit, příliš velká řezná rychlost, nevyhovující jakost naostření atd. (Prokeš 1975).

Při posuzování nástroje bereme v úvahu primárně trvanlivost ostří. Na rozdíl od klasických břitů z nástrojové a rychlořezné oceli (SP, HL, HSS) jsou břity ze slinutých karbidů (HV) méně citlivé na typ materiálu, který je obráběn. Včasnou výměnou otupených břitů, správným seřizením nástrojů a nastavením optimálních řezných podmínek na strojním zařízení lze předejít negativním vlivům zvyšujícím otupení nástroje (Král a Šrajer 2008).

Životnost nástroje

Životností nástroje se myslí násobek trvanlivosti ostří, který se vyjadřuje délkovými jednotkami a časem. Hranicí životnosti nástroje je ukončení požadované schopnosti plnit svou funkci (Prokeš 1982).

Průběh otupení nástroje (Obr. 23) je platný jednak pro břity z nástrojové oceli, jednak pro stelity, slinuté karbidy i keramické materiály (Prokeš 1982).



Obr. 23: Průběh otupení nástroje (Král a Šrajer 2008)

4 METODIKA POKUSU

Hlavním cílem experimentu bylo měření řezných odporů při frézování na CNC obráběcím centru. Obráběným materiálem byla dřevovláknitá deska MDF. Při obrábění byly měněny parametry jako úběr materiálu, řezná rychlost, sousledné a nesousledné frézování. Experiment byl uskutečněn ve školní dílně na CNC obráběcím centru, které je ve vlastnictví Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovi univerzity v Brně. Měřicí aparaturu KISTLER k experimentu zapůjčil pan doc. Ing. Lubomír Javorek, CSc z Technické univerzity Zvolen.

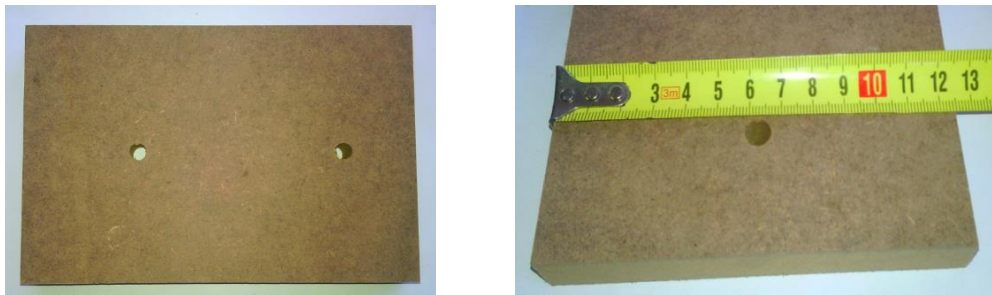
4.1 Obráběný materiál

Jako materiál pro obrábění byla zvolena dřevovláknitá deska MDF. Hlavní důvod při volbě tohoto materiálu je jeho homogenita a také jeho časté využití v nábytkářském průmyslu.

MDF je zkratkou anglického názvu Medium Density Fibreboard, což v doslovném překladu znamená středně hustá vláknitá deska. MDF se vyrábí z dřevěných vláken, které se za použití teploty a tlaku pojí syntetickým lepidlem. Největší výhodou MDF desek je homogenita materiálu v celém průřezu, a proto se často používají tam, kde se materiál frézuje (přední nábytkové plochy a podlahoviny). Struktura desek umožňuje kvalitní zpracování povrchu frézováním a lakováním. (Krontorád 2015).

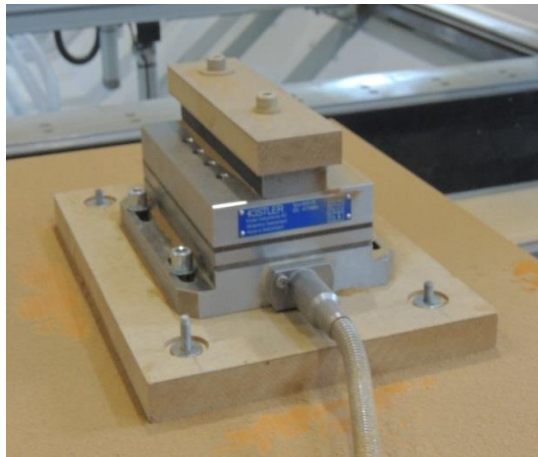
Rozměry neobrobeného vzorku:

- MDF 190 x 125 x 18 mm (L x B x H)



Obr. 24: Vzorky před upnutím k měřicímu přístroji

Před samotným upnutím k měřicímu přístroji byly do obrobku navrtány průběžné otvory. Za pomoci šroubů byl následně obrobek pevně spojen s měřicím přístrojem. Bylo také zapotřebí pevně upevnit měřicí přístroj k podkladové desce, což bylo realizováno také pomocí šroubů. Podkladová deska v tomto případě DTD-L byla umístěna k upínacímu stolu CNC stroje pomocí přísavek, které byly uchyceny podtlakem generovaným vývěvou CNC stroje.



Obr. 25: Upevnění obrobku MDF



Obr. 26: Čelní pohled na zbylý přesah obrobku

4.2 Použitá zařízení

Celý experiment byl realizován na CNC obráběcím centru Homag Venture 13M.



Obr. 27: Homag Venture 13M

Použitý nástroj

Při experimentu byla použita stopková fréza s VBD od výrobce Karden Děčín. Nástroj byl zvolen s ohledem na řezné podmínky, které se během jednotlivých částí experimentu měnily.

Parametry stopkové frézy:

- délka nástroje: 151 mm
- průměr nástroje: 19 mm
- počet břitů: 2 ks
- úhly břitů: $\alpha=35^\circ$, $\beta=36^\circ$, $\gamma=19^\circ$



Obr. 28: Stopková fréza

Řezné podmínky

Zvolené otáčky:	16 000 min ⁻¹
Úběr materiálu:	1, 2, 3 a 4 mm
Rychlost posuvu:	3,2 a 3,6 m.min ⁻¹
Technologie:	sousledné a nesousledné frézování

Před samotným obráběním bylo zapotřebí u CNC obráběcího stroje nastavit veškeré požadované parametry u jednotlivých fází jako je rychlost posuvu, otáčky a hodnota pro posuv na zub. Hodnota posuvu na zub byla dále dopočítána pomocí níže uvedeného vzorce (Obr. 29). Ve výpočtu bylo nutné měnit parametry rychlostí posuvu a otáček.

$$f_z = \frac{v_f}{n \times z_c}$$

Obr. 29: Vzoreček pro výpočet posuvu na zub, kde f_z = posuv na zub mm, v_f = posuv stolu mm.min⁻¹, n = otáčky vřetene min⁻¹, z_c = počet efektivních zubů

Tab. 2: Výsledné hodnoty posuvu na zub pro zvolené otáčky a rychlosti posuvu

otáčky min ⁻¹	16 000
rychlost posuvu 3,2 m.min ⁻¹	0,2
rychlost posuvu 3,6 m.min ⁻¹	0,22

Upínání

Pro upnutí frézovacího nástroje byl zvolen kleštinový upínač CNC – HSK 63 F.



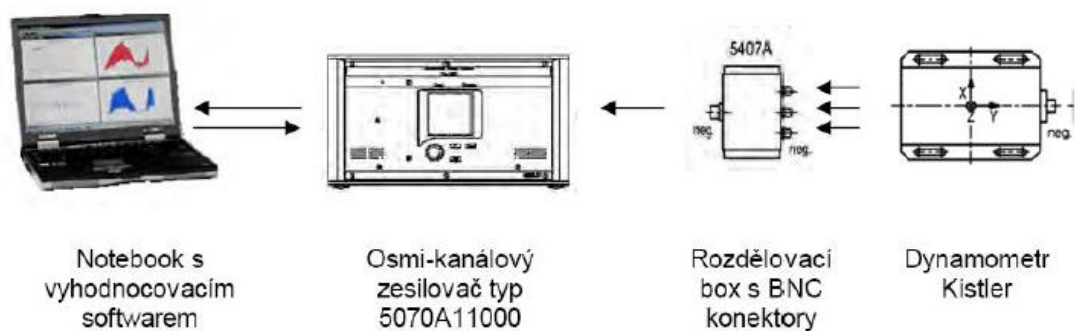
Obr. 30: Kleštinový upínač HSK 63 F



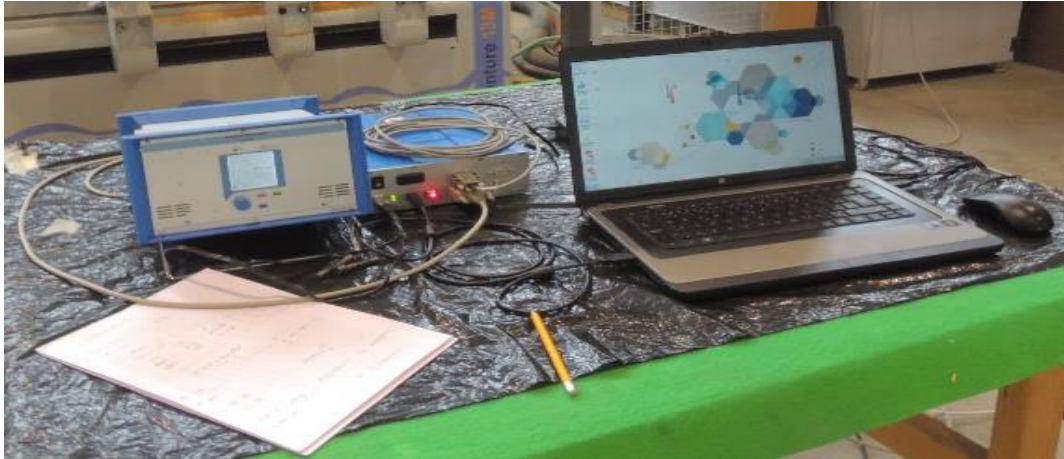
Obr. 31: Kleštinový upínač s nástrojem

Použité přístroje pro měření silového zatížení

Kompletní měřicí aparatura pro měření silového zatížení řezných nástrojů se skládá z několika vzájemně propojených komponentů. Zapojení aparatury Kistler 9257 B je schematicky znázorněno na obrázku (Obr. 32).



Obr. 32: Schématické znázornění zapojení přístrojů



Obr. 33: Zapojení aparatury Kistler

Dynamometr KISTLER 9257 B

Dynamometr značky Kistler je charakteristický svým kompaktním designem, vysokým rozlišením, velkou tuhostí, odolností proti korozi, vysokou přirozenou frekvencí, necitlivostí vůči vlivům teploty, odolností proti vniknutí vody, nebo jiné kapaliny i za zvýšeného tlaku.

Tento typ dynamometru je přizpůsoben pro měření dynamické a kvazi-statické měření sil při frézování, broušení, soustružení, řezání atd. Měření lze uskutečnit na modelech, nebo taky v aerodynamických tunelech. Je přizpůsoben pro měření ve všech třech osách (X, Y, Z) (KISTLER).



Obr. 34: Dynamometr Kistler 9257 B

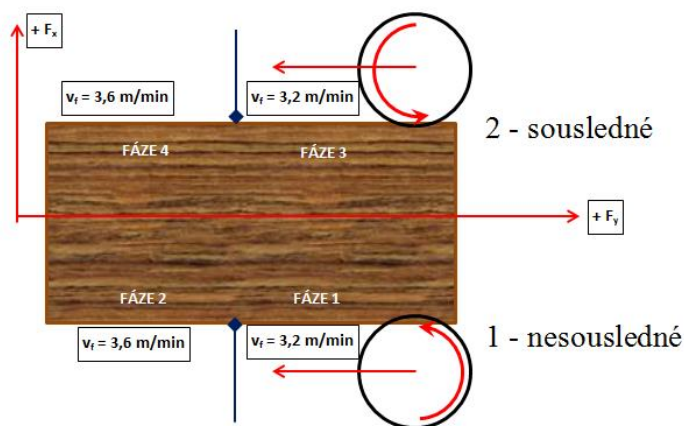
Technická data

Tab. 3: Technická data Kistleru 9257 B (KISTLER)

Specifikace		Jednotky	
Kalibrace			kalibrované
Rozsah měření	Fx, Fy, Fz	kN	± 5
Citlivost	Fx, Fy	pC / N	$\approx -7,5$
	Fz	pC / N	$\approx -3,7$
Vlastní frekvence	F _n (x, y)	kHz	$\approx 2,3$
	F _n (z)	kHz	$\approx 3,5$
Rozsah provozních teplot		° C	0 ... 70
Délka		mm	≈ 170
Šířka		mm	≈ 100
Výška		mm	≈ 60
Připojení			Fischer 9 pol. neg
Těsnění			svařované / epoxid (IP67) S propojovací kabel Typy 1687B5, 1689B5
Hmotnost		kg	7,3

Parametry experimentu

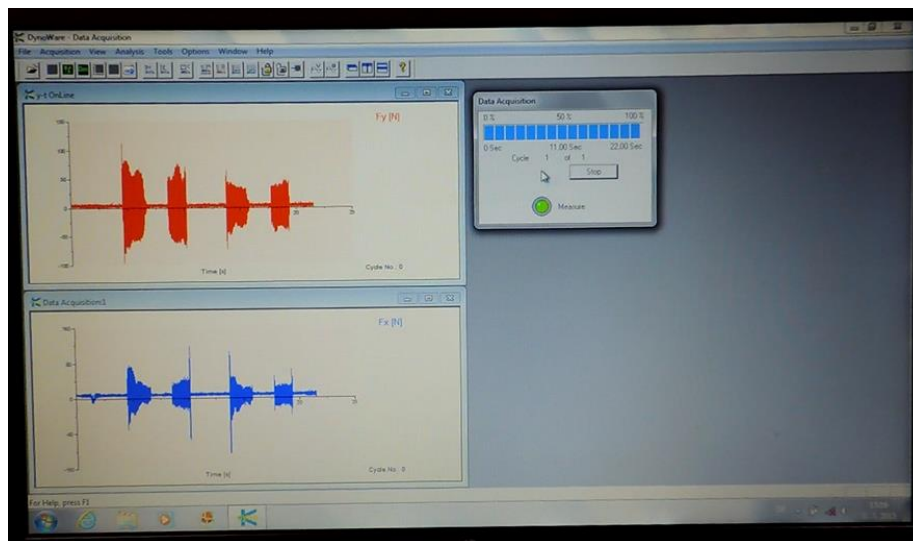
Obrobek byl obráběn ve čtyřech fázích. V první fázi byla nastavená rychlost posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ v druhé fázi byl posuv $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. U obou těchto fází byl obrobek obráběn nesousledným frézováním na rozdíl od třetí a čtvrté fáze obrábění, které byly realizovány pomocí sousledného frézování. Na začátku třetího obrábění byla rychlost posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Ve čtvrté fázi došlo ke zrychlení rychlosti posuvu na $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Grafické znázornění jednotlivých fází je zobrazeno na Obr. 35. V dalších krocích experimentu se měnil pouze úběr tloušťky třísky v pořadí úběrů 1, 2, 3 a 4 mm. Počet otáček u jednotlivých měření u MDF byl $16\,000 \text{ min}^{-1}$. Měření bylo vždy několikrát opakováno, aby bylo docíleno prokazatelnosti při statistickém zpracování dat.



Obr. 35: Návrh metodiky obrábění

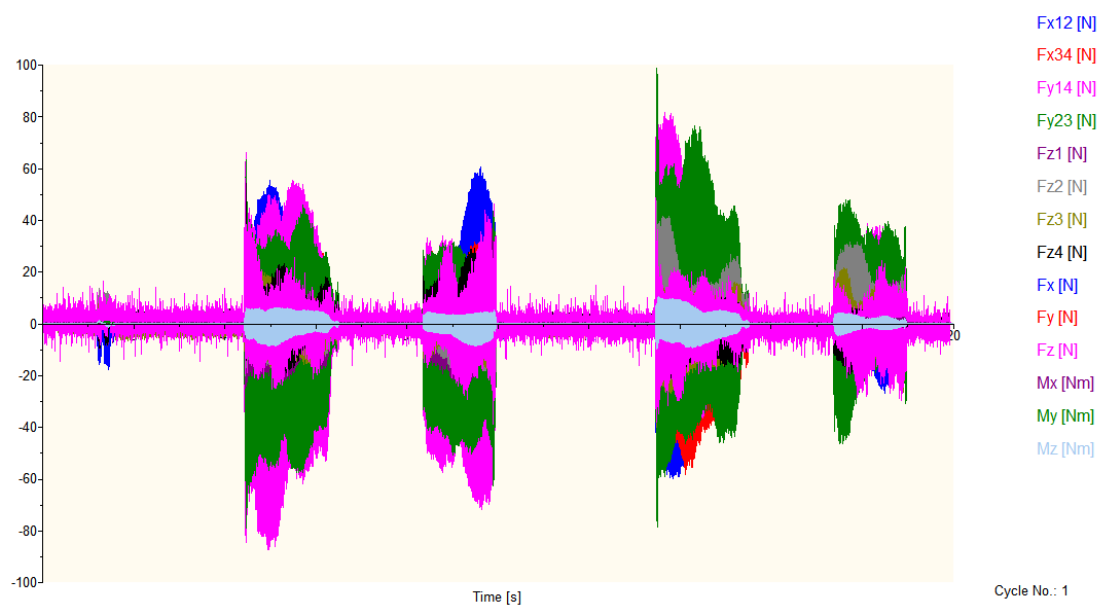
Vyhodnocení naměřených dat

Pro záznam silového zařízení byl použit software DynoWare.



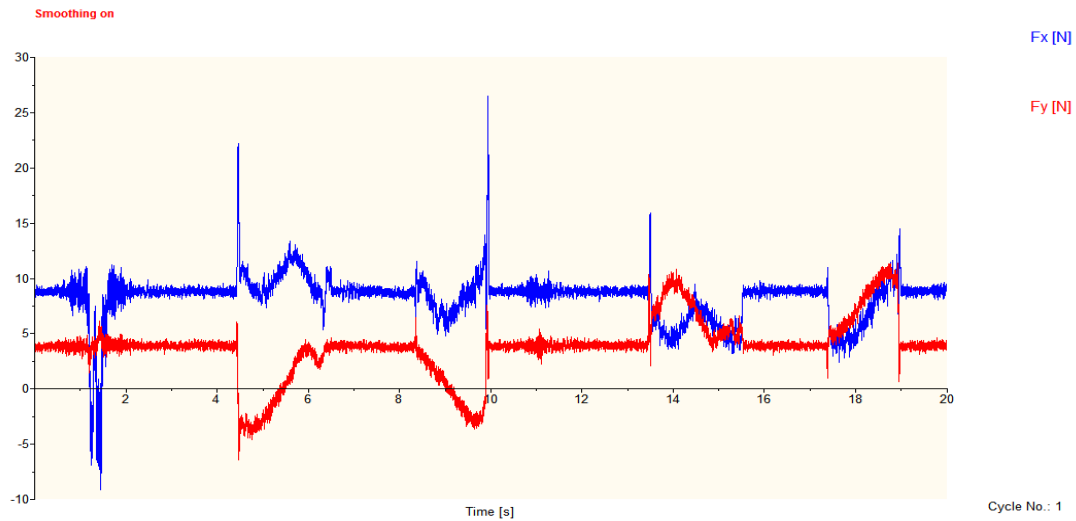
Obr. 36: Software DynoWare

Tento obrázek (Obr. 36) je pořízen přímo ze záznamu z videa během obrábění. Tento software zaznamenává průběhy silového zatížení v jednotlivých osách a zobrazí je na obrazovce. V tomto případě zobrazuje zatížení v ose x a y.



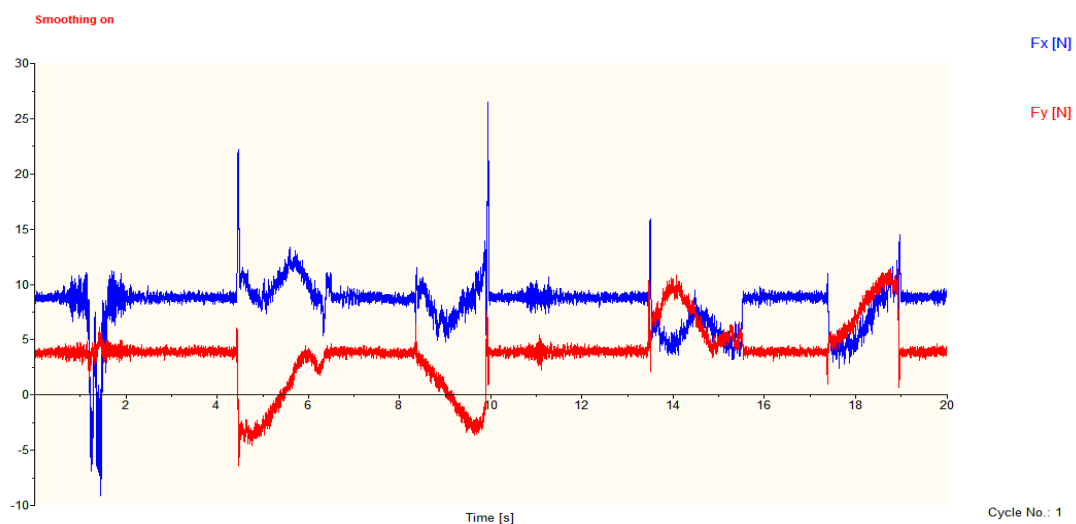
Obr. 37: Grafické zobrazení všech zaznamenávaných sil při obrábění v programu Dynoware

Pomocí několika dalších kroků v softwaru DinoWare byla data upravena tak, aby byl možný jejich export do programu EXCEL. V první kroku úpravy dat bylo zapotřebí oddělit síly F_x a F_y od zbylých měřených sil.

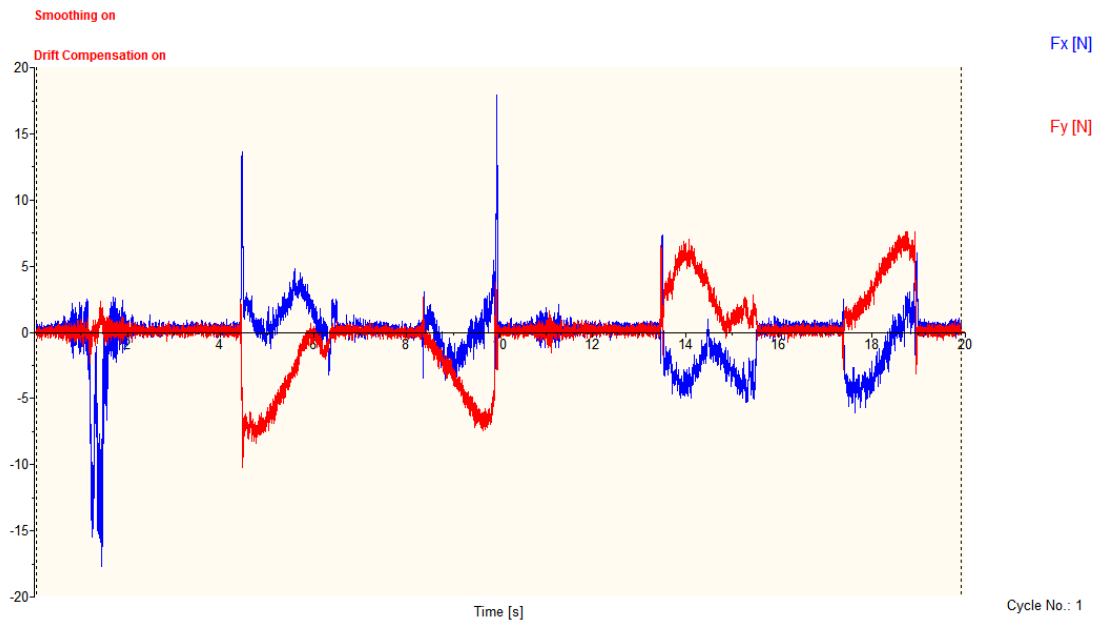


Obr. 38: Grafické zobrazení sil X a Y před další úpravou v programu DynoWare

V dalším kroku při zpracování dat bylo zapotřebí odečíst hodnotu DRIFU. To je hodnota odsazení zaznamenávaných dat od nulové osy X k hodnotám, kdy je nástroj v záběru do materiálu a to jak pro hodnoty F_x tak i pro F_y .

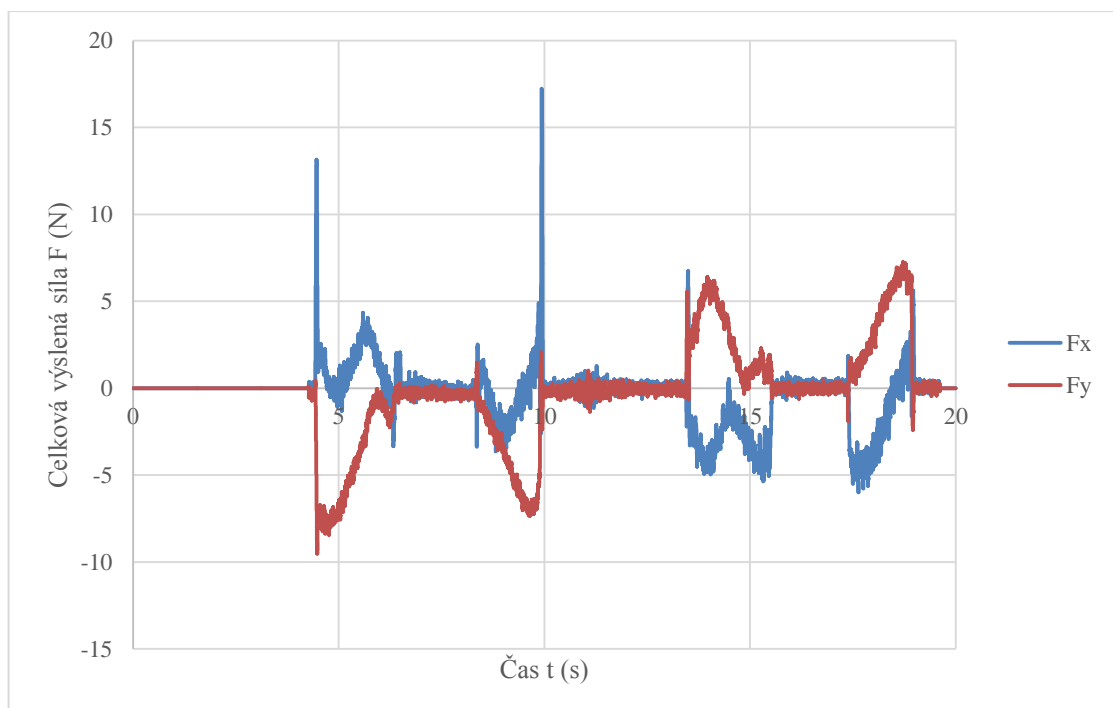


Obr. 39: Vyhlazená data pomocí funkce *Smoothinh on* před odečtením DRIFTU v programu DynoWare



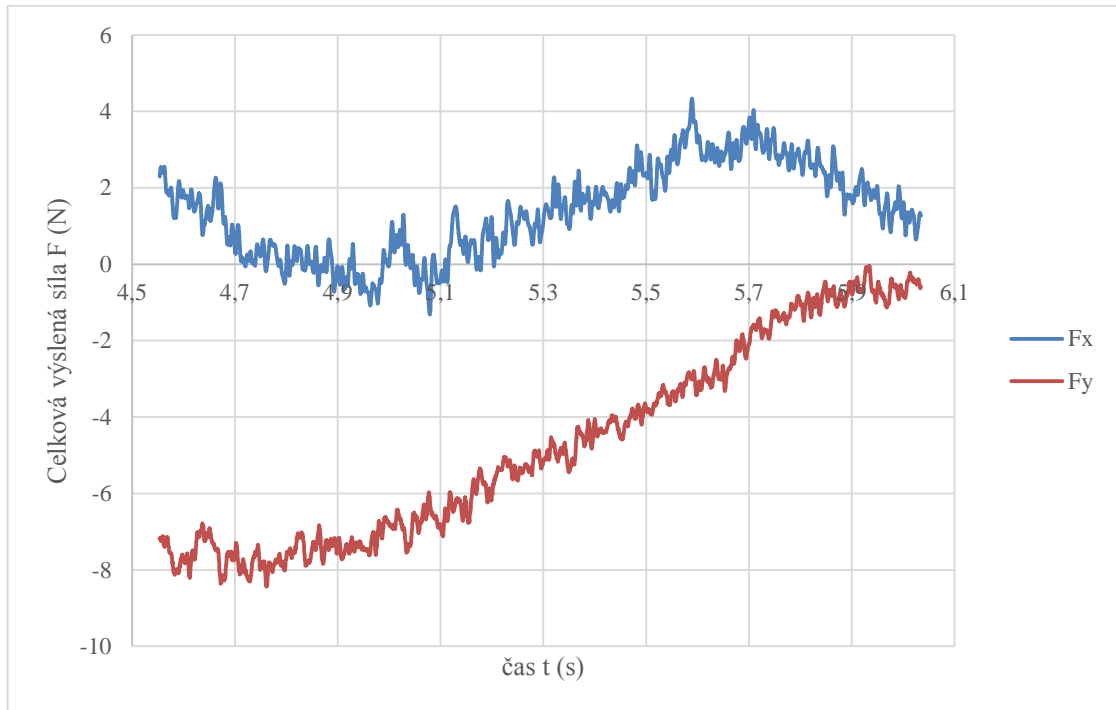
Obr. 40: Data po odečtení DRIFTU pomocí funkce *Drift compensation* v programu DynoWare

Aby bylo možné tyto data dále zpracovávat a vyhodnocovat byly již takto upravené data převedeny do textového dokumentu, a poté dále zpracovávána v programu EXCEL.



Obr. 41: Průběh silového ztížení v ose X a Y v programu EXCEL

V tomto programu byla odfiltrována jen data v časových intervalech, kdy byl nástroj v kontaktu s obrobkem. Například zde (Obr. 42) je odfiltrována první fáze ze záznamu dat bez extrémních hodnot při nesousledné frézování s rychlostí posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

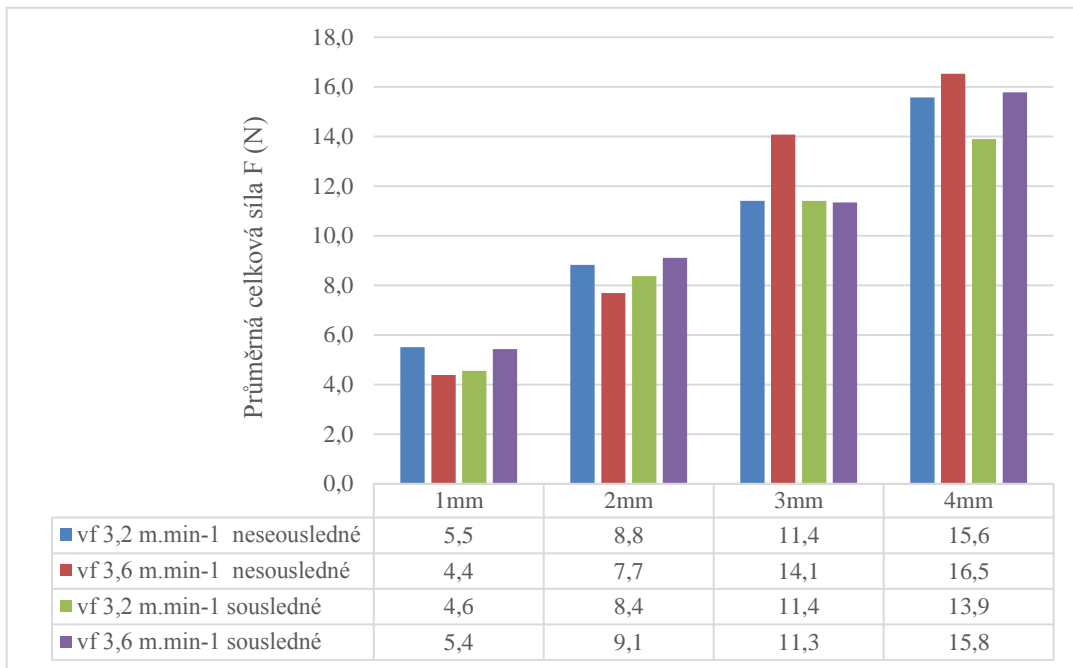


Obr. 42: Odfiltrovaný průběh celkových sil F_x a F_y při nesousledném frézování s rychlostí posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

Z výsledných sil F_x a F_y jednotlivých fází obrábění byla vypočtena výslednice sil. Ze střední hodnoty výslednice sil byla spočítána střední hodnota celkové průměrné síly F určité fáze obrábění. Tento postup zpracování dat byl aplikován u všech fází měření.

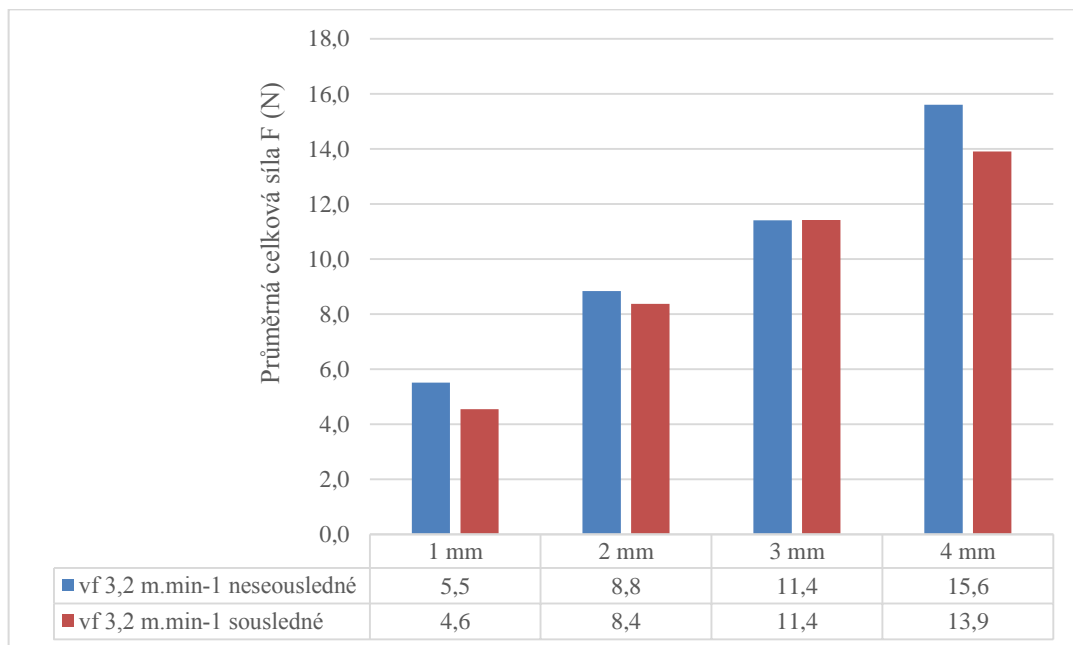
V konečné části zpracování dat byly vytvořeny grafy pro závislost průměrné celkové síly na zvolených parametrech obrábění.

5 VÝSLEDKY



Obr. 43: Závislost průměrné celkové síly na zvolených parametrech obrábění

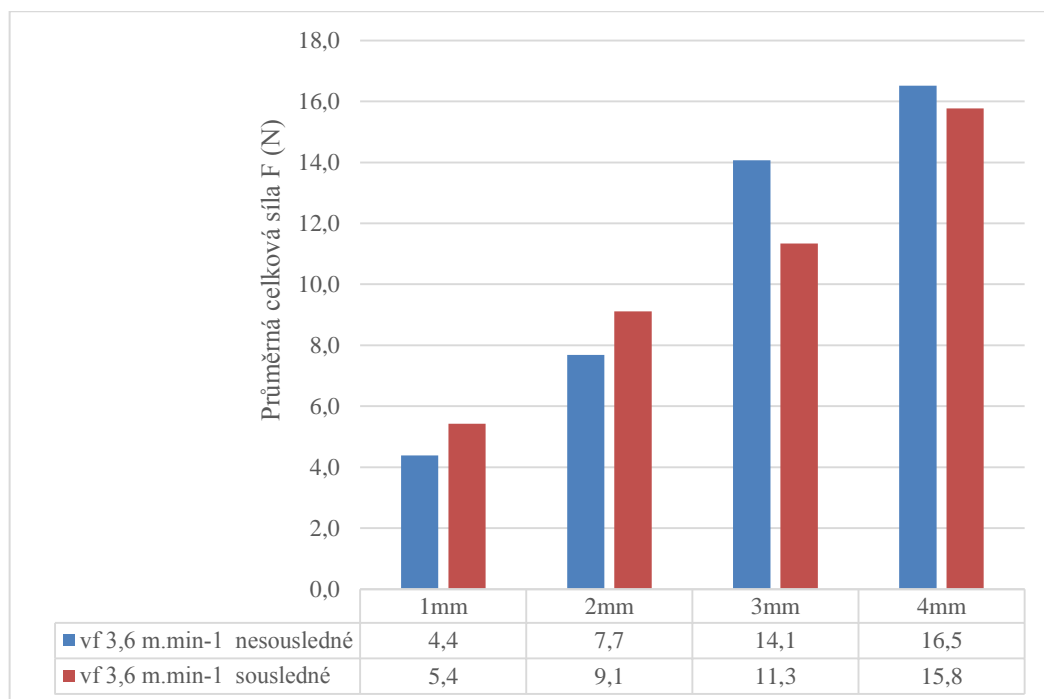
Při vyhodnocování jednotlivých průběhů celkových sil bylo zjištěno:



Obr. 44: Závislost průměrné celkové síly rychlostí posuvu 3,2 m.min⁻¹ při neseousledném a sousledném obrábění

Při nesousledném obrábění s rychlostí posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ byla průměrná výsledná síla při úběru 1 mm 5,5 N. U úběru 2 mm byl zaznamenán nárůst síly o 3,3 N. Při úběru 3 mm došlo opět k nárůstu 2,6 N oproti úběru 2 mm. Při úběru 4 mm byl nárůst o 4,2 N k předchozímu úběru 3 mm (Obr. 44).

Při nesousledném obrábění s rychlostí posuvu $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ byla průměrná výsledná síla při úběru 1 mm 4,4 N. U úběru 2 mm byl zaznamenán nárůst síly o 3,3 N. Při úběru 3 mm došlo opět k nárůstu 6,4 N oproti úběru 2mm. Při úběru 4 mm byl nárůst o 2,4 N k předchozímu úběru 3 mm (Obr. 45).

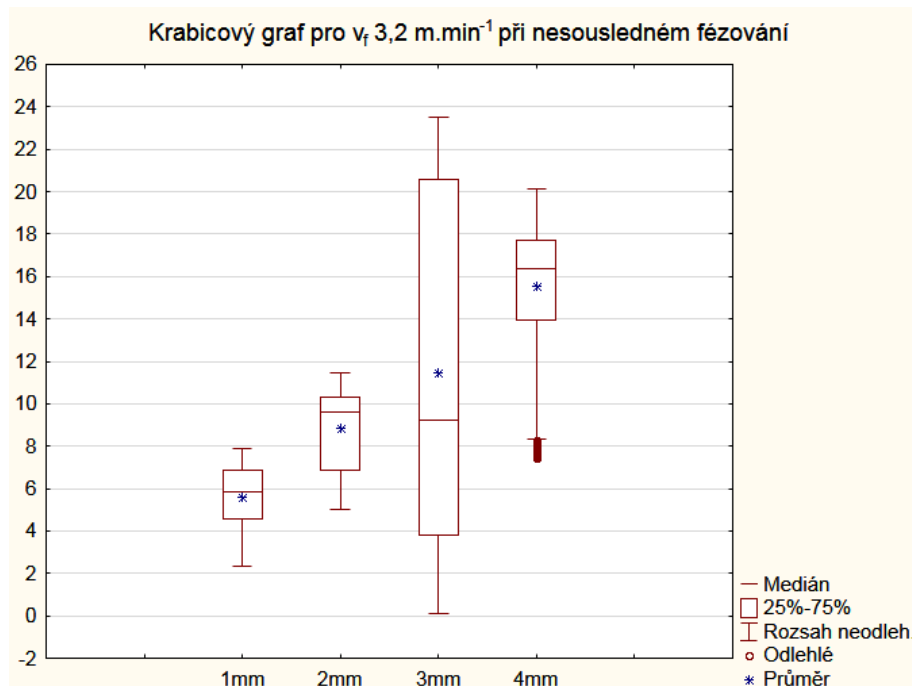


Obr. 45: Závislost průměrné celkové síly rychlostí posuvu $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ při nesousledném a sousledném obrábění

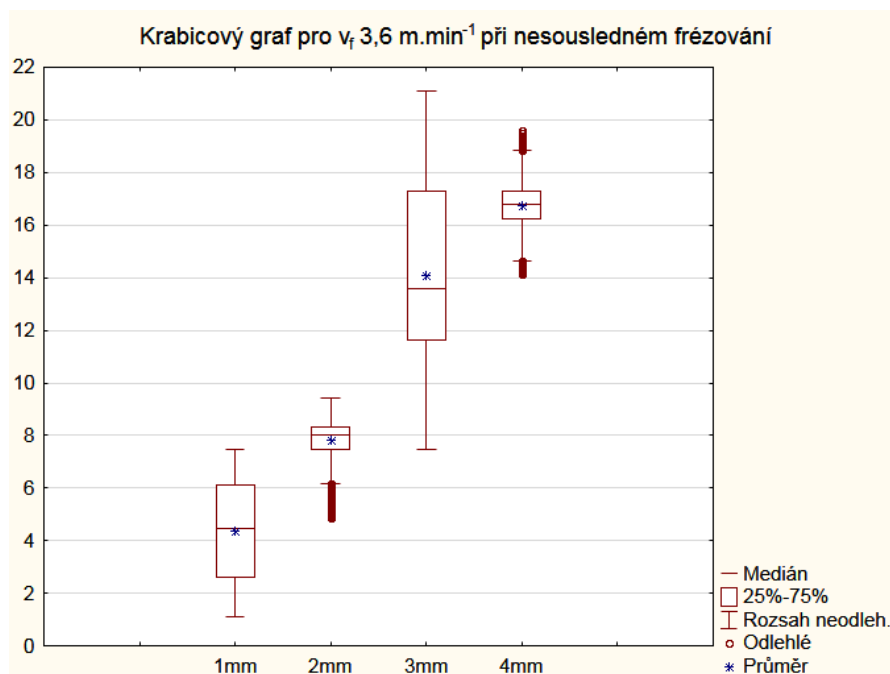
Při sousledném obrábění s rychlostí posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ byla průměrná výsledná síla při úběru 1 mm 4,6 N. U úběru 2 mm byl zaznamenán nárůst síly o 3,8 N. Při úběru 3 mm došlo opět k nárůstu o 3 N oproti úběru 2 mm. Při úběru 4 mm byl nárůst o 2,5 N k předchozímu úběru 3 mm (Obr. 44).

Při sousledném obrábění s rychlostí posuvu $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ byla průměrná výsledná síla při úběru 1 mm 5,4 N. U úběru 2 mm byl zaznamenán nárůst síly o 3,7 N. Při úběru 3 mm došlo opět k nárůstu o 2,2 N oproti úběru 2 mm. Při úběru 4 mm byl nárůst o 4,5 N k předchozímu úběru 3 mm (Obr. 45).

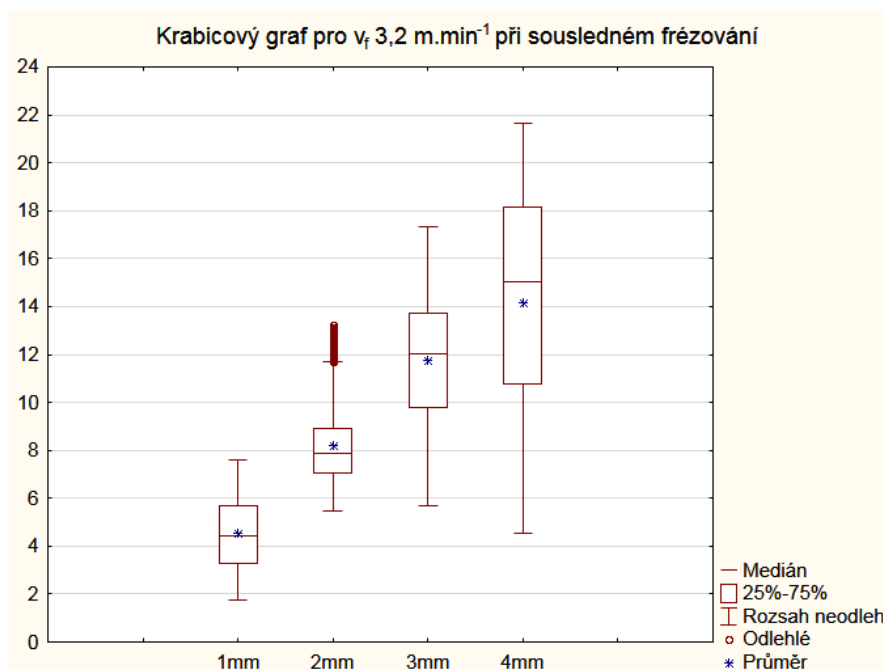
Statistické vyhodnocení



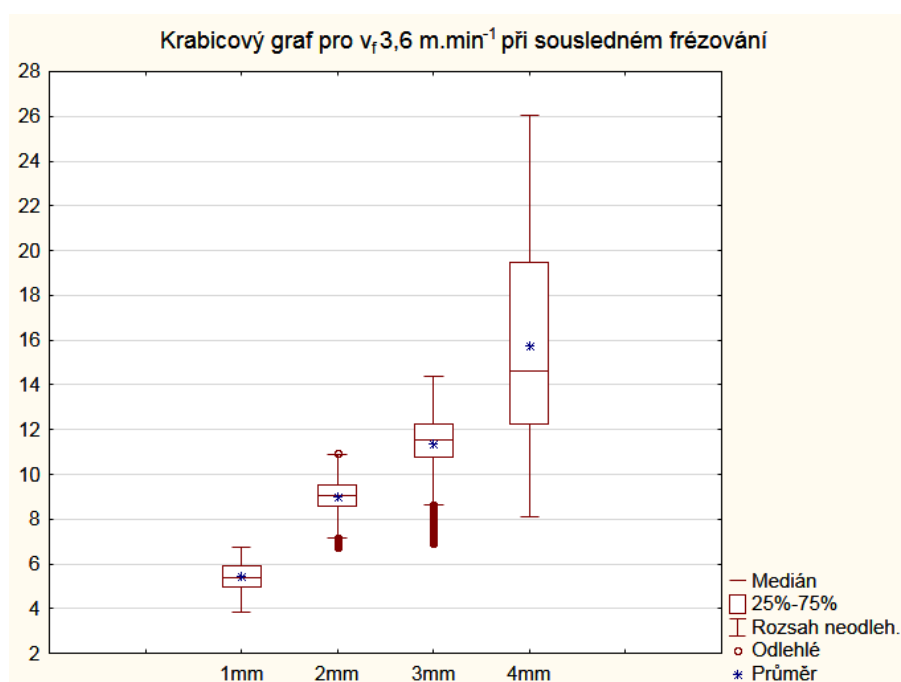
Obr. 46: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s $v_f 3,2 \text{ m.min}^{-1}$ při nesousledném frézování



Obr. 47: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s $v_f 3,6 \text{ m.min}^{-1}$ při nesousledném frézování



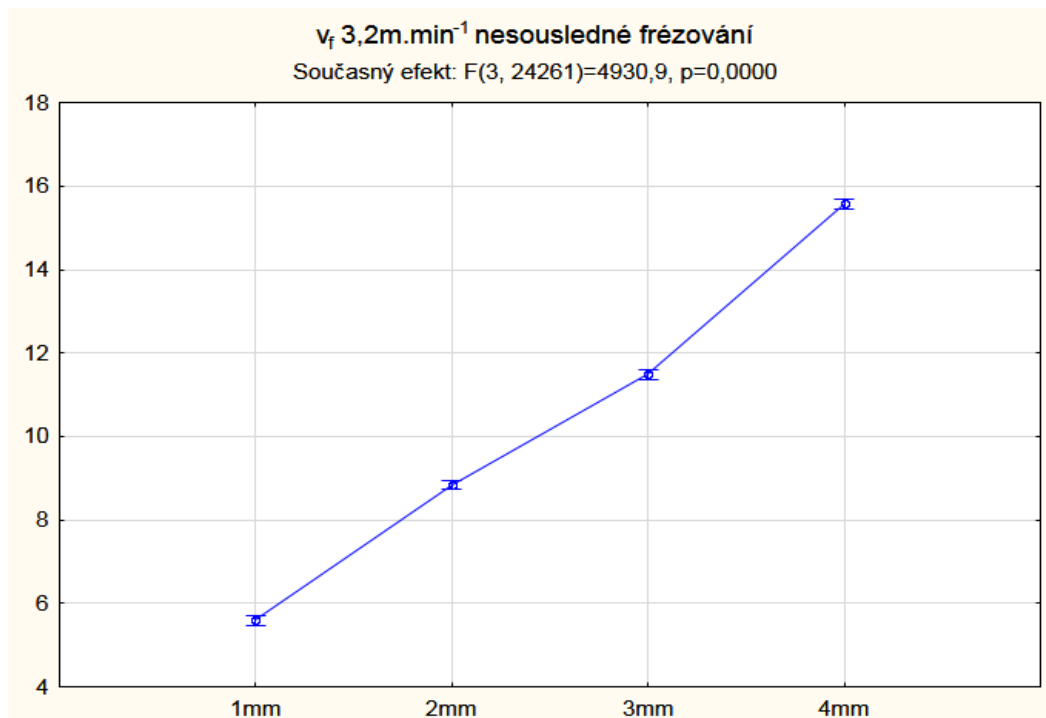
Obr. 48: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s $v_f 3,2 \text{ m.min}^{-1}$ při sousledném frézování



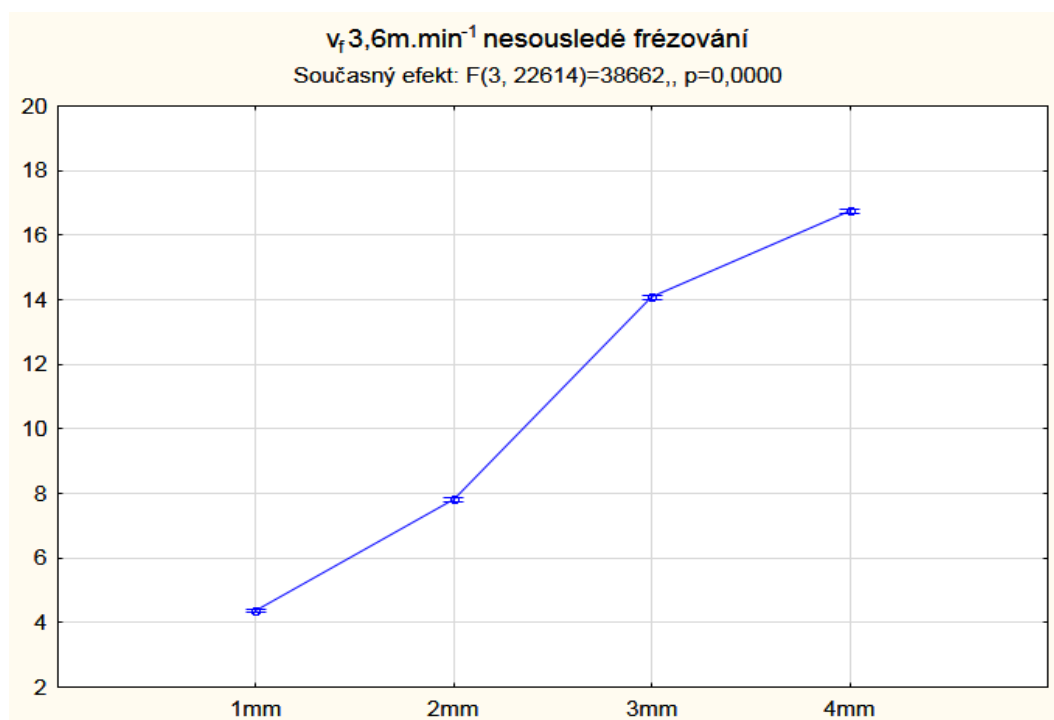
Obr. 49: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s $v_f 3,6 \text{ m.min}^{-1}$ při sousledném frézování

Statistické vyhodnocení ANOVA

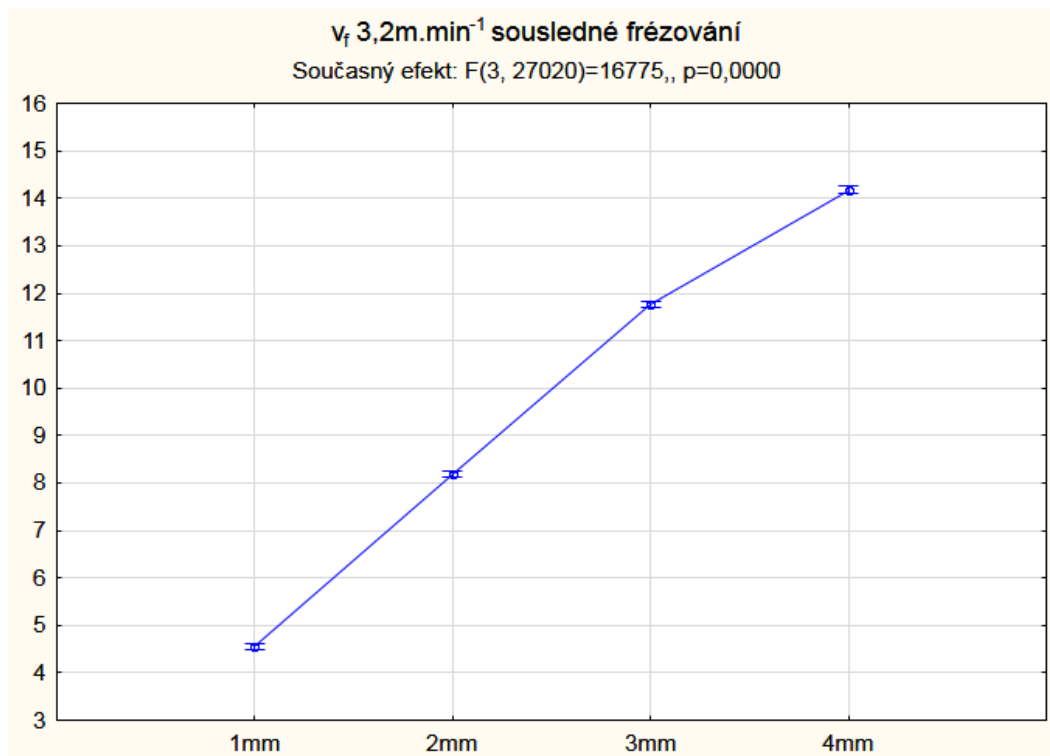
Zahrnuje průměrný rozsah hodnot z opakovaných měření při úběru 1, 2, 3 a 4 mm.



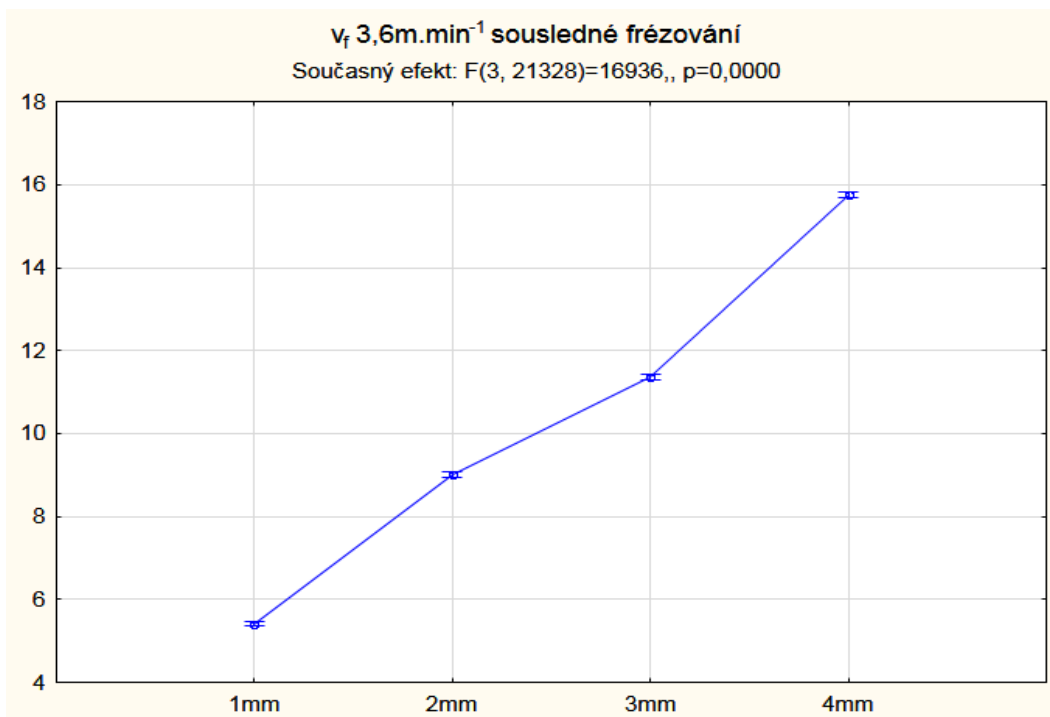
Obr. 50: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu $3,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ při nesousledném frézování



Obr. 51: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu $3,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ při nesousledném frézování



Obr. 52: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu 3,2 m.min⁻¹ při sousledném frézování



Obr. 53: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu 3,6 m.min⁻¹ při sousledném frézování

6 DISKUSE

Experiment byl proveden na CNC obráběcím stroji Homag Venture 13M, na kterém byly obvodově frézovány zkušební vzorky MDF desky stopkovou válcovou frézou se dvěma výměnnými břity. Řezné síly byly zaznamenány pomocí dynamometru Kistler 9257B, který byl spolu s kompletní měřicí aparaturou zapůjčen z TU Zvolen. Následně proběhlo vyhodnocení naměřených dat pomocí softwaru DynoWare podle vlastní předem stanovené metodiky. Provedené experimentální měření tohoto typu bylo na univerzitě realizováno poprvé.

Pro vyhodnocení naměřených dat byla dle zásad výrobce dynamometru vyvíjena metodika postupu převodu dat, odfiltrování jednotlivých datových úseků a následné vyhodnocení a zpracování dat i do grafické podoby. Data naměřená v průběhu experimentu slouží pro prvotní ověření možností měřicí aparatury a srovnání naměřených hodnot s teorií řezných sil popsanou v odborné literatuře. Pro přesnější stanovení řezných sil je třeba provést ještě další série měření u jiných druhů materiálů.

Práce se dále zabývá porovnáním teoretických modelů s praktickým měřením. V tabulce (Tab. 4) jsou uvedeny průměrné hodnoty výsledných sil v závislosti na změně parametrů, jako je sousledné a nesousledné frézování, rychlost posuvu při změně úběru tloušťky třísky. Všechny hodnoty různých frézovacích parametrů byly při stejných otáčkách a to $16\,000\text{ min}^{-1}$.

Tab. 4: Průměrné výsledné síly

	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
$v_f 3,2\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ neseousledné	5,5	8,8	11,4	15,6
$v_f 3,6\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ nesousledné	4,4	7,7	14,1	16,5
$v_f 3,2\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ sousledné	4,6	8,4	11,4	13,9
$v_f 3,6\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ sousledné	5,4	9,1	11,3	15,8

Z výše uvedené tabulky (Tab. 4) lze zjistit, že průměrné hodnoty sil se liší. Nejdůležitější pro porovnání jsou hodnoty nesousledného a sousledného frézování u jednotlivých řezných rychlostí. Z grafu (Obr. 43) je patrné, že průměrné hodnoty

výsledných sil všech naměřených hodnot mají rostoucí tendenci se zvětšujícím se úběrem materiálu.

Při porovnání výsledných sil (Obr. 44) u nesousledného a sousledného frézování s rychlostí posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ dosahují hodnoty sousledného frézování vždy nižších sil než u frézování nesousledného. Teorie tento jev vysvětluje tak, že při nesousledném frézování je významná síla odporu proti posuvu, protože fréza je nucena se zařezávat do nulové tloušťky třísky, takže se nejprve odtlačuje, a potom se následně zařízne. Naopak u frézování sousledného je odpor proti posuvu menší než u nesousledného. Při sousledném frézování obvodem frézy se od zahájení řezu tloušťka třísky postupně snižuje, až na konci řezu dosáhne nulové hodnoty.

Z grafu (Obr. 45) je patrné, že při nižších úběrech materiálu (1 a 2 mm) u sousledného frézování s rychlostí posuvu $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ výsledná síla větší než u nesousledného frézování. Tyto hodnoty se neshodují s odbornou literaturou, která uvádí, že při sousledném frézování dochází k menším hodnotám odporu u sousledného frézování než u frézování nesousledného. Příčinou těchto vyšších výsledných hodnot může být to, že nástroj při vyšší posuvné rychlosti a při menšího úběru materiálu (1 a 2 mm) třísku zatlačuje, a tak nedochází k postupnému úběru třísky od počátku záběru ostří.

Při porovnání výsledných hodnot použitím sousledného frézování s měnící se rychlostí posuvu z $3,2$ na $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ si můžeme všimnout, že výsledná síla narůstá se zvětšujícím se úběrem materiálu. Zde dochází k tomu, že zvyšující se rychlostí posuvu narůstá i hodnota posuvu na zub, což má za příčinu narůst celkového řezného odporu.

Při porovnání výsledných hodnot u nesousledného frézování se změnou rychlostí posuvu z $3,2$ na $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ si můžeme všimnout nižších výsledných hodnot u úběru materiálu 1 a 2 mm při rychlosti posuvu $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Příčinou těchto větších výsledných hodnot může být to, že nástroj při vyšší posuvné rychlosti a při menším úběru materiálu (1 a 2 mm) odebírá delší třísku postupně a to pod menším úhlem v porovnání s úběrem při rychlosti $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

7 ZÁVĚR

Teoretická část bakalářské práce je věnována CNC strojům, nástrojům a technologii obrábění. Hlavním cílem experimentální části bylo měření silového zatížení při obrábění frézováním na CNC obráběcím centru pomocí dynamometru Kistler 9257 B a následné vyhodnocení silového zatížení v závislosti na zvolených řezných podmínkách. Z výsledků vyplývá, že změny jednotlivých parametrů jako je úběr materiálu, rychlost posuvu, sousledné a nesousledné frézování mají významný vliv na celkovou výslednou sílu během obrábění.

Z naměřených výsledků vyplývá, že se zvyšujícím se úběrem materiálu a se zvyšující se posuvnou rychlostí dochází k nárůstu řezných sil. Dále při porovnání sousledného a nesousledného obrábění bylo z naměřených hodnot zjištěno, že výsledné řezné síly při sousledném frézování dosahují nižších hodnot v porovnání s frézováním nesousledným.

Vzhledem k tomu, že tento druh měření byl uskutečněn na universitě poprvé, doufám, že proces zpracování dat a získané výsledné hodnoty poslouží v budoucnu k usnadnění práce při provádění experimentů podobného typu.

8 SUMMARY

The theoretical part of the thesis deals with the CNC machines, tools and milling technology. The main aim of the practical part was to measure the load force during the process of milling on the CNC machine using the dynamometer Kistler 9257 B and subsequent evaluation of this load depending on given cutting conditions. The results show that during the milling process the changes of particular parameters such as material removal, the feed rate, climb and conventional milling impact significantly on the resulting force.

The measured data confirm that with the increasing feed rate and greater material removal the cutting force data were higher. Furthermore, when comparing the measured data of climb and conventional milling it was found out that the figures of resultant cutting force of the climb milling were lower than those figures of conventional milling.

Considering the fact that this type of measurement was carried out at the university for the first time I hope that the process of evaluating data and resultant data themselves will be further used and facilitate the work on experiments of the similar type.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o., 1997. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přeložil M. Kudela. 1. Vyd. Praha: Scientia s.r.o., 857 s. Přel. Z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- BORSKÝ, V. 1992. Obráběcí stroje. 1. vyd. Brno, VUT, 216 s. ISBN 80-214-0470-1.
- HLUCHÝ, M., HANĚK, V. 2001. Strojírenská technologie 2: Koroze, základy obrábění, výrobní postupy. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 176 s. ISBN 80-718-3245-6.
- HUMÁR, A. 2008. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- KOCMAN, K., PROKOP, J. 2001. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 270s. ISBN 80-214-1996-2.
- KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J. 2001. CNC technologie – ano, či ne? MM Průmyslové spektrum č.10/2002, 14-15.
- KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J. 2002. Jak se rozhodnout při volbě CNC obráběcího centra? MM Průmyslové spektrum č.10/2002, 35-37.
- KRÁL, P., ŠRAJER, J. 2008. CNC obráběcí centra. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 79 s. ISBN 978-80-7375-163-0.
- KRONTORÁD, K. 2015. Výroba nábytku z deskových materiálů. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 134s. ISBN 978-80-7509-199-4.
- LIGNUM: odborný magazín pro dřevozpracující průmysl. Rožnov pod Radhoštěm: Ladislav Vanger - Vanger Trading, IV/1998. ISSN 1211-717x. 1x měsíčně.
- PROKEŠ, S. 1975. Údržba a ostření dřevoobráběcích nástrojů. 1. vyd. Praha: SNTL, 184 s.
- PROKEŠ, S. 1982. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. 3. nezm. vyd. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 584 s.
- ROČEK, V. 1973. Příručka obrábění. 1. vyd. Praha: SNTL, 227 s.
- ŠRAJER, J. 2006. Obrábění dřeva "Dnes a zítra". III. seminář cyklu dřevořezné nástroje: sborník příspěvků: 15. června 2006 MZLU v Brně. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 76 s. ISBN 80-7157-960-2.
- ŠTULPA, M. 2006. CNC: obráběcí stroje a jejich programování. 1. Vyd. Praha: BEN – technická literatura, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.

ŠTULPA, M. 2015. CNC: programování obráběcích strojů. 1. vyd. Praha: Grada, 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.

ZEMČÍK, O. 2003. Nástroje a přípravky na obrábění. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 189s. ISBN 80-214-2336-6.

Internetové zdroje:

AKE katalog. [online]. 2012 [cit. 1. 4. 2015]. Frézovací nástroje. Dostupné na World Wide Web:

<http://www.ake.de/fileadmin/media/Kataloge/blueline-CMT_Katalog_2012.pdf>

AKE katalog. [online]. 2015 [cit. 1. 4. 2015]. Frézovací nástroje. Dostupné na World Wide Web:

<http://www.ake.de/fileadmin/media/Kataloge/Gesamtkatalog_Bohrungsfraeser_01.pdf>

FLURY SYSTEMS katalog. [online]. 2015 [cit. 1. 4. 2015]. Frézovací nástroje. Dostupné na World Wide Web:

<http://www.flury-systems.com/katalog_list_flury.php?id_kunden=654&id_kategorien=1947>

HABILIS TOOLS katalog. [online]. 2015 [cit. 1. 4. 2015]. Frézovací nástroje. Dostupné na World Wide Web:

<<http://www.truhlarske-nastroje.cz/katalog/drevoobrabeci-nastroje-5/upinace-iso-hsk-agregaty-pro-cnc-18/upinace-hskf63-220/hskf63-r-pro-klestinu-er32-1182.html>>

HUMÁR, A. 2002. Výrobní technologie II. [online]. Studijní opory pro podporu samostudia. VUT v Brně, FSI, 84 s. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na World Wide Web:

<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie_II.pdf>.

HUMÁR, A. 2003. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 138 s. Dostupné na World Wide Web:

<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf>

KISTLER. *Kistler 9257B* [online]. [cit. 20. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web:

<www.kistler.com>

Valenta, P. [online]. [cit. 15. 4. 2015]. Příprava pilařských nástrojů. Dostupné na World Wide Web:

<<http://www.reparo.cz/clanek.html>>

VYDONA katalog. [online]. 2012 [cit. 1. 4. 2015]. Frézovací nástroje. Dostupné na World Wide Web:

<http://www.vydona.cz/pdf/vydona_katalog_2013.pdf>

10 PŘÍLOHY

Přílohy jsou uloženy na přiloženém CD, které obsahuje:

- Video nahrávky s průběhem obrábění
- Video se záznamem sil během obrábění v softweru DynoWare
- Fotky pořízené během experimentu
- Zaznamenaná data MDF před zpracováním v programu EXCEL ve formátu .dvd

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Kleštinový upínač pro CNC - ISO 30 (Vydoná katalog 2012)	11
Obr. 2: Upínací hlava HSK-F63 (Habilis Tools 2015).....	11
Obr. 3: Fréza: a) falcovací a hoblovací (Vydoná katalog 2013), b) čelní zarovnávací (AKE katalog 2012).....	13
Obr. 4: Fréza: a) drážkovací (AKE katalog 2012), b) kotoučová (AKE katalog 2015) .	14
Obr. 5: Tvarová úhlová fréza (Vydoná katalog 2012).....	14
Obr. 6: Zaoblení vyduté (FLURY SYSTEMS katalog 2015)	15
Obr. 7: Zaoblení vypouklé (FLURY SYSTEMS katalog 2015)	15
Obr. 8: Základní tvary zubů frézy: a) hřbet s jednoduchou plochou, b) hřbet s lomenou plochou (Zemčík 2008).....	15
Obr. 9: Základní tvary zubů frézy: c) kruhová hřbetní plocha, d) podtáčená hřbetní plocha (Zemčík 2008).....	16
Obr. 10: Celistvé nástroje: a) stopková fréza určená ke zkracování a frézování drážek (Vydoná katalog 2012), b) se stopkou (AKE katalog 2012)	16
Obr. 11: Nožové hřídele - hlavy (Vydoná katalog 2012)	17
Obr. 12: Sada fréz určená k výrobě spojů pero – drážka z měkkého i tvrdého dřeva (Vydoná katalog 2012)	17
Obr. 13: Fréza: a) stopková - určená ke zkracování (Vydoná katalog 2012), b) rybinovací (AKE katalog 2012).....	18
Obr. 14: Hlavy: a) hoblovací, b) bezpečnostní frézovací (Vydoná katalog 2012)	18
Obr. 15: Frézovací hlava: a) s noži ve šroubovici, b) s noži přímými (Vydoná katalog 2012)	19
Obr. 16: Frézovací nástroje rozlišujeme: a) srovnávací, b) profil miniozubů, c) zaoblovací, d) vyduté, e) vypouklé, f) profil ve tvaru V (FLURY SYSTEMS katalog 2015)	19

Obr. 17: Frézovací hlava: a) jednosměrná – levotočivá, b) univerzální (Vyдона katalog 2012)	20
Obr. 18: Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů (Humár 2003)	24
Obr. 19: Sousedné frézování (Humár 2003).....	25
Obr. 20: Nesousedné frézování (Humár 2003).....	26
Obr. 21: Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Prokeš 1982).....	27
Obr. 22: Typy třísek podle vzniku a vzhledu (Prokeš 1982).....	28
Obr. 23: Průběh otupení nástroje (Král a Šrajger 2008).....	29
Obr. 24: Vzorky před upnutím k měřicímu přístroji.....	30
Obr. 25: Upevnění obrobeného vzorku MDF	31
Obr. 26: Čelní pohled na zbylý přesah obrobeného vzorku	31
Obr. 27: Homag Venture 13M.....	32
Obr. 28: Stopková fréza	33
Obr. 29: Vzoreček pro výpočet posuvu na zub.....	33
Obr. 30: Kleštinový upínač HSK 63 F.....	34
Obr. 31: Kleštinový upínač s nástrojem.....	34
Obr. 32: Schématické znázornění zapojení přístrojů	34
Obr. 33: Zapojení aparatury Kistler	35
Obr. 34: Dynamometr Kistler 9257 B	35
Obr. 35: Návrh metodiky obrábění	36
Obr. 36: Software DynoWare	37
Obr. 37: Grafické zobrazení všech zaznamenávaných sil při obrábění v programu Dynoware.....	37
Obr. 38: Grafické zobrazení sil X a Y před další úpravou v programu DynoWare	38
Obr. 39: Vyhlazená data pomocí funkce <i>Smoothinh on</i> před odečtením DRIFTU v programu DynoWare	38

Obr. 40: Data po odečtení DRIFTU pomocí funkce <i>Drift compensation</i> v programu DynoWare	39
Obr. 41: Průběh silového ztížení v ose X a Y v programu EXCEL	39
Obr. 42: Odfiltrovaný průběh celkových sil F_x a F_y při nesousledném frézování s rychlostí posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$	40
Obr. 43: Závislost průměrné celkové síly na zvolených parametrech obrábění	41
Obr. 44: Závislost průměrné celkové síly rychlostí posuvu $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ při nesousledném a sousledném obrábění	41
Obr. 45: Závislost průměrné celkové síly rychlostí posuvu $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ při nesousledném a sousledném obrábění	42
Obr. 46: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s v_f $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ při nesousledném frézování.....	43
Obr. 47: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s v_f $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ při nesousledném frézován.....	43
Obr. 48: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s v_f $3,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ při sousledném frézování	44
Obr. 49: Grafické zobrazení rozsahu hodnot řezných sil při úběrech a_p 1, 2, 3, a 4 mm s v_f $3,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ při sousledném frézování	44
Obr. 50: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu $3,2\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ při nesousledném frézování.....	45
Obr. 51: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu $3,6\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ při nesousledném frézování.....	45
Obr. 52: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu $3,2\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ při sousledném frézování	46
Obr. 53: Statistické vyhodnocení jedno faktorová ANOVA hodnot řezných sil s rychlostí posuvu $3,6\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ při sousledném frézování	46

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Základní rozdělení řezných materiálů na obrábění dřeva (Šrajer 2006)	21
Tab. 2: Výsledné hodnoty posuvu na zub pro zvolené otáčky a rychlosti posuvu	33
Tab. 3: Technická data Kistleru 9257 B (KISTLER)	36
Tab. 4: Průměrné výsledné síly.....	47